



**TACLLA**  
revistas.unf.edu.pe/taclla  
<https://doi.org/10.57063/rcitac.v2i1.267>



**FONDO EDITORIAL UNF**

## ARTÍCULO ORIGINAL



# Evaluación de tratamientos pregerminativos y tipos de suelo en la germinación de Parkinsonia aculeata (palo verde)

## Evaluation of pregerminative treatments and soil types in the germination of Parkinsonia aculeata (palo verde)

Marcy Cristel Aguilar-Adanaqué<sup>1</sup>; Nurit Dayana Palacios-Chuquihuanga<sup>1</sup>; Carmen Noelia Paico-Aguirre<sup>1</sup>; Carlo Saúl Alejandro Scaldaferri-Peña<sup>1</sup>; Magaly Maza-Córdova<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de matemática y estadística. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, 20101, Perú.

\*Autor de correspondencia: Magaly Maza Córdova - mmazac@unf.edu.pe

Received: 07 May 2026. Accepted: 29 May 2026. Published: 30 June 2026.

### Abstract

Seed germination is a critical stage in the establishment of forest species, especially in arid environments where physical dormancy limits propagation. This study aimed to evaluate the effect of pregerminative treatments and soil types on the germination of *Parkinsonia aculeata*. A completely randomized design with a 4×3 factorial arrangement was used, including four pregerminative treatments (mechanical scarification + soaking, soaking for 24 h, hot water, and control) and three soil types (river sand, common sand, and organic substrate), with three replicates per treatment. Germination percentage was the evaluated variable. Analysis of variance showed significant effects of factors and their interactions ( $p < 0.05$ ), with soil type being the most influential factor. River sand showed the highest germination percentage, while mechanical scarification combined with soaking was the most effective treatment. It is concluded that this combination optimizes germination and represents a viable alternative for reforestation programs.

As a primary goal, the abstract should render the general significance and conceptual advance of the work clearly accessible to a broad readership. References should not be cited in the abstract. Leave the Abstract empty if your article does not require one – please see the “Article types”.

**Keywords:** germination, scarification, substrate, seeds, forest species, dormancy.

### Resumen

La germinación de semillas constituye una fase crítica en el establecimiento de especies forestales, especialmente en ambientes áridos donde la dormancia física limita la propagación. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tratamientos pregerminativos y tipos de suelo en la germinación de *Parkinsonia aculeata*. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4×3, considerando cuatro tratamientos pregerminativos (escarificación mecánica + remojo, remojo por 24 h, agua caliente y control) y tres tipos de suelo (arena de río, arena común y sustrato orgánico), con tres repeticiones por tratamiento. La variable evaluada fue el porcentaje de germinación. Los resultados del análisis de varianza evidenciaron efectos significativos de los factores y sus interacciones ( $p < 0,05$ ), destacando el tipo de suelo como el factor de mayor influencia. La arena de río presentó el mayor porcentaje de germinación, mientras que la escarificación mecánica combinada con remojo resultó ser el tratamiento más eficiente. Se concluye que la combinación de escarificación mecánica y arena de río optimiza la germinación de la especie, constituyendo una alternativa viable para programas de reforestación.

**Palabras Clave:** germinación, escarificación, sustrato, semillas, especies forestales, dormancia.

Cite this article:

Aguilar Adanaqué, M.C.; Palacios Chuquihuanga, N.D.; Paico Aguirre, C.N.; Scaldaferri Peña, C.S.A. y Maza Córdova, M.(2026). *Evaluación de tratamientos pregerminativos y tipos de suelo en la germinación de Parkinsonia aculeata (palo verde)*. Revista Científica de Ingeniería de la Universidad Nacional de Frontera: Taclla, 2(1), 33-43.

## 1. INTRODUCCIÓN

La germinación de semillas representa uno de los momentos más críticos en el establecimiento de plantas, pues determina no solo la supervivencia inicial del embrión, sino también la capacidad de una especie para establecerse en nuevos sitios y responder a planes de restauración o producción forestal. En ambientes secos o degradados, especies como *Parkinsonia aculeata* (palo verde) tienen un valor ecológico y práctico relevante, pues pueden aportar sombra, fijación de nitrógeno (al ser leguminosas) y servir en programas de

revegetación; sin embargo, un obstáculo frecuente para su propagación es la dormancia física de sus semillas, debido a que poseen una testa dura e impermeable que limita la imbibición de agua y retrasa o evita la germinación bajo condiciones normales.

La necesidad de superar esa barrera física motiva la aplicación de tratamientos pregerminativos, mediante los cuales la cubierta de la semilla se debilita, raja o altera lo suficiente para permitir el acceso del agua y los gases al embrión, sin dañarlo.

En el presente trabajo se evaluaron tres tratamientos pregerminativos, inmersión en agua a 100 °C durante 5 minutos, inmersión en agua por 24 horas, escarificación mecánica seguida de inmersión por 24 horas y un control sin tratamiento, aplicados sobre lotes de 25 semillas cada uno, sembradas en tres tipos distintos de sustrato (arena de río, arena común y sustrato con materia orgánica). El propósito principal fue comparar los porcentajes de germinación obtenidos bajo cada combinación tratamiento-sustrato, con el fin de identificar las condiciones más favorables para la propagación eficiente de *Parkinsonia aculeata*.

De acuerdo Buba et al. (2023), el tratamiento con agua caliente consiste en sumergir semillas en agua a temperaturas elevadas durante unos minutos; al hacerlo, la cubierta térmicamente se expande o debilita, facilitando la entrada de agua al enfriarse. Mientras que, la escarificación mecánica con lijado combinada con una hidratación prolongada, debilita la testa y facilitar la imbibición del embrión, siendo este tratamiento uno de los más eficientes para superar la dormancia física en esta especie forestal (Agra et al., 2015a); la imbibición de semillas en agua por un tiempo prolongado es un proceso de bajo costo y con menor riesgo embrionario, que permite el reblandecimiento gradual de la testa y el aumento de la presión hídrica sobre las zonas más débiles del tegumento, lo cual permite la entrada de agua al embrión (Pompelli et al., 2023).

Otro de los factores para una germinación propicia es el medio de siembra, debido a que regula la interacción de la semilla con el agua, el oxígeno y la temperatura. Estudios han demostrado que los sustratos de textura arenosa favorecen la germinación inicial por su adecuado drenaje y mayor oxigenación, en contraste, los sustratos enriquecidos con materia orgánica, aunque permiten una mayor retención de agua y nutrientes, pueden generar condiciones menos favorables para la germinación debido a la compactación, menor aireación y la creación de microambientes que predisponen a infecciones fúngicas o pudrición de semillas (Luque, 2019).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Antecedentes

La *Parkinsonia aculeata* L., conocida comúnmente como turco o espino de Jerusalén, es una especie arbórea perteneciente a la familia Fabaceae, adaptada a condiciones áridas y semiáridas, con alta capacidad de regeneración y tolerancia a suelos salinos y alcalinos (Bautista, 2016).

En Venezuela, Méndez et al. (2009), realizó una investigación cuyo objetivo fue determinar el comportamiento de la germinación y el desarrollo temprano de plántulas bajo distintos tipos de sustrato, considerando su aplicación en viveros forestales. Para ello, se analizaron variables como porcentaje y velocidad de germinación, número medio de días a la germinación y altura de plántulas. Los resultados evidenciaron que la arena de río presentó los mayores porcentajes de germinación y un índice superior de velocidad germinativa, atribuible a su adecuada aireación y drenaje. En conclusión, este sustrato favoreció una emergencia uniforme de las plántulas, lo que sugiere que la arena de río constituye un medio eficiente para la germinación de especies forestales como *Parkinsonia aculeata*, especialmente en programas de producción de plantas y restauración ecológica.

González et al. (2021), realizó una investigación donde analizó la respuesta de la germinación y emergencia de plántulas frente a diferentes concentraciones de compuestos de plomo, empleando arena esterilizada como medio de crecimiento para garantizar condiciones físicas homogéneas y una adecuada aireación. Las semillas, previamente escarificadas, fueron sembradas en recipientes con arena y regadas periódicamente durante 15 días. Los resultados indicaron que el uso de arena permitió una alta emergencia de plántulas, incluso en presencia de contaminantes, evidenciando que este sustrato favorece la disponibilidad de oxígeno y el drenaje, factores clave para la germinación. En conclusión, la arena se consolida como un sustrato adecuado para estudios de germinación y establecimiento temprano de, especialmente en investigaciones orientadas a restauración y tolerancia a condiciones edáficas adversas.

Arvizu et al. (2020), realizó un estudio que tuvo como objetivo analizar la influencia de la materia orgánica sobre la germinación, emergencia y vigor de plántulas, utilizando compost, humus de lombriz y suelo agrícola

en distintas proporciones. Las semillas, previamente escarificadas para favorecer la imbibición, fueron sembradas en bandejas y mantenidas con riego periódico durante un periodo de 20 días. Los resultados evidenciaron que los sustratos con mayor contenido de materia orgánica promovieron una germinación más uniforme y un mayor crecimiento radicular y aéreo, debido a una mejor retención de humedad y disponibilidad de nutrientes. En conclusión, el uso de sustratos orgánicos constituye una alternativa adecuada y sostenible para la germinación y establecimiento inicial de *Parkinsonia aculeata*, especialmente en programas de reforestación y recuperación de suelos degradados.

En el noreste de México Carranza (2022), analizó los efectos del cambio de uso del suelo en la regeneración de especies forestales nativas, con el propósito de identificar aquellas con mayor potencial para su propagación y uso en reforestación. Para ello, se evaluaron áreas con vegetación secundaria sometidas a diferentes coberturas de copa, registrando la densidad, riqueza específica, índice de diversidad de Shannon e Índice de Valor de Importancia (IVI) de la regeneración leñosa. Paralelamente, se aplicaron tratamientos pregerminativos a semillas de diversas especies del MET para determinar su velocidad y porcentaje de germinación, utilizando ácido sulfúrico y agua caliente en diferentes tiempos de exposición. Los resultados evidenciaron la presencia de 22 especies, siendo la familia Fabaceae la más representada, mientras que *Croton incanus* obtuvo el mayor IVI. En cuanto a la germinación, el ácido sulfúrico permitió porcentajes superiores al 97% en *Havardia pallens*, *Prosopis laevigata* y *Ebenopsis ebano*, mientras que la inmersión en agua a 100 °C favoreció un 64% en *Parkinsonia aculeata*. En conclusión, las especies *E. ebano*, *P. aculeata*, *P. laevigata* y *Vachellia farnesiana* se identificaron como las de mayor potencial para su producción en vivero y uso en programas de restauración ecológica del MET.

Argentel-Martínez et al (2022), desarrolló una investigación que tuvo como propósito determinar si la baja germinación observada en ecosistemas salinos se debe a la impermeabilidad de la testa o a condiciones bioquímicas internas afectadas por la salinidad. Para ello, las semillas fueron sometidas a escarificación química mediante inmersión en ácido acético al 5% y a escarificación mecánica por lijado, exponiéndolas posteriormente a diez soluciones salinas con conductividades eléctricas entre 0.03 y 8.8 dS m<sup>-1</sup>. En cada tratamiento se registró la absorción de agua, el porcentaje de germinación y el tiempo de ocurrencia del máximo brote. Los resultados mostraron que ambas técnicas de escarificación incrementaron la imbibición entre un 34% y 35% respecto al control sin tratamiento, y elevaron el porcentaje de germinación hasta un 78% en condiciones no salinas. Asimismo, la germinación tendió a disminuir conforme aumentó la salinidad, aunque las semillas escarificadas mantuvieron mayores porcentajes que las no tratadas incluso a altos niveles de CE. En cuanto al tiempo de germinación, las técnicas aplicadas redujeron significativamente los días necesarios para la emergencia, destacando la escarificación mecánica, que permitió obtener germinación en aproximadamente nueve días aún bajo salinidades elevadas. En conclusión, el estudio evidenció que la escarificación, especialmente la mecánica, constituye una estrategia efectiva para mejorar la absorción de agua, acelerar la germinación y mitigar parcialmente los efectos del estrés salino en *P. aculeata*. Esto posiciona a la especie como una alternativa viable para programas de propagación y restauración en ambientes áridos y salinos, donde las limitaciones fisiológicas y edáficas restringen la regeneración natural.

La investigación desarrollada por Rodríguez (2025), evaluó la germinación de la especie *Clitoria ternatea*, sometida a tratamientos de remojo en agua durante distintos intervalos de tiempo, la investigación consideró cuatro tratamientos, correspondientes a 0 horas, 6 horas, 12 horas y 24 horas, y evaluó las variables porcentaje de germinación, altura de planta y diámetro del tallo, registrando la información de forma semanal a lo largo de un periodo de observación de cuatro semanas, los resultados demostraron que el tratamiento por 24 horas fue el más eficiente, al alcanzar un promedio de germinación acumulada de 67,25 por ciento, una altura de planta de 43,68 cm y un diámetro de tallo de 3,5 mm, valores que contrastaron de manera significativa con el tratamiento testigo, el cual presentó un bajo desempeño, con un porcentaje de germinación de 33,5, una altura de 24,7 cm y un diámetro de 1,78 mm, lo que evidencia el efecto positivo del remojo prolongado en la superación de la dormancia física de las semillas.

La investigación desarrollada por Flores et al. (2020), evalúa el efecto de tratamientos pregerminativos en semillas de *Euterpe precatoria* Mart., sometidas a diferentes métodos de inmersión en agua a temperatura ambiente, agua hirviendo y escarificación mecánica, la investigación consideró nueve tratamientos pregerminativos, que incluyeron remojo en agua a temperatura ambiente por 24, 72 y 120 horas, inmersión en agua hirviendo por 30, 60 y 90 segundos, escarificación con lija, escarificación combinada con remojo y un tratamiento testigo sin aplicación previa, y evaluó las variables porcentaje de germinación, tiempo medio de germinación, uniformidad germinativa y valor germinativo, registrando la información durante un periodo

continuo de observación de 105 días, los resultados evidenciaron que el tratamiento de inmersión en agua a temperatura ambiente por 72 horas fue el más eficiente, alcanzando un porcentaje de germinación de 88%, menor tiempo medio de germinación, mayor uniformidad y mayor valor germinativo, mientras que el tratamiento de inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas presentó un porcentaje de germinación intermedio de aproximadamente 62 por ciento, mostrando un comportamiento superior al tratamiento testigo pero inferior a los tratamientos de mayor tiempo de remojo. Para el análisis estadístico se empleó un diseño completamente al azar de tipo unifactorial, con nueve tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento, utilizando 25 semillas por unidad experimental, se aplicó previamente la prueba de normalidad de Shapiro Wilk y posteriormente se realizó un análisis de varianza ANOVA para determinar diferencias significativas entre tratamientos, complementándose con la prueba de rangos múltiples de Duncan a un nivel de confianza del 95 por ciento, lo que permitió identificar diferencias estadísticas entre los tratamientos y establecer la eficiencia del remojo en agua a temperatura ambiente como método pregerminativo.

## Métodos

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo experimental, ya que se manipuló deliberadamente más de un factor para evaluar su efecto sobre el porcentaje de germinación de semillas de *Parkinsonia aculeata*. El nivel de investigación fue explicativo, debido a que se analizaron relaciones de causa-efecto entre los tratamientos pregerminativos, los tipos de suelo y la respuesta germinativa.

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial 3x4, donde se evaluaron dos factores:

### Factor A: Tratamientos pregerminativos

- T1: Escarificación mecánica (lijado por 10 segundos) + remojo por 24 horas
- T2: Remojo en agua por 24 horas
- T3: Inmersión en agua caliente ( $95 \pm 1^\circ\text{C}$  por 5 minutos)
- T4: Control (sin tratamiento)

### Factor B: Tipo de suelo

- S1: Arena de río
- S2: Arena común
- S3: Sustrato con materia orgánica

Cada combinación factorial contó con tres repeticiones, dando un total de 36 unidades experimentales (4 tratamientos  $\times$  3 suelos  $\times$  3 repeticiones).

La unidad experimental estuvo constituida por 25 semillas viables de *Parkinsonia aculeata* sembradas en bolsas germinadoras individuales, bajo condiciones controladas de riego.

## Tratamientos

### • Remojo en agua por 24 horas

El remojo de semillas es un tratamiento de pre-germinación ampliamente utilizado en agronomía y silvicultura, que consiste en sumergir las semillas en agua o soluciones reguladoras durante un período controlado antes de la siembra, este proceso induce la imbibición, fenómeno fisiológico mediante el cual las semillas absorben agua y activan su metabolismo, desencadenando la síntesis de enzimas hidrolíticas que degradan reservas de carbohidratos, proteínas y lípidos, proporcionando energía para los procesos de crecimiento inicial de la plántula (Pita & Perez, 1998).

El remojo de semillas no solo aumenta la tasa de germinación, sino que también acelera el tiempo hasta la emergencia de las plántulas y mejora su vigor inicial. Investigaciones muestran que semillas tratadas mediante remojo presentan un crecimiento radicular más rápido y un mayor desarrollo de plúmula, lo que favorece un establecimiento uniforme y competitivo en campo abierto (Blunk et al., 2019). Además, se ha evidenciado que el remojo mejora la tolerancia de las semillas a condiciones adversas como salinidad, sequía o suelos compactos, mediante la activación temprana de mecanismos de defensa y la mejora de la eficiencia en el uso de reservas metabólicas (Ashraf & Foolad, 2005).

### • Lijado por 10 segundos y remojo por 24 horas (escarificación mecánica)

La escarificación mecánica es un tratamiento de pre-germinación empleado en agronomía y silvicultura, que consiste en lijar de manera controlada la cubierta externa de la semilla antes de la siembra. Este procedimiento facilita la entrada de agua y oxígeno, superando la dormancia física y promoviendo una germinación más rápida y uniforme. Durante el proceso, se activa la imbibición y se estimula el metabolismo

de la semilla, lo que permite la movilización de reservas energéticas indispensables para el crecimiento inicial de la plántula. Por lo tanto, la escarificación representa una técnica eficaz en especies con cubiertas impermeables y de difícil germinación (Argentel et al., 2022)

La escarificación mecánica no solo incrementa el porcentaje de germinación, sino que también reduce significativamente el tiempo necesario para la emergencia de las plántulas y favorece su establecimiento inicial, ya que estudios demuestran que, al debilitar la testa de semillas con cubiertas duras, se facilita la absorción de agua y oxígeno, promoviendo un metabolismo más activo y uniforme. Asimismo, este método mejora la rapidez de la imbibición y potencia el desarrollo radicular, generando plántulas con mayor vigor. Además, se ha comprobado que la escarificación permite enfrentar condiciones limitantes de germinación, como suelos áridos o compactados, incrementando la eficiencia en el uso de reservas internas (Agra et al., 2015).

- **Agua a punto de ebullición**

De acuerdo con Ruiz-Carranza et al. (2024), las semillas de *Parkinsonia aculeata* presentan latencia física ocasionada por la impermeabilidad de la testa, la cual puede romperse mediante tratamientos de escarificación térmica. Considerando esta premisa, antes de aplicar los tratamientos pregerminativos se evaluó la viabilidad de las semillas utilizando la prueba de flotación en agua destilada; aquellas que permanecieron en la superficie fueron descartadas, seleccionándose únicamente las hundidas para el experimento.

El tratamiento consistió en sumergir las semillas viables en agua caliente a  $95 \pm 1$  °C durante cinco minutos, con el fin de inducir microfisuras en la cubierta seminal y facilitar la absorción de agua. Una vez finalizada la inmersión, las semillas fueron establecidas en tres tipos de sustratos: (a) arena de río lavada, (b) arena y (c) sustrato orgánico comercial. En cada condición se sembraron 25 semillas distribuidas aleatoriamente, conformando un total de 75 unidades experimentales.

- **Un control sin tratamiento**

Se estableció un control sin tratamiento con el propósito de evaluar la germinación natural de semillas de palo verde (*Parkinsonia aculeata*). Se emplearon lotes de 25 semillas cada uno, sembradas directamente en bolsas germinadoras sin aplicar escarificación ni métodos previos. Los lotes se distribuyeron en tres tipos de sustrato: arena de río, arena común y un sustrato con materia orgánica. La siembra se realizó a profundidad uniforme y se deben mantener en condiciones similares de riego y temperatura. Este procedimiento busca determinar cómo influye la composición del sustrato en el porcentaje de germinación, aislando cualquier efecto de tratamientos externos en las semillas.

- **Variables de estudio**

Variable independiente:

- Tratamientos pregerminativos
- Tipo de suelo

Variable dependiente:

- • Porcentaje de germinación de semillas
- 

- **Evaluación de la germinación**

El porcentaje de germinación fue registrado semanalmente, considerándose como semilla germinada aquella que presentó emergencia visible de la radícula. Los datos fueron consignados en tablas para su posterior análisis estadístico.

### Hipótesis

1. Los tratamientos pregerminativos y el tipo de suelos influyen significativamente en la germinación de *Parkinsonia aculeata*.
2. La escarificación mecánica más el remojo por 24 horas produce un mayor porcentaje de germinación a diferencia de otros tratamientos.
3. El tipo de suelo con sustrato tienen mayor posibilidad de germinar a comparación de la arena de río.

## Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) para un diseño factorial completamente al azar, con el objetivo de determinar diferencias significativas entre tratamientos, tipos de suelo y sus interacciones.

Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  (95 % de confianza). El procesamiento estadístico se realizó mediante un software estadístico especializado.

## 3. RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos propuestos, se evaluó la eficacia de cuatro tratamientos pregerminativos y tres tipos de suelos en la germinación de semillas de *Parkinsonia aculeata*. Los resultados presentan el análisis de varianza del porcentaje de germinación en función de las técnicas de germinación, el tipo de suelo y las semanas de evaluación. El modelo general explicó adecuadamente la variabilidad observada (SC ajustado = 1446,24), presentando un valor F elevado (275,77) y un valor  $p = 0.000$ , lo que confirma su significancia estadística.

Entre los efectos lineales, el tipo de suelo fue el factor con mayor influencia sobre la germinación, evidenciado por el mayor SC ajustado (535,24) y el valor F más alto (3010,75). Las técnicas de germinación también mostraron un efecto importante (SC ajustado = 201,98;  $F = 757,42$ ), mientras que el factor semanas, aunque significativo, presentó una menor magnitud de efecto.

Las interacciones de dos términos explicaron una proporción relevante de la variabilidad (SC ajustado = 521,60), destacando la interacción técnica de germinación tipo de suelo, lo que indica que la efectividad de los tratamientos dependió del sustrato. Finalmente, la interacción triple también fue significativa ( $F = 63,65$ ;  $p = 0.000$ ), confirmando que la germinación estuvo determinada por la acción conjunta de los factores evaluados.

**Tabla 1.**

Análisis de Varianza del porcentaje de germinación vs Técnicas de germinación; Tipo de suelos; Semanas

| Fuente                                         | GL  | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|------------------------------------------------|-----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo                                         | 59  | 1446,24   | 24,513    | 275,77  | 0.000   |
| Lineal                                         | 9   | 788,86    | 87,651    | 986,07  | 0.000   |
| Técnicas de germinación                        | 3   | 201,98    | 67,326    | 757,42  | 0.000   |
| Tipo de suelos                                 | 2   | 535,24    | 267,622   | 3010,75 | 0.000   |
| Semanas                                        | 4   | 51,63     | 12,908    | 145,22  | 0.000   |
| Interacciones de 2 términos                    | 26  | 521,60    | 20,062    | 225,69  | 0.000   |
| Técnicas de germinación*Tipo de suelos         | 6   | 381,16    | 63,526    | 714,67  | 0.000   |
| Técnicas de germinación*Semanas                | 12  | 69,74     | 5,812     | 65,39   | 0.000   |
| Tipo de suelos*Semanas                         | 8   | 70,70     | 8,838     | 99,42   | 0.000   |
| Interacciones de 3 términos                    | 24  | 135,79    | 5,658     | 63,65   | 0.000   |
| Técnicas de germinación*Tipo de suelos*Semanas | 24  | 135,9     | 5,658     | 63,65   | 0.000   |
| Error                                          | 120 | 10,67     | 0,089     |         |         |
| Total                                          | 179 | 1456,91   |           |         |         |

**Nota.** El análisis de varianza evidenció que las técnicas de germinación, el tipo de suelo y las semanas influyeron significativamente en el porcentaje de germinación, así como sus interacciones, destacando el tipo de suelo como el factor de mayor efecto.

El objetivo de determinar el porcentaje de germinación de las semillas en cada tratamiento pregerminativo permitió identificar diferencias significativas entre los tipos de suelo evaluados mediante el método de comparación múltiple de Tukey con un 95% de confianza. La arena de río registró el mayor valor promedio de germinación (media = 3,933), diferenciándose estadísticamente de la arena común y del sustrato, los cuales presentaron medias significativamente menores (0,633 y 0,000, respectivamente).

La agrupación obtenida muestra que la arena común y el sustrato pertenecen al mismo grupo estadístico, evidenciando que no existen diferencias significativas entre ambos respecto al porcentaje de germinación. En contraste, la arena de río se ubicó en un grupo distinto, confirmando su mayor efectividad como sustrato para favorecer la germinación de las semillas bajo los tratamientos aplicados. Estos resultados identifican a la arena de río como el tipo de suelo más favorable para el proceso germinativo en las condiciones evaluadas.

Tabla 2

Porcentaje promedio de germinación según tipo de suelo (prueba de Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

| Tipo de suelos | N  | Media    | Agrupación |   |
|----------------|----|----------|------------|---|
| Arena de río   | 60 | 3,933    | A          |   |
| Arena          | 60 | 0,633    |            | B |
| Sustrato       | 60 | 0,000000 |            | B |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Nota.** Las medias con letras distintas presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), destacando la arena de río como el suelo con mayor porcentaje de germinación.

El análisis del comportamiento del porcentaje de germinación permitió evidenciar variaciones a lo largo del tiempo de evaluación. En este contexto, el objetivo de comparar el efecto de las semanas sobre la germinación mostró que los valores promedio no fueron constantes durante el periodo evaluado. La semana 3 presentó el mayor promedio de germinación (media = 5,00), seguida por las semanas 6 y 1, con valores de 4,50 y 3,67, respectivamente.

En contraste, las semanas 7 y 5 registraron los promedios más bajos (1,50 y 2,00), reflejando una menor respuesta germinativa en esos intervalos. La variabilidad observada en los datos, evidenciada por la dispersión entre valores mínimos y máximos, confirma que la germinación no se manifestó de forma uniforme. En conjunto, los resultados asociados al objetivo planteado indican que el porcentaje de germinación estuvo influenciado por el tiempo de evaluación, identificándose semanas con mayor y menor respuesta germinativa.

Tabla 3

Comportamiento del porcentaje de germinación según semanas de evaluación

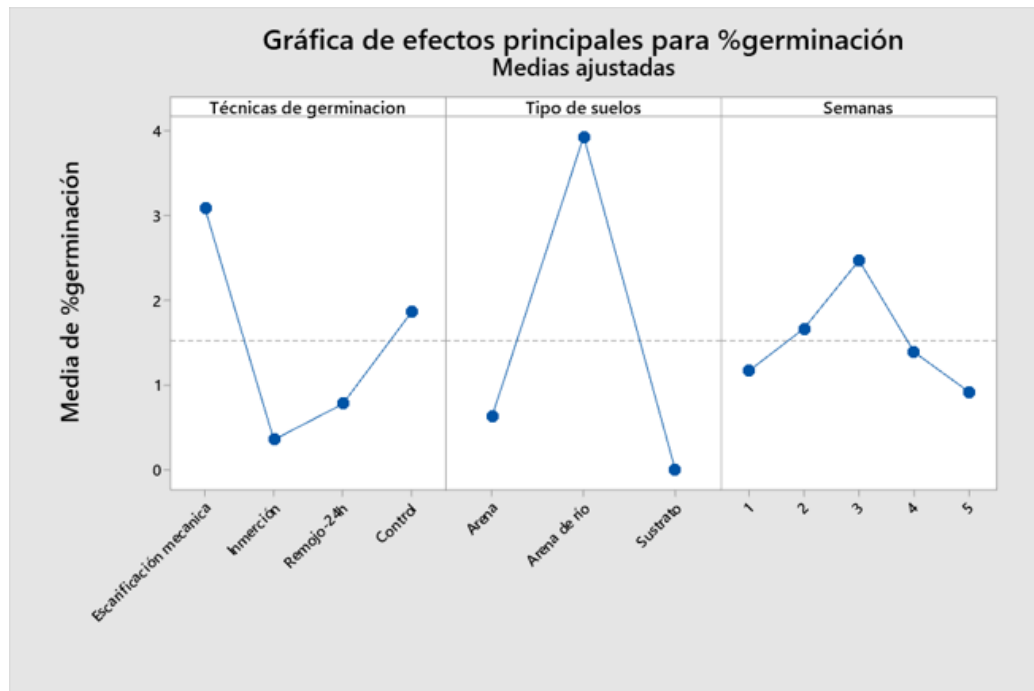
| Variable | % germinación | N   | N* | Media  | Error estándar de la media | Desv.Est. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     | Máximo |
|----------|---------------|-----|----|--------|----------------------------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Semanas  | 0             | 109 | 0  | 2,881  | 0,147                      | 1,538     | 1,000  | 1,500  | 3,000   | 4,500  | 5,000  |
|          | 1             | 9   | 0  | 3,667  | 0,167                      | 0,500     | 3,000  | 3,000  | 4,000   | 4,000  | 4,000  |
|          | 2             | 35  | 0  | 3,286  | 0,177                      | 1,045     | 1,000  | 3,000  | 3,000   | 4,000  | 5,000  |
|          | 3             | 3   | 0  | 5,0000 | 0,000000                   | 0,000000  | 5,0000 | 5,0000 | 5,0000  | 5,0000 | 5,0000 |
|          | 5             | 6   | 0  | 2,000  | 0,447                      | 1,095     | 1,000  | 1,000  | 2,000   | 3,000  | 3,000  |
|          | 6             | 6   | 0  | 4,500  | 0,224                      | 0,548     | 4,000  | 4,000  | 4,500   | 5,000  | 5,000  |
|          | 7             | 6   | 0  | 1,500  | 0,224                      | 0,548     | 1,000  | 1,000  | 1,500   | 2,000  | 2,000  |
|          | 11            | 3   | 0  | 2,0000 | 0,000000                   | 0,000000  | 2,0000 | 2,0000 | 2,0000  | 2,0000 | 2,0000 |
|          | 15            | 3   | 0  | 3,0000 | 0,000000                   | 0,000000  | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000  | 3,0000 | 3,0000 |

**Nota.** El porcentaje de germinación presentó variaciones entre semanas, destacando mayores valores promedio en semanas intermedias del periodo de evaluación.

La visualización del comportamiento del porcentaje de germinación según las técnicas de germinación y el tipo de suelo evidencia respuestas diferenciadas entre las combinaciones evaluadas. En relación con el objetivo de identificar la combinación más eficiente para la propagación de la especie, el gráfico muestra que las técnicas de germinación alcanzaron mayores valores de germinación cuando se aplicaron en arena de río, en comparación con arena común y sustrato.

Las líneas no paralelas reflejan la presencia de interacción entre ambos factores, indicando que la efectividad de los tratamientos pregerminativos dependió del tipo de suelo utilizado. En contraste, las combinaciones que incluyeron sustrato y arena común presentaron menores valores de germinación, lo que evidencia una respuesta germinativa menos favorable.

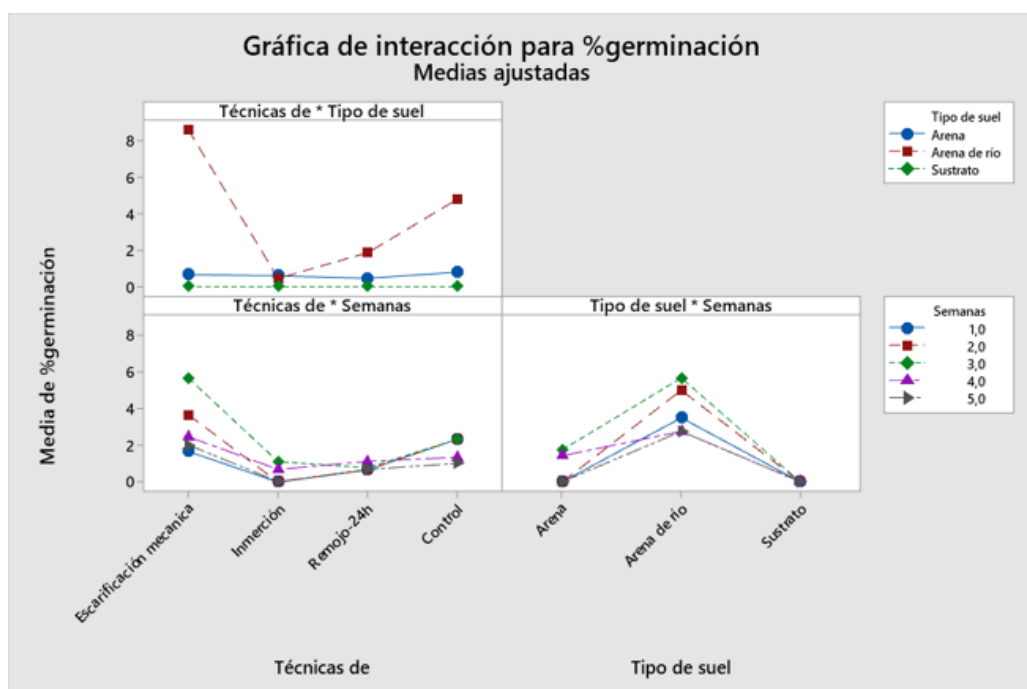
Fig. 1. Interacción entre técnicas de germinación y tipo de suelo



**Nota.** La figura indica que la eficiencia de las técnicas de germinación varía según el tipo de suelo, destacando la arena de río como el sustrato más favorable.

El gráfico relaciona el tipo de suelo con las semanas de evaluación muestra que el porcentaje de germinación presentó variaciones temporales, dependiendo del tipo de suelo utilizado. En función del objetivo planteado, la escarificación mecánica es la técnica que genera mayor porcentaje de germinación, seguida del control, mientras que la inmersión presenta el menor efecto. Respecto al tipo de suelo, la arena de río destaca claramente como el medio más favorable, superando a la arena común y al sustrato. En cuanto al tiempo, la germinación alcanza su punto máximo alrededor de la tercera semana, disminuyendo posteriormente.

Fig. 2. Interacción entre tipo de suelo y semanas de evaluación



**Nota.** El porcentaje de germinación varió según el tipo de suelo y el tiempo de evaluación, observándose mayores valores en la combinación con arena de río en semanas específicas.

#### 4. DISCUSION

Los resultados presentados por Ruiz et al (2024), sobre la propagación de especies forestales tropicales evidencian la importancia de aplicar tratamientos previos que faciliten los procesos fisiológicos relacionados con la reproducción, ya sea vegetativa o sexual. Aunque el estudio se centra en la propagación por estacas, sus conclusiones resaltan la influencia del manejo técnico sobre el éxito de la propagación, lo que resulta extrapolable a la germinación de semillas duras, como ocurre con *Parkinsonia aculeata* L. esta especie se caracteriza por presentar una testa impermeable que impide la absorción de agua, al igual que diversas leguminosas tropicales, por lo que tratamientos como el "ligado" de semillas y la inmersión en agua caliente se vuelven necesarios para superar la dormancia física. En consecuencia, resalta la necesidad de crear condiciones que disminuyan el estrés del material vegetal puede compararse con el efecto del remojo por inmersión, que busca ablandar la cubierta seminal y favorecer el intercambio hídrico sin generar daño térmico excesivo.

Según Cruz (2021) presento resultados del bajo rendimiento del sustrato orgánico en la germinación de *Parkinsonia aculeata* puede atribuirse principalmente a desequilibrios físicos y químicos del medio de siembra. Los sustratos orgánicos, cuando no están completamente estabilizados, suelen presentar alta actividad microbiana que compite con la semilla por oxígeno, generando condiciones hipóxicas que limitan la respiración embrionaria. Asimismo, un exceso de materia orgánica puede incrementar la retención de humedad, provocando anegamiento y favoreciendo procesos de pudrición de la semilla, a los cuales *P. aculeata* es particularmente sensible, la liberación rápida de nutrientes, especialmente nitrógeno y sales solubles, puede elevar la conductividad eléctrica del sustrato, afectando la imbibición y retrasando o inhibiendo la germinación.

El tipo de suelo fue el factor con mayor influencia sobre el porcentaje de germinación, destacando la arena de río como el sustrato más eficiente. Este resultado puede explicarse por su estructura granular, que favorece el drenaje y la difusión de oxígeno hacia la semilla, elementos esenciales para la respiración embrionaria durante las primeras fases de la germinación, de acuerdo con Hartmann et al. (2018), los sustratos con alta aireación y baja compactación promueven una emergencia más rápida y uniforme en especies forestales, especialmente en aquellas adaptadas a ambientes secos.

En relación con los tratamientos pregerminativos, la escarificación mecánica combinada con remojo por 24 horas fue la técnica más eficiente, particularmente cuando se aplicó en arena de río, este resultado se asocia a la ruptura parcial de la testa impermeable, permitiendo una imbibición rápida y una activación temprana de las enzimas responsables de la movilización de reservas (Bewley et al., 2013) .

El remojo en agua por 24 horas mostró un efecto intermedio, superior al control, pero inferior a la escarificación mecánica, lo que sugiere que el ablandamiento progresivo de la cubierta permite una imbibición parcial.

Por otro lado, la inmersión en agua caliente presentó el menor porcentaje de germinación, lo que podría atribuirse a daños fisiológicos en el embrión ocasionados por temperaturas elevadas o por una exposición inadecuada. De acuerdo con Copeland & McDonald (2001), aunque la escarificación térmica puede ser efectiva en algunas especies, una aplicación incorrecta puede reducir drásticamente la viabilidad de las semillas, especialmente en especies con embriones sensibles al calor.

#### 5. CONCLUSIONES

- Los tratamientos pregerminativos y el tipo de suelo influyen de manera significativa en el porcentaje de germinación de semillas de *Parkinsonia aculeata*, aceptándose la hipótesis general del estudio, dado que el análisis de varianza evidenció efectos significativos tanto de los factores individuales como de sus interacciones.
- Entre los tratamientos pregerminativos evaluados, la escarificación mecánica mediante lijado seguida de remojo por 24 horas fue la técnica más eficiente para superar la dormancia física de las semillas, logrando los mayores porcentajes de germinación, lo que demuestra que la ruptura parcial de la testa favorece la imbibición y la activación metabólica del embrión; el remojo en agua por 24 horas presentó un efecto positivo intermedio sobre la germinación, superior al tratamiento control, lo que indica que el ablandamiento progresivo de la cubierta contribuye parcialmente a la superación de la dormancia, aunque con menor eficiencia que la escarificación mecánica.
- La inmersión en agua caliente mostró los menores porcentajes de germinación, lo que sugiere que la exposición térmica empleada pudo ocasionar daños fisiológicos al embrión, reduciendo la viabilidad de las semillas bajo las condiciones experimentales.

- El tipo de suelo fue el factor con mayor influencia sobre el porcentaje de germinación, destacando la arena de río como el sustrato más favorable, debido a su adecuada aireación y drenaje, condiciones esenciales para la respiración embrionaria y la emergencia de plántulas de *P. aculeata*.
- Los sustratos con mayor contenido de materia orgánica y la arena común presentaron los menores valores de germinación, lo que evidencia que condiciones de mayor retención de humedad, compactación o actividad microbiana pueden limitar el proceso germinativo de esta especie.
- La interacción significativa entre tratamientos pregerminativos y tipo de suelo demuestra que la eficiencia de las técnicas aplicadas depende del medio de siembra, identificándose como combinación óptima la escarificación mecánica con remojo por 24 horas aplicada en arena de río.

## 6. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

## 7. REFERENCIAS

Agra, P., Guedes, R., Silva, M., Souza, V., Andrade, L., & Alves, E. (2015). Métodos para superação da dormência de sementes de *Parkinsonia aculeata* L. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(3), 1191. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1191>

Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Aguilera, J. G., Gonzales, H. H. S., & Velázquez, J. R. T. (2022). Escarificación química y mecánica de semillas *Parkinsonia aculeata* L. SP.PI. y su efecto en la absorción de agua y germinación. *Avances En Las Ciencias Forestales*, 3, 40–49. <https://doi.org/10.46420/9786581460655cap4>

Bautista, J. Omar Baez. (2016). *Parkinsonia aculeata* L. (Retama). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>

Buba, T., Ezra, A. G., Bako, S. P., & Sabo, M. U. (2023). Seed germination dynamics of some woody legumes: implication for restoration of arid zones ecosystems. *BioTechnologia*, 104(4), 381–402. <https://doi.org/10.5114/bta.2023.132774>

Carranza, L. D. R. (2022). Germinación y reproducción de especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2001). *Principles of Seed Science and Technology*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1619-4>

Flores, M., Ortega, W., & Ortega, A. (2020). Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Euterpe precatoria* Mart. (Huasaí) en la ciudad de Pucallpa Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(1), 88–103. <file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeTratamientosPregerminativosEnSemillasD-8128182.pdf>

Hartmann, H., Kester, D., Davies, F., & Geneve, R. (2018). *Plant propagation: Principles and practices* (Pearson, Ed.; 9th ed.). [https://www.academia.edu/111266615/Hartmann\\_and\\_Kester\\_s\\_Principles\\_and\\_Practices\\_of\\_Plant\\_Propagation\\_a\\_sneak\\_preview\\_of\\_the\\_9th\\_edition](https://www.academia.edu/111266615/Hartmann_and_Kester_s_Principles_and_Practices_of_Plant_Propagation_a_sneak_preview_of_the_9th_edition)

Luque, E. (2019). Efecto de sustratos y abonos orgánicos en la germinación y crecimiento inicial de *Pinus tecunumanii* Eguluz & J. P. Perry "pino rojo" en condiciones de laboratorio y viveros [Tesis de licenciatura, Universidad nacional agraria de la selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b07f4e06-473f-4347-8c80-919b4c09d683/content>

Pompelli, M., Jarma, A., & Rodriguez, L. (2023). Imbibition and Germination of Seeds with Economic and

Ecological Interest: Physical and Biochemical Factors Involved. Sustainability, 15(6), 5394.  
<https://doi.org/10.3390/su15065394>

Rodríguez, R. (2025). Evaluación del efecto del tiempo de remojo en la germinación de las semillas de *Clitoria ternatea* en Santa Elena [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal Península de Santa Elena].  
<https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8f6923d1-78f5-4227-b313-0b829cdd28a7/content>

Ruiz Carranza, L. D., Sigala Rodríguez, J. Á., Alanís Rodríguez, E., Molina Guerra, V. M., & Basave Villalobos, E. (2024). Tratamientos que promueven la germinación de semillas de cinco especies leñosas del Matorral Espinoso Tamaulipeco con latencia física. Polibotánica, 0(58), 159–170.  
<https://doi.org/10.18387/polibotanica.58.11>

Van, R. D., Flack, L. K., & Pettit, W. (2006). Wet-season Dormancy Release in Seed Banks of a Tropical Leguminous Shrub is Determined by Wet Heat. Annals of Botany, 98(4), 875–883.  
<https://doi.org/10.1093/aob/mcl171>