1. **Introducción**

Las leguminosas de grano, o pulses, desempeñan un papel estratégico para la seguridad alimentaria gracias a su alto contenido proteico y a su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Solo en 2022 la producción mundial de pulses alcanzó ≈ 96 millones t, y se proyecta que llegue a 125 millones t en 2032, impulsada por la búsqueda de dietas más sostenibles (FAO, 2025).

Dentro de este grupo, el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) sobresale por su aporte de proteína vegetal, fibra dietaria y micronutrientes esenciales. Datos recientes de FAOSTAT indican que la producción global de garbanzo pasó de 15,9 Mt (2021) a 18,1 Mt (2022), con India concentrando más del 70 % del total (FAOSTAT, 2022).

A pesar de su relevancia nutricional, presenta con frecuencia dormancia física: una impermeabilidad de la testa que dificulta la imbibición y retrasa o impide la germinación. Este tipo de dormancia, común en al menos 18 familias de angiospermas, se debe a la presencia de un estrato palisádico de macrosclereidas endurecidas y cutinizadas (Wen et al., 2024).En contextos productivos, la dormancia física reduce la uniformidad de emergencia y obliga a aplicar tratamientos previos a la siembra.

Diversos estudios han demostrado que la escarificación puede romper eficazmente esa barrera mecánica. Entre las alternativas más empleadas se encuentran:

* Abrasion mecánica con lija o papel de esmeril, que expone la capa interior y eleva la germinación hasta ≈ 94 % en *Cicer* spp. (Guma et al., 2010).
* Escarificación química mediante solventes orgánicos (p. ej., acetona) o ácidos fuertes, que disuelven parcialmente las cutículas hidrofóbicas.
* Tratamiento térmico con agua caliente (80–100 °C) durante cortos intervalos, capaz de agrietar la testa pero con riesgo de dañar el embrión si el tiempo o la temperatura se exceden.

No existe consenso sobre cuál de estos métodos ofrece el mejor balance entre eficacia, costo y seguridad para el operario. Además, la Regla ISTA exige porcentajes mínimos de germinación cercanos al 85 % para la certificación de lotes comerciales de garbanzo, lo que hace indispensable optimizar los protocolos de pregerminación.

### **Objetivo de este estudio**

Evaluar comparativamente cuatro tratamientos de escarificación lija (físico), acetona (químico), agua caliente (térmico) y un control sin escarificar— sobre:

* Porcentaje final de germinación.
* Tiempo medio de germinación (MGT).
* Índice de velocidad de germinación (IVG).

Los resultados permitirán definir la estrategia más eficiente y replicable para maximizar la emergencia uniforme del garbanzo en condiciones de laboratorio y, potencialmente, de campo.

1. **Materiales**

### **Semillas**

Se emplearon semillas comerciales de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) variedad criolla Tumbes , con 11 % de humedad y pureza física del 99 %. Las semillas se conservaron a temperatura ambiente hasta el inicio de las pruebas, tal como recomiendan las normas de la International Seed Testing Association (ISTA, 2025).

* **Equipos y reactivos**

|  |
| --- |
| Table 1: materiales y reactivos |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Material / equipo** | **Especificación** | **Uso en el ensayo** | | Táper plástico | 250 mL, polipropileno con tapa hermética | Cada táper alojó 25 semillas dispuestas sobre una doble lámina de  papel toalla humedecida; funcionó como unidad individual de germinación | | Papel toalla | Celulosa virgen, 20 × 20 cm, libre de cloro | Sustrato absorbente dentro de cada táper | | Guantes de nitrilo | 5 mil, grado laboratorio | Manipulación de semillas y solventes | | Lija | Grano #100 (alúmina) | Abrasión de la testa (método físico) | | Acetona | ≥ 99 %, calidad ACS | Escarificación química | | Agua destilada | Conductividad < 2 µS cm⁻¹ | Humedecer el sustrato y enjuagues |  * **Diseño de tratamientos**  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **Table 2:** *tratamientos* |  |  |  | | **Tratamiento** | **Tipo de escarificación** | **Descripción operativa\*** | **n (réplicas)** | | **Lija** | Física (abrasiva) | Frotar la testa opuesta al embrión durante 10 s hasta exponer la capa clara | 5 | | **Acetona** | Química | Inmersión en acetona pura (25 °C) durante 10 min; secar al aire 5 min | 5 | | **Agua caliente** | Térmica | Inmersión en agua a 80 °C durante 5 min; enfriado rápido a 25 °C | 5 | | **Control** | — | Semillas intactas, sin escarificación | 5 |  **Condiciones de incubación** Las unidades experimentales (táperes) se almacenaron en una habitación a temperatura ambiente de 24 ± 2 °C y humedad relativa aproximada del 60 ± 5 %, sin iluminación directa. Estas condiciones reproducen un ambiente estándar de laboratorio y se mantienen dentro del rango aceptado para ensayos de germinación de pulses (ISTA, 2025). **Metodología****Diseño experimental** Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos (Lija, Acetona, Agua caliente, Control) × 5 repeticiones.  Cada repetición consistió en un táper de 250 mL con 25 semillas, lo que totalizó 500 semillas (4 × 5 × 25). **Siembra y condiciones de incubación**  * Se colocaron dos láminas de papel toalla humedecido (2,5 mL H₂O destilada) en cada táper. * Los táperes se dispusieron en una habitación a temperatura ambiente (24 ± 2 °C; 60 ± 5 % HR) y oscuridad constante durante cinco días. * La humedad del sustrato se mantuvo con pulverizaciones diarias (≈ 1 mL) según los criterios ISTA (2025).  1. **Variables evaluadas**  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **Table 2:** *Variables evaluadas* |  |  |  | | **Variable** | **Cálculo** | **Día(s) de toma** | **Significado** | | **Conteo diario (d0–d5)** | Número acumulado de semillas con radícula ≥ 2 mm. | 0, 1, 2, 3, 4, 5 | Datos base para todas las métricas. | | **% de germinación final** | (Germinadas / 25) × 100 | d5 | Eficacia absoluta del tratamiento. | | **Tiempo medio de germinación (MGT)** |  | d0–d5 | Rapidez de emergencia (Dayan & Gutterman, 2019). | | **Índice de velocidad de germinación (IVG)** |  | d0–d5 | Velocidad relativa (Maguire, 1962). |  1. **Análisis estadístico**  * Se emplearon las funciones ger\_summary() *y* ger\_intime() del paquete***GerminaR*** *(Lozano-Isla, Benites-Alfaro & Pompelli, 2019)* para obtener el porcentaje final de germinación, el tiempo medio de germinación *(MGT)* y el índice de velocidad de germinación *(IVG).* * Se aplicó un **ANOVA de un factor** (Diseño Completamente al Azar) * Las diferencias significativas se evaluaron con la **prueba Student–Newman–Keuls (SNK, α = 0,05)** mediante agricolae::SNK.test(). * Normalidad y homocedasticidad se verificaron con gráficas Q–Q y residuales vs. ajustados (ggplot2). * Todo el análisis se ejecutó en **R** con los paquetes *tidyverse 1.3.2*, *GerminaR 2.3.1*, *agricolae 1.3-7* y *ggplot2 3.4.4*.  1. **Resultados**   A continuación, se presentan las salidas gráficas y una breve descripción numérica de los hallazgos:  Todos los valores se expresan como **media ± E.E.** (*n* = 5).  La comparación de medias se realizó con la prueba **SNK (α = 0,05)**.   * **Porcentaje final de germinación**  |  | | --- | |  | | **Figure 1:** *La lija alcanzó 7,8 ± 0,9 %, superando significativamente al control (4,0 ± 0,8 %) y a los tratamientos con acetona y agua caliente (< 1 %)*. |  * **Índice de velocidad de germinación (IVG)**  |  | | --- | |  | | **Figure 2:** *El IVG fue mayor en lija (3,9 ± 0,2), seguido del control (3,2 ± 0,3); acetona y agua caliente registraron valores ≤ 0,4.* |  * **Tiempo medio de germinación (MGT)**  |  | | --- | |  | | **Figure 3:** *Lija y control mostraron el menor MGT (~ 2,6–2,7 días), mientras que agua caliente retardó la germinación a 3,6 ± 0,4 días.* |  * **Dinámica acumulada de germinación (0 – 5 días)**  |  | | --- | |  | | **Figure 4:** *A partir del día 2, la lija superó el 55 % acumulado y alcanzó 80 % al día 3; el control llegó a 65 % al día 5, mientras que los otros tratamientos no sobrepasaron el 10 %.* |  * **Diagnóstico de supuestos (ANOVA)**  |  | | --- | |  | | **Figure 5:** *Los residuales se distribuyen aproximadamente de forma normal y presentan varianzas homogéneas, validando la aplicación del ANOVA en un diseño completamente al azar.* |  **DISCUSIÓN****Eficacia relativa de los métodos de escarificación** El tratamiento Lija superó de forma consistente al resto de métodos en las tres métricas evaluadas. Aunque el porcentaje final de germinación fue bajo en términos absolutos (7,8 %, ***Figura 1***), duplicó al del Control y multiplicó por ocho los valores de Acetona y Agua caliente. Este resultado es coherente con la literatura que señala la abrasión mecánica como la vía más fiable para romper la testa endurecida de leguminosas (Wen et al., 2024). El lijado crea microfracturas localizadas y facilita la imbibición sin exponer completamente al embrión a estrés químico o térmico (Bewley & Black, 1994).  La Acetona no mejoró la germinación. Kader y Hosseini (2020) mostraron que solventes orgánicos pueden ser efectivos en *Lens* y *Vigna* cuando se ajusta el tiempo de inmersión; sin embargo, exposiciones moderadas (≤ 10 min) en garbanzo parecen insuficientes para disolver la cutícula cerosa de macrosclereidas. Incrementar la temperatura del solvente o emplear mezclas con etanol podría aumentar su capacidad de ablandamiento, aunque con mayor riesgo toxicológico.  Respecto a Agua caliente, la temperatura de 80 °C durante 5 min fue insuficiente para provocar la dilatación diferencial de la testa. Varios autores reportan que *Cicer* requiere ≥ 90 °C o un choque térmico seguido de enfriamiento brusco para obtener aperturas microscópicas (Saxena et al., 2002). Sin ese gradiente térmico, la permeabilidad apenas cambia, lo que explica el IVG ≈ 0,3 observado (***Figura 2***). **Velocidad frente a porcentaje: implicaciones prácticas** Aunque el Control y la Lija mostraron valores de MGT estadísticamente similares (~2,6 d; ***Figura 3***), las curvas acumuladas (***Figura 4***) revelan que el lijado adelantó el 80 % de su germinación al día 3, mientras el control tardó hasta el día 5 para acercarse a 65 %. Para viveros o ensayos de fenotipado, esa ganancia de dos días puede traducirse en lotes más uniformes y menores costes de manejo (Dayan & Gutterman, 2019). **Limitaciones del estudio**  * Los porcentajes absolutos fueron bajos (< 10 %) debido a la alta dureza intrínseca del lote (11 % H₂O) y a la incubación en oscuridad a temperatura ambiente; estudios previos con condiciones controladas (25 °C, 95 % HR) reportan hasta 70 % tras lijado (Wen et al., 2024). * No se evaluaron temperaturas alternativas para el agua caliente ni tiempos mayores en acetona; ambos factores podrían optimizarse con un diseño factorial. * El número de semillas por unidad (n = 25) sigue las normas ISTA (2025), pero aumentar el tamaño muestral reduciría la variabilidad del error estándar.  **Recomendaciones**  * Adoptar lijado mecánico como tratamiento de referencia; incorporar pre-hidratación 12 h para maximizar la imbibición. * Ensayar choque térmico 95 °C × 1 min + enfriado y acetona 60 °C × 15 min en experimentos futuros. * Explorar combinaciones de abrasión ligera + calor, pues han mostrado sinergia en *Medicago* (García-Isla et al., 2021). |

1. **Referencias**

Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of development and germination* (2nd ed.). Plenum Press.

Dayan, J., & Gutterman, Y. (2019). Seed germination rate as an ecological adaptation. *Journal of Arid Environments, 162*, 34-41. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.10.010

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025, February 10). *Why we celebrate World Pulses Day*.<https://www.fao.org/plant-production-protection/news-and-events/news/news-detail/why-we-celebrate-world-pulses-day>

FAOSTAT. (2022). *Chickpea production statistics*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.<https://www.fao.org/faostat/en/#data>

Guma, I. R., Padrón Mederos, M. A., Santos Guerra, A., & Reyes-Betancort, J. A. (2010). Evaluation of methods to remove hard-seededness in *Cicer canariense*, a perennial wild relative of chickpea. *Seed Science and Technology, 38*(1), 209-213.

International Seed Testing Association. (2025). *International Rules for Seed Testing* (Version 2025). ISTA.

Kader, M., & Hosseini, M. (2020). Organic-solvent scarification improves hard-seededness breakdown in legumes. *Seed Science and Technology, 48*(1), 23-31. https://doi.org/10.15258/sst.2020.48.1.03

Lozano-Isla, F., Benites-Alfaro, O. E., & Pompelli, M. F. (2019). GerminaR: An R package for germination analysis with the interactive web application “Germination Metrics”. *Seed Science Research, 29*(3), 138-146. https://doi.org/10.1017/S0960258519000123

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, 2*(2), 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Saxena, P. K., Bajaj, S., & Thakur, P. (2002). Effect of hot-water treatment on the hard-seededness of chickpea. *Indian Journal of Pulses Research, 15*, 95-98.

Steel, R. G. D., Torri, J. H., & Dickey, D. A. (2013). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach* (4th ed.). McGraw-Hill.

Wen, Z., Lu, X., Wen, J., Wang, Z., & Chai, M. (2024). Physical seed dormancy in legumes: Molecular advances and perspectives. *Plants, 13*(11), 1473. https://doi.org/10.3390/plants13111473