



Métodos de escarificación para mejorar la germinación de semillas de capulín (*Prunus serotina* Ehrh.): Un análisis longitudinal y transversal

Título corto: Escarificación y germinación en *Prunus serotina*

Eduardo González-Hernández (<https://orcid.org/0009-0008-0983-5334>)

Alejandro Corona-Ambriz* (<https://orcid.org/0000-0003-0005-7480>)

Elizabeth Hernández-Acosta (<https://orcid.org/0000-0002-1409-1623>)

Ma. Amparo Maxima Borja de la Rosa (<https://orcid.org/0000-0002-6127-0501>)

Leopoldo Mohedano-Caballero (<https://orcid.org/0000-0002-0876-8669>)

Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo. C. P. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: acoronaa@chapingo.mx

Resumen

Introducción. *Prunus serotina* Ehrh. es una especie nativa con potencial agroforestal, pero limitada por su baja germinación. La dormancia física y fisiológica dificulta la propagación, lo que justifica la evaluación de tratamientos pregerminativos que mejoren la germinación.



Objetivo. Evaluar la efectividad de métodos de escarificación físicos y químicos en el incremento de la germinación de semillas de *P. serotina*, mediante un enfoque longitudinal y transversal.

Materiales y métodos. Se utilizaron 1 200 semillas de *P. serotina* recolectadas en Ocotepéc, Puebla. Los tratamientos incluyeron semillas con y sin endocarpio, tratadas con escarificación física (remojo/secado) y química (HCl 10 %). Se evaluaron seis tratamientos con cinco repeticiones bajo un diseño completamente al azar, en invernadero durante siete semanas. Se ajustó un modelo logístico para analizar la germinación acumulada y un modelo lineal mixto ($\alpha = 0.05$) para evaluar el efecto de los tratamientos, tiempo e interacción.

Resultados. Los métodos de escarificación de remojo-secado y HCl al 10 %, aplicados a semillas de *P. serotina* sin endocarpio, mejoraron significativamente ($p < 0.05$) la germinación y mostraron respuestas tempranas y estables (>50 % de germinación en cuatro semanas). El tratamiento testigo (semillas sin escarificación y con endocarpio) solo logró 3 % de germinación al final del experimento. Los modelos mixto y logístico confirmaron diferencias significativas (valor $p = 0.0001$) de la germinación entre tratamientos, tiempo de germinación e interacción entre ellos.

Conclusión. Los métodos de escarificación incrementaron la germinación de *P. serotina* y disminuyeron los tiempos de germinación. Estos son eficaces para reducir la dormancia de las semillas y pueden ser aplicables en viveros y restauración ecológica.

Palabras clave: ácido clorhídrico, dormancia, endocarpio, propagación, tratamientos pregerminativos.

Recibido: 8 de julio, 2025

Aceptado: 1 de junio, 2026

Introducción



El capulín (*Prunus serotina* Ehrh.) es una especie frutícola y forestal nativa de América del Norte, distribuida ampliamente en México, particularmente en las entidades de Puebla, Veracruz, Tlaxcala, Estado de México, Morelos y Michoacán (Segura et al., 2018). Aunque históricamente ha sido valorado por sus múltiples usos —alimentarios, medicinales y maderables— (Guzmán et al., 2020; López-Hernández et al., 2024; Rzedowski, 2021), el aprovechamiento productivo de *P. serotina* es limitado, principalmente por las dificultades asociadas a su propagación sexual. Uno de los principales obstáculos es la germinación lenta y escasa de sus semillas, atribuida a mecanismos de dormancia física y fisiológica. La presencia de un endocarpio esclerificado impide la absorción de agua, mientras que los compuestos inhibidores en la testa, endospermo y embrión retrasan o impiden la germinación (Baskin & Baskin, 2014; McVaugh, 1951). Esta problemática no es exclusiva de *P. serotina*, sino que es común en diversas especies del género *Prunus*.

Se han documentado múltiples tratamientos pregerminativos para superar la dormancia en el género *Prunus* y en otras especies taxonómicamente relacionadas, los cuales incluyen la escarificación física, química, estratificación y el uso de reguladores de crecimiento. Por ejemplo, la remoción del endocarpio y la aplicación de ácido giberélico (GA_3) han incrementado significativamente la germinación en *Prunus yedoensis* Matsum (Kim, 2019), *Prunus mahaleb* L. (Nikbakht et al., 2023) y *Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb (Rafiei et al., 2019). Asimismo, se ha demostrado que la escarificación con ácidos fuertes, como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) o clorhídrico (HCl), promueve la tasa y el tiempo promedio de germinación mediante la reducción de la inhibición tegumentaria (Kheloufi, 2017). Este efecto se ha observado en otras especies de la familia Rosaceae como *Fragaria x ananassa* (Duchesne ex Weston) (Giovanetti et al., 2024). A pesar de la evidencia, existen pocos estudios específicos y sistemáticos sobre la eficacia comparativa de estos tratamientos en *P. serotina*, especialmente diseños experimentales que evalúen tanto el tiempo como el porcentaje de germinación mediante enfoques



longitudinales y transversales. Este vacío limita el aprovechamiento de la especie en programas de reforestación y producción en viveros.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de métodos de escarificación físicos y químicos en la germinación de semillas de *P. serotina* mediante un enfoque longitudinal y transversal. Se plantea la hipótesis de que estos tratamientos reducirán el tiempo y aumentarán significativamente el porcentaje de germinación en comparación con el tratamiento testigo.

Materiales y métodos

Material biológico

En agosto de 2023 se recolectaron frutos de cinco árboles adultos de *P. serotina*, localizados en Ocotepéc, Puebla (19° 33' 23" N, 97° 38' 56" O; 2 440 m). Esta especie produce frutos tipo drupa con un mesocarpio carnoso y un endocarpio esclerificado que solo contiene una semilla. Se seleccionaron frutos maduros y sanos, sin daños físicos ni signos de patógenos visibles. La pulpa se retiró mediante un lavado manual con agua potable y las semillas (huesos) se secaron a 25 °C durante 72 h; posteriormente, estas se almacenaron durante 60 días en bolsas de polietileno herméticas (26.8 × 24.1 cm) permeables al CO₂ y O₂, pero impermeables a la humedad, en un cuarto oscuro a 24 °C. Finalmente, en noviembre de 2023 se estableció el experimento utilizando 1 200 semillas.



Métodos de escarificación

Con el propósito de acelerar e incrementar el porcentaje de germinación se aplicaron métodos de escarificación a las semillas de *P. serotina*, de los cuales se derivaron seis tratamientos (**Cuadro 1**) conformados por 200 semillas cada uno. Los tratamientos incluyeron semillas con y sin endocarpio. Para retirar el endocarpio, se ejerció presión con pinzas de punta y corte hasta liberar la semilla. En los tratamientos A y B se aplicó el método de remojo y secado en tres ciclos consecutivos, adaptado de Camacho-Morfin (2021). Por otra parte, las semillas con y sin endocarpio se sumergieron en una solución de HCl al 10 % por 25 min y se enjugaron con agua destilada, definiendo los tratamientos C y D. Finalmente, las semillas sin la aplicación de alguna sustancia, pero con endocarpio (E) y sin endocarpio (F), representaron los tratamientos testigo.

Cuadro 1. Métodos de escarificación evaluados como tratamientos pregerminativos en semillas de *Prunus serotina*.

Método	Semilla (n = 200)	Tratamiento
Remojo/secado	Con endocarpio	A
	Sin endocarpio	B
Ácido clorhídrico (HCl 10 %)	Con endocarpio	C
	Sin endocarpio	D
Testigo	Con endocarpio	E
	Sin endocarpio	F

Diseño experimental



El experimento se condujo bajo un diseño completamente al azar. En total se utilizaron 1 200 semillas distribuidas en seis tratamientos con cinco repeticiones de 40 semillas cada una. Los tratamientos involucraron semillas con y sin endocarpio, dos métodos de escarificación y un testigo (**Cuadro 1**). La siembra se realizó el 26 de noviembre de 2023 en charolas plásticas de 200 cavidades, colocando una semilla por cavidad a una profundidad de 1.5 cm. Las charolas se distribuyeron sobre una mesa de 1.4 m × 3.8 m. Cada cavidad tuvo un volumen de 17.86 cm³. El sustrato utilizado fue una mezcla (3:2) de *peat moss* y agrolita que proporcionó aeración y retención de humedad. El experimento se desarrolló en un invernadero ubicado en Nezahualcóyotl, Estado de México (19° 22' 33.7" N, 98° 59' 10.2" O) con dimensiones de 4.2 m × 3.3 m y cubierta plástica con 30 % de sombra. Durante el experimento, la temperatura promedio fue de 28 °C durante el día y 16 °C por la noche, con humedad relativa promedio de 60 %.

Las semillas germinadas se contaron durante siete semanas, a partir del 26 de noviembre de 2023. Se consideró germinación cuando la radícula alcanzó 2 mm de longitud o cuando emergieron las hojas primarias. El riego se efectuó cada dos días a las 17:00 h. El experimento concluyó el 14 de enero de 2024.

Análisis estadístico

El análisis se enfocó en la evaluación de las diferencias en el porcentaje de germinación entre tratamientos a través del tiempo. Para ello, se empleó un análisis longitudinal que permitió el modelado de la evolución temporal de la variable respuesta y el contraste estadístico de las tendencias entre tratamientos y en puntos temporales específicos. Los datos se analizaron mediante un modelo logístico para medidas repetidas, que consideró la estructura de correlación asociada a las observaciones dentro de cada unidad experimental. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el *software* R (R Core Team, 2023), específicamente usando los paquetes *stats (nlm)* e *lme4 (lmer)*.



El porcentaje de germinación acumulado (y) en función del tiempo se analizó en cada tratamiento con un modelo logístico con tres parámetros:

$$y = \alpha + \frac{\alpha}{1 + \left(\frac{d}{\beta}\right)^\gamma}$$

donde,

d = días transcurridos desde la siembra

α = parámetro que representa el límite superior del porcentaje de germinación

β = parámetro que indica el día, desde la siembra, en que se alcanza la tasa máxima de germinación

γ = parámetro que controla la pendiente de la curva. A mayor valor de γ más abrupta es la pendiente de la curva en el punto de inflexión.

El porcentaje de germinación a lo largo del tiempo se analizó con un modelo lineal mixto, adecuado para datos con mediciones repetidas y correlacionadas. Este enfoque permite la incorporación de efectos aleatorios y estructuras de covarianza para realizar comparaciones válidas entre tratamientos. Las medias ajustadas permiten la aplicación de pruebas de comparación múltiple, como Tukey, con un nivel de significancia del 5 %, sin depender estrictamente del supuesto de normalidad. El modelo mixto es:

$$Y = X\beta + Zu + \varepsilon, \quad u \sim N(0, D) \text{ y } \varepsilon \sim N(0, R)$$

donde,

Y = variable respuesta

X = covariables

Z = matriz diseño del componente aleatorio

β y u = parámetros del componente fijo y efecto aleatorio, respectivamente.



Resultados y discusión

Germinación de semillas de *Prunus serotina*

El presente estudio evaluó el efecto de métodos de escarificación físicos y químicos sobre la germinación de semillas de *P. serotina* durante un periodo de siete semanas. Es importante mencionar que la germinación inició en la segunda semana y, a partir de la quinta, el porcentaje se mantuvo constante, por lo que las semanas restantes no se consideraron en el análisis estadístico.

De acuerdo con el Cuadro 2 y la Figura 1, el tratamiento E (testigo con endocarpio) presentó el valor más bajo de germinación: 1 % en la tercera semana y un máximo de 3 % al final del experimento. Este comportamiento es característico en especies del género *Prunus* con dormancia fisiológica, asociada a la presencia de ácido abscísico (ABA) y a la permeabilidad del endocarpio que restringe la imbibición de la semilla (Kim et al., 2024; Yang et al., 2023).

En contraste, los tratamientos B (remojo/secado) y D (HCl 10 %), que incluyeron semillas con la remoción del endocarpio, iniciaron la germinación a los 14 días y lograron los valores más altos (54.5 % y 50.5 %, respectivamente) al final del experimento (Figura 1), aunque el tratamiento D presentó mayor variabilidad (error estándar: ee = 8.4; Cuadro 2). Esto confirma que la remoción del endocarpio favorece la absorción de agua y elimina, en gran medida, los mecanismos inhibidores presentes, activando el metabolismo embrionario. Resultados similares se han reportado en *Prunus armeniaca* L. (Jaganathan et al., 2015), *Prunus azorica* (Mouill.) (Pipinis et al., 2016) y en *Prunus spachiana* (Lavallée ex Ed. Otto) Kitam. (Kim et al., 2024), donde el retiro del endocarpio permitió la germinación rápida sin necesidad de tratamientos con reguladores de crecimiento.



El patrón de germinación en los tratamientos B y D también coincide con lo observado en *Prunus cercocarpifolia* Villarreal, donde la imbibición a 30 °C y la remoción del endocarpio incrementaron la germinación de las semillas (Castillo-Quiroz et al., 2021). De manera semejante, en cultivares de *Prunus cerasus* L., duraznos y albaricoques, Szymajda y Maciorowski (2025) reportaron que la remoción de estructuras inhibitorias como el endocarpio, la testa y parte del cotiledón, junto con la escarificación, puede aumentar hasta 96 a 100 % de germinación y reducir significativamente el tiempo requerido para la obtención de plántulas vigorosas. Además, estudios recientes en *P. yedoensis* mostraron que el tratamiento con giberelinas (GA₃), especialmente cuando se aplica después de la remoción del endocarpio, mejora significativamente tanto la tasa como el tiempo de germinación (Kim et al., 2024). Aunque en este estudio no se aplicaron tratamientos con GA₃, los resultados sugieren que la combinación de la remoción del endocarpio con escarificación física o química podrían potenciar la germinación de *P. serotina*. Este efecto está relacionado posiblemente con los cambios estructurales del endocarpio y la disminución en la concentración de ABA y otros compuestos inhibidores, mecanismos que han sido reportados en otras especies del género *Prunus*.

Por otra parte, los tratamientos A (remojo y secado con endocarpio) y C (remojo en HCl 10 % con endocarpio) duplicaron su porcentaje de germinación en la cuarta semana (**Cuadro 2**) con respecto a la semana tres (inicio de la germinación), lo que sugiere una acción parcial del debilitamiento del endocarpio y una posible disminución de los compuestos inhibidores.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas del porcentaje de germinación en *Prunus serotina* como efecto de los tratamientos de escarificación física y química aplicados.

Tratamiento	Semana 2 (14 días)			Semana 3 (21 días)			Semana 4 (28 días)			Semana 5 (35 días)		
	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.
A	0.0	0.0	0.0	9.0 ± 1.7	15.0	5.0	18.5 ± 1.7	22.5	12.5	20.0 ± 1.9	22.5	12.5
B	20.5 ± 3.6	30.0	10.0	48.5 ± 5.1	62.5	37.5	51.0 ± 5.1	62.5	37.5	54.5 ± 5.4	67.5	40.0
C	0.0	0.0	0.0	5.0 ± 1.8	10.0	0.0	9.5 ± 1.8	15.0	5.0	10.0 ± 1.8	15.0	5.0
D	5.5 ± 2.7	15.0	0.0	47.0 ± 8.5	72.5	25.0	48.5 ± 8.2	72.5	27.5	50.5 ± 8.4	75.0	30.0
E	0.0	0.0	0.0	1.0 ± 0.6	2.5	0.0	2.5 ± 0.8	5.0	0.0	3.0 ± 1.2	7.5	0.0
F	1.0 ± 1.0	5.0	0.0	22.5 ± 2.9	30.0	15.0	28.0 ± 3.7	40.0	20.0	29.0 ± 4.0	42.5	20.0



Tratamientos pregerminativos: A) Remojo/secado con endocarpio, B) Remojo/secado sin endocarpio, C) HCl 10 % con endocarpio, D) HCl 10 % sin endocarpio, E) Testigo con endocarpio, F) Testigo sin endocarpio. Media \pm error estándar, Máx. = máximo, Mín. = mínimo.

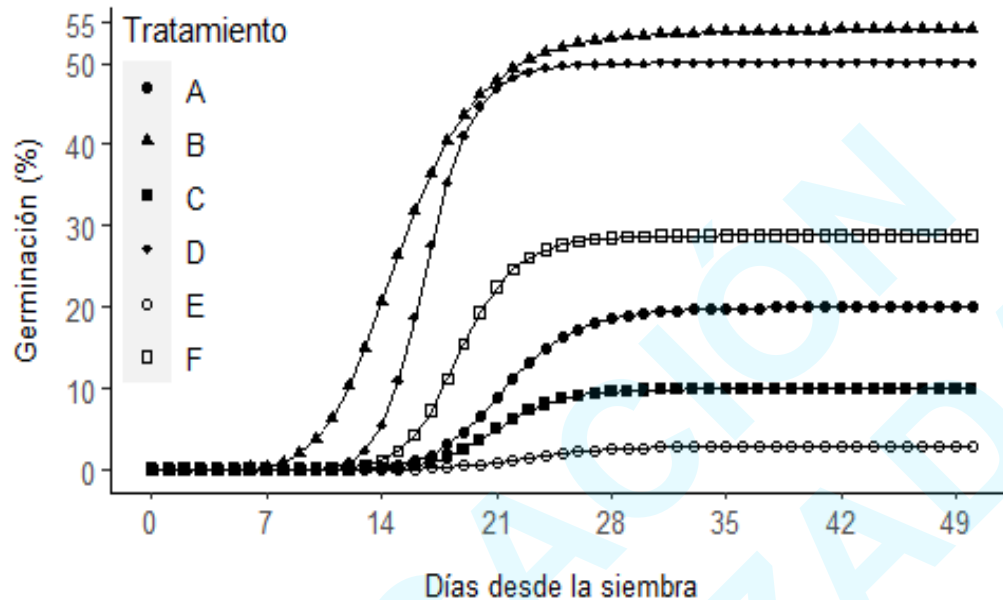


Figura 1. Comportamiento de la germinación acumulada de *Prunus serotina* bajo tratamientos de escarificación físicos y químicos: A) remojo/secado con endocarpio, B) remojo/secado sin endocarpio, C) HCl 10 % con endocarpio, D) HCl 10 % sin endocarpio, E) testigo con endocarpio, F) testigo sin endocarpio.

Análisis longitudinal

De acuerdo con el Cuadro 3, el análisis de varianza mostró que los factores tratamientos, tiempo e interacción tuvieron efecto significativo sobre el porcentaje de germinación; es decir, el modelo mixto ($\alpha = 0.05$) confirmó que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, tiempo (días) y la interacción tratamiento-tiempo (valor $p = 0.0001$). Esto implica que el porcentaje de germinación es variable y depende del



tratamiento y del momento de la evaluación, lo cual coincide con los resultados del análisis longitudinal realizado por Camacho- Morfin (2021) en semillas de *P. serotina*.

Cuadro 3. Análisis de varianza del modelo mixto para conocer el efecto de los tratamientos de escarificación, tiempo de germinación e interacción en semillas de *Prunus serotina*.

Factor	Grados de libertad (numerador)	Grados de libertad (denominador)	Estadística de prueba ($F_{calculada}$)	Valor p
Tratamiento	5	24	26.45	0.0001
Tiempo (días)	6	144	121.01	0.0001
Tratamiento x tiempo	30	144	17.15	0.0001

La **Figura 2** muestra que los tratamientos E (testigo con endocarpio) y C (HCl 10 % con endocarpio) presentaron los valores más bajos de germinación durante todo el experimento, sin superar 3 % (ee = 1.2) y 10 % (ee = 1.8), respectivamente. El bajo porcentaje de germinación en el testigo confirma la presencia de dormancia física y fisiológica de las semillas de *P. serotina*, atribuida a la permeabilidad del endocarpio y a la presencia de inhibidores, principalmente ABA (Baskin & Baskin, 2022). Estos resultados son similares a los reportados en *Prunus avium* L. (Javanmard et al., 2014) y *P. cercocarpifolia* (Castillo-Quiroz et al., 2021), donde los tratamientos testigo no superaron 2 % de germinación. Por su parte, el tratamiento C obtuvo una respuesta significativa tanto en la tercera como en la cuarta semana; sin embargo, los incrementos en el resto del tiempo fueron no significativos (**Figura 2C**).

Los tratamientos más efectivos fueron el B (remojo y secado sin endocarpio) y el D (HCl 10 % sin endocarpio), los cuales lograron germinación superior al 50 % en un periodo de 35 días (**Figura 2B y 2D**). En la tercera semana se observó 48.5 % (ee = 5.1) de germinación con el tratamiento B; sin embargo, los incrementos posteriores no fueron estadísticamente significativos, finalizando con un promedio de 54.5 % (ee = 5.4; **Cuadro 2**). Este resultado es comparable al reportado por Javanmard et al. (2014), quienes encontraron que con el tratamiento de semillas sin endocarpio de *P. avium*, remojadas con agua de grifo, se puede obtener más de 50 % de germinación. En estos tratamientos, el retiro de la barrera natural (endocarpio) facilitó la imbibición de agua y oxígeno, y disminuyó los compuestos inhibidores que rodean a la semilla (Kim et al., 2024; Yang et



al., 2023); en consecuencia, la eliminación del endocarpio reduce el tiempo y aumenta el número de semillas germinadas (Barba-Espín et al., 2022; Rostamikia et al., 2024). Los resultados también evidencian que las bajas concentraciones de HCl suavizan la testa de la semilla sin afectar la viabilidad, tal como se observó en *P. cerasoides* (Szymajda & Maciorowski, 2025). De manera diferente, Kim (2019) implementó H_2SO_4 como método de escarificación y destacó la importancia del tiempo de exposición para evitar daños en el embrión; sin embargo, no generó resultados favorables en la germinación en *P. yedoensis*. Efectos similares a los del presente estudio se han documentado en otras drupas del género *Prunus* como *P. armeniaca* (Jaganathan et al., 2015) y *P. spachiana* (Kim et al., 2024).

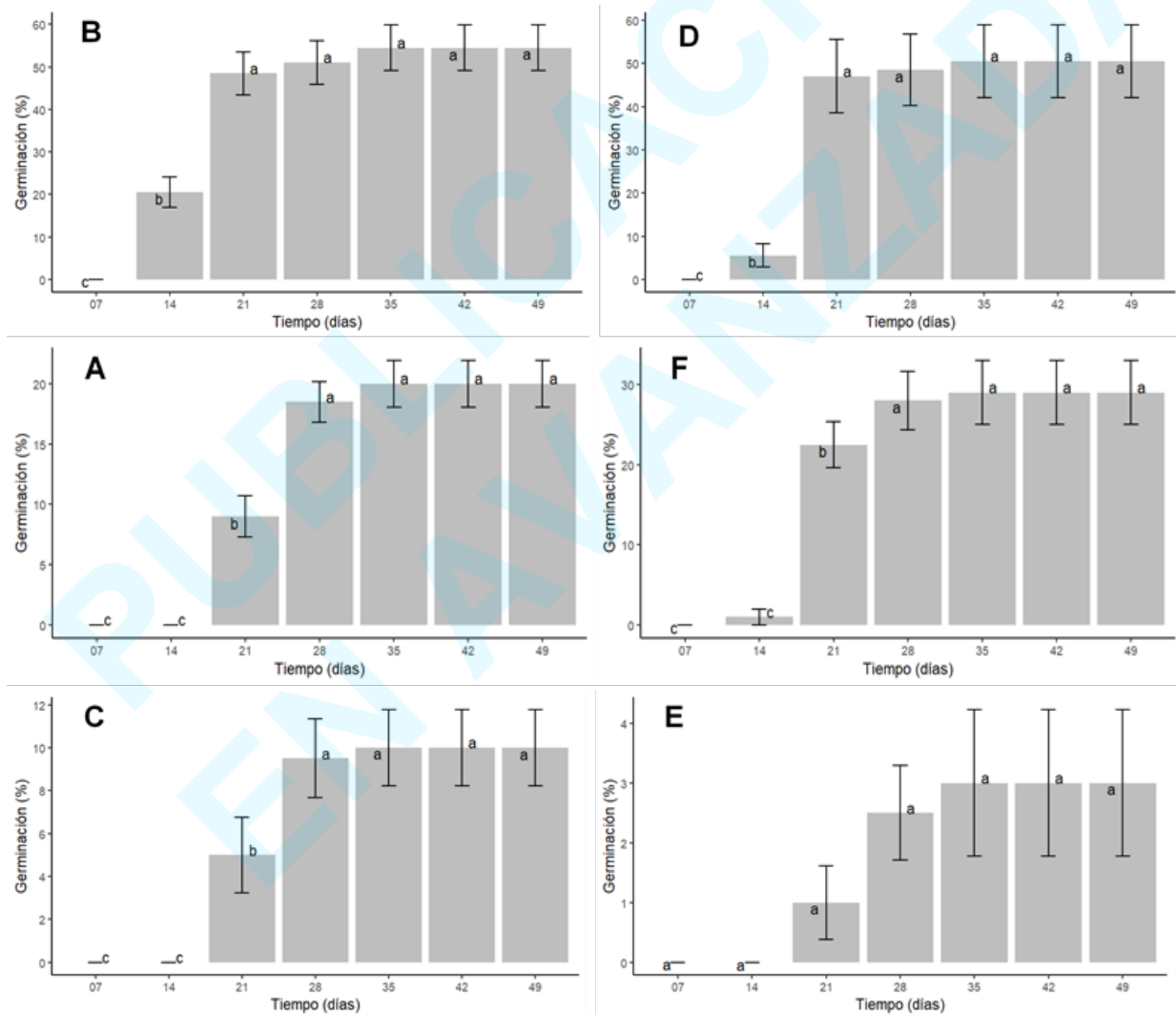




Figura 2. Comportamiento longitudinal de los tratamientos pregerminativos en *Prunus serotina*: A) remojo/secado con endocarpio, B) remojo/secado sin endocarpio, C) HCl 10 % con endocarpio, D) HCl 10 % sin endocarpio, E) testigo con endocarpio, F) testigo sin endocarpio. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Otro resultado importante fue que el tratamiento A (remojo y secado con endocarpio) mostró incrementos significativos, aunque inferiores a los tratamientos sin endocarpio, lo que reafirma que esta estructura limita la imbibición de agua y la expansión del embrión (Kim et al., 2024). En particular, el tratamiento A presentó diferencia estadísticamente significativa (valor $p < 0.05$) en la tercera y cuarta semana, duplicando su porcentaje de germinación promedio, al pasar de 9.0 % a 18.5 %; sin embargo, los incrementos en las semanas posteriores resultaron no significativos (Figura 2A). Por lo tanto, en dicho tratamiento, es suficiente dejar las semillas durante 28 días para alcanzar 20 % (ee = 1.94) como promedio máximo de germinación, debido a la presencia del endocarpio. Estos resultados son inferiores a los reportados por Castillo-Quiroz et al. (2021), quienes documentaron 89 % de germinación en semillas de *P. cercocarpifolia*, tratadas con un método de imbibición durante 48 horas. Kim (2019) menciona que las semillas de *P. yedoensis* con endocarpio presentaron inhibición en la germinación de hasta 31 % en comparación con semillas sin endocarpio, que mostraron 90 % de germinación.

En el caso del tratamiento F (testigo sin endocarpio) se logró un promedio de 29 % (ee = 1.79) de germinación al final del experimento. En la tercera semana se observó un aumento estadísticamente significativo al pasar de 1 % a 22.5 % de germinación. En la cuarta semana, el incremento también fue significativo, alcanzando un promedio del 28 %; sin embargo, después de esto no se registraron diferencias estadísticamente significativas (Figura 2F). Pipines et al. (2016) encontraron que la eliminación del endocarpio de las semillas de *Prunus cerasoides* Lindl. aumentó considerablemente la tasa de germinación.

Finalmente, los resultados indican que los tratamientos más eficaces (B = remojo/secado y D = HCl 10 %, ambos sin endocarpio), reducen el tiempo de germinación y aumentan el porcentaje de germinación total. Estos efectos coinciden con estudios en especies

similares (*P. persica* [L.] Batsch, *P. scoparia* C. K. Schneid. y *Prunus domestica* L.), donde la remoción del endocarpio y su combinación con GA₃ o H₂O₂ favorece la ruptura de la dormancia en la semilla (Nikbakht et al., 2023). En *P. serotina*, Baczek y Halarewicz (2019) sugieren que la interacción entre el endocarpio y el compuesto ABA determina el tiempo y el porcentaje de germinación

Por otra parte, el **Cuadro 4** muestra los estimadores de los parámetros del modelo logístico para cada tratamiento; al analizar los estimadores de β y γ , se encontró que los tratamientos B (Remojo/secado sin endocarpio) y D (HCl 10 % sin endocarpio) alcanzaron su tasa máxima de germinación aproximadamente al mismo tiempo. El tratamiento B registró su tasa máxima ($\gamma = 6.27$) a los 15.13 días con 54.12 % de germinación; en condiciones similares de tratamiento, Camacho-Morfin (2021) obtuvo 88 % de germinación en 25.4 días. Con respecto al tratamiento D, la tasa máxima de germinación ($\gamma = 11.81$) se logró a los 16.70 días con 50.05 % de germinación, lo cual podría considerarse como un resultado óptimo, debido a que tanto Pipinis et al. (2012) como Kim (2019) obtuvieron 48 % de germinación en 13.30 días y 29 % en 11.4 días, respectivamente. El tratamiento D mostró una tasa de germinación más rápida, lo que sugiere una reacción del HCl sobre la estructura y composición química del endocarpio. El resto de los tratamientos mostraron germinación significativamente menor (**Figura 1**) y alcanzaron su tasa máxima de germinación entre los 18 y 23 días; es decir, una semana más tarde que los tratamientos B y D.

Cuadro 4. Estimadores de los parámetros del modelo logístico por tratamiento pregerminativo en semillas de *Prunus serotina*.

Tratamiento	α	β	γ
A	0.200331	21.465665	9.735933
B	0.541258	15.138020	6.273484
C	0.099988	21.011882	10.736707
D	0.500514	16.705126	11.816022
E	0.030332	22.972061	8.161513
F	0.288552	18.745667	11.032442



Tratamientos pregerminativos: A) remojo/secado con endocarpio, B) remojo/secado sin endocarpio, C) HCl 10 % con endocarpio, D) HCl 10 % sin endocarpio, E) testigo con endocarpio, F) testigo sin endocarpio. α = límite superior del porcentaje de germinación, β = día en que se alcanza la tasa máxima de germinación y γ = tasa máxima de germinación.

La eficacia de los tratamientos encuentra soporte en estudios recientes que incorporan enfoques combinados, como la aplicación de GA_3 o peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con escarificación en especies afines (*P. persica*, *P. scoparia*, *P. communis* L. y *P. haussknechtii* C. K. Schneid.), donde se obtuvieron mayores tasas de germinación con tratamientos de 500 ppm de GA_3 y 0.5 % de H_2O_2 (Imani et al., 2011). Nikbakht et al. (2023) también demostraron que la aplicación de GA_3 tras la remoción del endocarpio es altamente efectiva para romper la dormancia fisiológica.

Análisis transversal

Mediante el análisis transversal del porcentaje de germinación se identificó el comportamiento diferencial de los tratamientos en las siete semanas de experimento. Los resultados mostraron una ventaja clara de los tratamientos que eliminaron el endocarpio y aplicaron escarificación física o química, en comparación con aquellos que conservaron sus estructuras inhibitoras.

Segunda semana

Hasta la segunda semana, las semillas con endocarpio de los tratamientos A (remojo/secado), C (HCl 10 %) y E (testigo) no mostraron germinación. Aunque los tratamientos D y F presentaron cierta respuesta, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas (valor $p > 0.05$) con respecto a los tratamientos A, C y E,



lo que sugiere un inicio incipiente del proceso germinativo no consolidado estadísticamente (Figura 3a). En contraste, el tratamiento B (remojo y secado sin endocarpio) tuvo germinación del 20.5 %, superando al tratamiento D (HCl 10 % sin endocarpio) con 5.5 % y al tratamiento F (semillas sin endocarpio) con apenas 1 %. El tratamiento B fue el único con diferencia estadísticamente significativa (valor $p < 0.05$) con respecto a los demás tratamientos, lo cual evidenció un efecto temprano y favorable del remojo y secado sobre la activación del proceso germinativo. Estos resultados concuerdan con los señalados por Szymajda y Maciorowski (2025), quienes concluyeron que la escarificación combinada con la eliminación del endocarpio mejora significativamente la germinación en especies del género *Prunus*. Además, McMahon et al. (2015) informaron que, en semillas escarificadas de *Prunus angustifolia* Marsh sin endocarpio, la germinación alcanzó 33 % en dos semanas.

Tercera semana

A los 21 días, todos los tratamientos mostraron respuesta germinativa, pero el tratamiento E (testigo con endocarpio) alcanzó solo 1 %; mientras que los tratamientos B (remojo y secado sin endocarpio) y D (HCl 10 % sin endocarpio) registraron los mayores porcentajes de germinación, 48.5 % y 47 %, respectivamente. En términos de consistencia, el tratamiento B mostró un error estándar menor ($ee = 5.1$; Cuadro 2) en comparación con el tratamiento D ($ee = 8.5$), lo que sugiere que B fue más estable en su efecto. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Camacho-Morfin (2021), quien observó incrementos en la germinación de *P. serotina* al aplicar una escarificación combinada. El tratamiento F (testigo sin endocarpio) registró 22.5 %. En contraste, las semillas de los tratamientos con endocarpio A (remojo y secado), C (HCl 10 %) y E (testigo) presentaron los menores porcentajes de germinación y no hubo diferencias estadísticamente significativas (valor $p > 0.05$) entre ellos (Figura 3b). En resumen, los resultados mostraron que la eliminación del endocarpio acompañado de tratamientos de escarificación físicos simples favorecen una germinación rápida y uniforme.

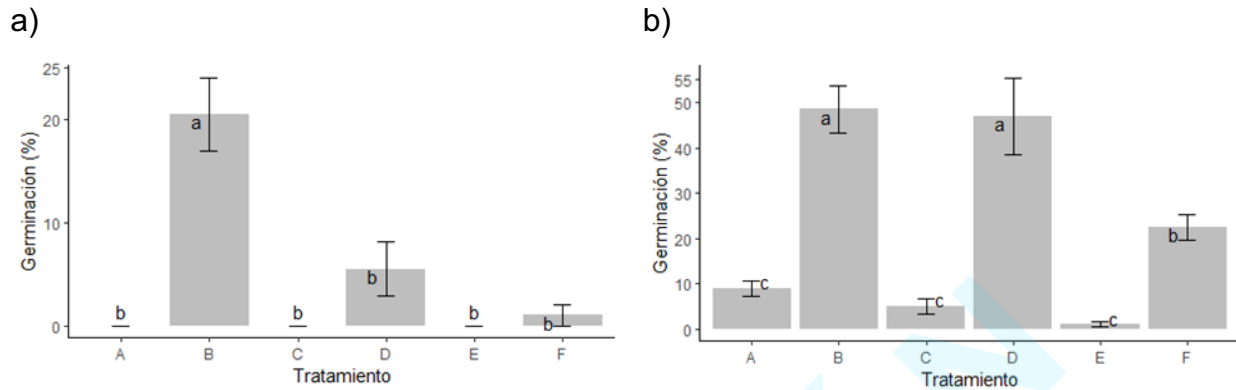


Figura 3. Efecto de los tratamientos pregerminativos en *Prunus serotina* en la segunda (a) y tercera semana (b): A) remojo/secado con endocarpio, B) remojo/secado sin endocarpio, C) HCl 10 % con endocarpio, D) HCl 10 % sin endocarpio, E) testigo con endocarpio y F) testigo sin endocarpio. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas de la germinación entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Cuarta semana

Durante la cuarta semana se observaron incrementos tardíos en algunos de los tratamientos con endocarpio. El tratamiento E (testigo con endocarpio) mantuvo una germinación mínima del 3 %, pero el tratamiento A (remojo y secado con endocarpio) duplicó su porcentaje de germinación, pasando de 9 % a 18.5 %, mientras que el tratamiento C (HCl 10 % con endocarpio) aumentó de 5 % a 9.5 %. Estos resultados sugieren que la presencia del endocarpio retrasa la germinación y actúa como una barrera que se degrada lentamente bajo condiciones de imbibición (Kim, 2019). En esta semana se identificaron tres grupos mediante la comparación de medias (Figura 4a). El primer grupo estuvo conformado por los tratamientos B (remojo y secado sin endocarpio) y D (HCl 10 % sin endocarpio), los cuales registraron los mayores porcentajes de germinación; Chen et al. (2007) obtuvieron valores similares con 40 % de germinación de *P. avium* en 28 días, tras usar agua desionizada como método de escarificación. El

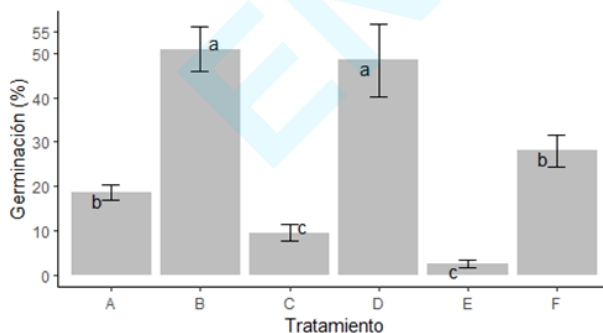


segundo grupo incluyó los tratamientos A y F (testigo sin endocarpio), en los que se obtuvo respuesta intermedia en el porcentaje de germinación. Finalmente, el tercer grupo se conformó con los tratamientos C y E con los porcentajes de germinación más bajos. Estos resultados refuerzan el papel inhibitor del endocarpio, tanto a nivel estructural como químico, dada la alta proporción de compuestos ABA presentes en el endocarpio y en la testa de la semilla (Baczek & Halarewicz, 2019; Baskin & Baskin, 2022).

Quinta-séptima semana

A partir de la quinta semana (35 días), el porcentaje de germinación se mantuvo constante en todos los tratamientos, sin incrementos en la sexta y séptima semana. El tratamiento E (testigo con endocarpio) no superó 3 %, confirmando la baja viabilidad cuando no hay escarificación ni remoción del endocarpio. Por otra parte, los tratamientos B (remojo y secado sin endocarpio) y D (HCl 10 % sin endocarpio) consolidaron su eficacia con un porcentaje final superior al 50 % de germinación, comportamiento respaldado por otros estudios en *P. cercocarpifolia* (Castillo-Quiroz et al., 2021) y *P. avium* (Javanmard et al., 2014). Por último, los tratamientos A (remojo y secado con endocarpio) y F (testigo sin endocarpio) se mantuvieron como opciones intermedias. Este patrón indica que la actividad germinativa se concentró principalmente en las primeras cuatro semanas y que la eliminación del endocarpio, junto con la escarificación física o química, son métodos eficaces para superar la dormancia en semillas de *P. serotina*.

a)



b)

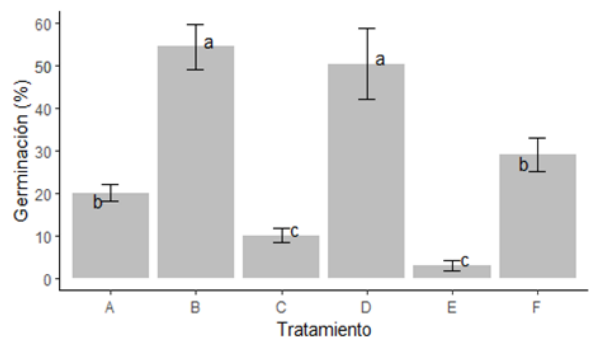




Figura 4. Efecto de los tratamientos pregerminativos en *Prunus serotina* en la cuarta (a) y quinta (b) semana: A) remojo/secado con endocarpio, B) remojo/secado sin endocarpio, C) HCl 10 % con endocarpio, D) HCl 10 % sin endocarpio, E) testigo con endocarpio y F) testigo sin endocarpio. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Conclusiones

Los métodos de escarificación evaluados constituyen alternativas novedosas para mejorar la germinación de *Prunus serotina*, debido a que no existen muchos estudios que documenten su aplicación en esta especie. Los tratamientos que involucraron el remojo-secado y uso de HCl (10 %) en semillas sin endocarpio fueron los más efectivos con porcentajes superiores al 50 %, los cuales aceleraron significativamente el inicio de la germinación. Esto confirma que la remoción del endocarpio, combinada con escarificación física o química, reduce notablemente la dormancia y mejora la velocidad de germinación. En contraste, los tratamientos con endocarpio mostraron porcentajes bajos de germinación y respuestas tardías, lo que evidencia la necesidad de adoptar protocolos más eficientes como los propuestos en este estudio. Los resultados aportan información original y útil para la propagación de *P. serotina* en viveros y la orientación de futuras investigaciones sobre métodos de escarificación.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado mediante la beca para realizar estudios de posgrado.



Asimismo, se reconoce a la comunidad del municipio de Ocotepéc, Puebla, por las facilidades otorgadas durante la colecta de semillas.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaramos que no tenemos conflictos de intereses económicos ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Declaración del uso de inteligencia artificial (IA)

Los autores declaramos no haber utilizado IA generativa o tecnologías asistidas por IA para el desarrollo del presente manuscrito.

Referencias

- Baczek, P., & Halarewicz, A. (2019). Effect of black cherry (*Prunus serotina*) litter extracts on germination and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings. *Polish Journal of Ecology*, 67(2), 137-147. <https://doi.org/10.3161/15052249PJE2019.67.2.004>
- Barba-Espín, G., Hernández, J. A., Martínez-Andújar, C., Díaz-Vivancos, P. (2022). Hydrogen peroxide imbibition following cold stratification promotes seed germination rate and uniformity in peach cv. GF305. *Seeds*, 1(1), 28–35. <https://doi.org/10.3390/seeds1010003>
- Baskin, C., & Baskin, J. (2014). *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (2nd. ed.) Elsevier, San Diego. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00597-X>
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2022). Seed (true seed plus endocarp) dormancy in Anacardiaceae in relation to infrafamilial taxonomy and endocarp anatomy. *Seed Science Research*, 32, 187-199. <https://doi.org/10.1017/S096025852200023X>



- Camacho-Morfin, F. (2021). Eliminación de la dormición de semillas de capulín (*Prunus serotina* ssp. *capuli* {Cav.}), mediante el remojo y secado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(67), 63–74. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1126>
- Castillo-Quiroz, D., Antonio-Bautista, A., Castillo, F., Sáenz, J., & Sáenz-Reyes, J. (2021). Tratamientos pregerminativos para semillas de *Prunus cercocarpifolia* Villarreal (Rosales, Rosaceae), especie endémica de la Sierra Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7, E0071003. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071003>
- Chen, S. Y., Chien, C. T., Chung, J. D., Yang, Y. S., & Kuo, S. R. (2007). Dormancy-break and germination in seeds of *Prunus campanulata* (Rosaceae): role of covering layers and changes in concentration of abscisic acid and gibberellins. *Seed Science Research*, 17(1), 21-32. <https://doi.org/10.1017/S0960258507383190>
- Giovanetti, G., Marcellini, M., Pergolotti, V., Mecozzi, F., Mezzetti, B., Capocasa, F., & Sabbadini, S. (2024). Standardization of an effective scarification and germination protocol for strawberry seeds that is useful for gamic propagation. *Horticulturae*, 10(12), 1345. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121345>
- Guzmán, F. A., Segura-Ledesma, S. D., & Almaguer-Vargas, G. (2020). El capulín (*Prunus serotina* Ehrh.): árbol multipropósito con potencial forestal en México. *Madera y Bosques*, 26(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611866>
- Imani, A., Rasouli, M., Tavakoli, R., Zarifi, E., Fatahi, R., Barba-Espin, G., & Martinez-Gomez, P. (2011). Optimization of seed germination in *Prunus* species combining hydrogen peroxide or gibberellic acid pre-treatment with stratification. *Seed Science and Technology*, 39(1), 204-207. <https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.1.18>
- Jaganathan, G. K., Wu, G. R., Song, X. Y., & Liu, B. L. (2015). Cryopreservation of dormant *Prunus armeniaca* L. seeds. *Seed Science and Technology*, 43(3), 456-466. <https://doi.org/10.15258/sst.2015.43.3.11>



- Javanmard, T., Zamani, Z., Keshavarz Afshar, R., Hashemi, M., & Struik, P. C. (2014). Seed washing, exogenous application of gibberellic acid, and cold stratification enhance the germination of sweet cherry (*Prunus avium* L.) seed. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 89(1), 74-78. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513051>
- Kheloufi, A. (2017) Germination of seeds from two leguminous trees (*Acacia karroo* and *Gleditsia triacanthos*) following different pre-treatments. *Seed Science and Technology*, 45(1), 1-4. <https://doi.org/10.15258/sst.2017.45.1.21>
- Kim, D. H. (2019). Practical methods for rapid seed germination from seed coat-imposed dormancy of *Prunus yedoensis*. *Scientia Horticulturae*, 243, 451-456. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.039>
- Kim, G. M., Ko, C. H., Chung, J. M., Kwon, H. C., Rhie, Y. H., & Lee, S. Y. (2024). Seed dormancy class and germination characteristics of *Prunus spachiana* (Lavallée ex Ed. Otto) Kitam. f. *ascendens* (Makino) Kitam native to the Korean Peninsula. *Plants*, 13(4), 502. <https://doi.org/10.3390/plants13040502>
- López-Hernández, E. F., Santiago-Mejía, H., & Gómez, O. Y. (2024). Conocimiento etnobotánico asociado al árbol de capulín (*Prunus serotina* Ehrh.) en comunidades mazahua de Jocotitlán, Estado de México, México. *Revista Etnobiología*, 22(1). <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/566>
- McMahon, E. A., Dunn, B. L., Stafne, E. T., & Payton, M. (2015). Cutting and seed propagation of chickasaw plum (*Prunus angustifolia*). *International Journal of Fruit Science*, 15(3), 313-323. <https://doi.org/10.1080/15538362.2015.1009969>
- McVaugh, R. (1951). A revision of the North American black cherries (*Prunus serotina* Ehrh., and relatives). *Brittonia*, 7(4), 279-315. <https://doi.org/10.2307/2804698>
- Nikbakht, A., Etemadi, N., & Tehranifar, A. (2023). Seed dormancy breaking in *Prunus mahaleb* using gibberellic acid and acid scarification. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2), 623-630. <https://doi.org/10.15835/nbha51213622>



- Pipinis, E., Milios, E., Kitikidou, K., & Radoglou, K. (2016). Treatments for seed germination improvement in *Prunus azorica*, *Frangula azorica* and *Morella faya*, three native species of Azores Islands. *Botany Letters*, 163(3), 329-335. <https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1206035>
- Rafiei, Z., Haji-Aslani, M., & Bahmani, K. (2019). Assessment of effective factors on breaking seed dormancy in *Prunus dulcis*. *Acta Horticulturae*, 1249, 243–250. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1249.35>
- R Core Team (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria R: Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Rostamikia, Y., Jahani, Y., Makkizadeh Tafti, M., Fekri Qomi, S., & Hamzeh, B. (2024). Effect of pretreatment of cold stratification on seed germination characteristics and early growth of Small-fruited cherry seedlings. *Journal Wood and Forest Science and Technology*, 31, 131–147. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2024.22691.2071>
- Rzedowski, J. (2021). La familia Rosaceae en México. *Polibotánica*, (51), 1-16. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.1>
- Segura, S., Guzmán-Díaz, F., López-Upton, J., Mathuriau, C., & López-Medina, J. (2018). Distribution of *Prunus serotina* Ehrh. in north america and its invasión in Europe. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6, 111-124. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.69009>
- Szymajda, M., & Maciorowski, R. (2025). Seed preparation methods for increasing the germination of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). *Forests*, 16(3), 516. <https://doi.org/10.3390/f16030516>
- Yang, S. H., Kwon, Y. H., Kim, Y. E., Ko, C. H., Lee, S. Y. & Rhie, Y. H. (2023). Seed dormancy and germination characteristics of *Prunus mandshurica* (Maxim.) Koehne. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 42(4), 324-330. <https://doi.org/10.5338/kjea.2023.42.4.36>