

## Calidad fisiológica de las semillas de *Vasconcellea pubescens* A. DC en función del contenido de humedad y tratamientos pregerminativos

### Physiological quality of *Vasconcellea pubescens* A. DC seeds as a function of moisture content and pre-germination treatments

Jhojana Lorenzo Quispe<sup>1</sup> , Fredesvinda Carrillo Castillo<sup>1</sup> ,  
Ana Laura Rucabado Miranda<sup>1</sup> , Ricardo Borjas Ventura<sup>2</sup>

Siembra 13 (1) (2026): e8899  
DOI: [10.29166/siembra.v13i1.8899](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i1.8899)

Recibido: 13/10/2025  
Revisado: 08/12/2025 / 06/03/2026  
Aceptado: 20/03/2026



<sup>1</sup> Instituto Nacional de Innovación Agraria, Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología, Centro Experimental La Molina. Av. La Molina 1981, Lima 15024, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de agronomía. Departamento de Fitotecnia. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima, Perú.

Correspondencia: rborjas@lamolina.edu.pe

#### Resumen

Conocer la calidad fisiológica de las semillas y el control de la germinación contribuye significativamente en el uso y conservación de especies nativas. *Vasconcellea pubescens* A. DC, es importante por su valor nutricional en Perú; sin embargo, uno de los problemas que presenta esta especie es la latencia de su semilla. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del contenido de humedad de la semilla y siete tratamientos pregerminativos, sobre la calidad fisiológica de las semillas almacenadas durante seis años a 10 °C y 50% de humedad relativa. El estudio se realizó en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial, evaluando dos contenidos de humedad de semilla (8 y 9%) y siete tratamientos pregerminativos (GA<sub>3</sub> 200 ppm 24 h<sup>-1</sup>, GA<sub>3</sub> 400 ppm 24 h<sup>-1</sup>, KNO<sub>3</sub> 2,5% 24 h<sup>-1</sup>, KNO<sub>3</sub> 1,5% 24 h<sup>-1</sup>, escarificación mecánica, agua caliente a 70 °C 5 minutos<sup>-1</sup>, y testigo). Los ANOVA se efectuaron a un nivel de significancia del 5% empleando la prueba de medias de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Los resultados mostraron que los factores “Contenido de humedad” y “Tratamientos pregerminativos” afectaron significativamente la germinación, siendo la escarificación mecánica y GA<sub>3</sub> a 200 ppm los que promovieron la mayor germinación (hasta 80%). En contraste, el KNO<sub>3</sub> y el agua caliente presentaron altos porcentajes de semillas no germinadas, además que, la aplicación de GA<sub>3</sub> a 400 ppm presentó oxidación de los cotiledones. En este sentido, el almacenamiento de semillas de *V. pubescens* a una humedad de 9% mantiene su viabilidad y mejora su respuesta a los tratamientos pregerminativos, como una alternativa para la conservación *ex situ*, asegurando la preservación y utilidad sostenible de esta especie.

**Palabras clave:** ácido giberélico, conservación de semillas, dormancia.

#### Abstract

Understanding the seed physiological quality and germination control is important for using and conserving native species. *Vasconcellea pubescens* A. DC is an important source of nutrition in Peru; however, seed dormancy is one of the problems associated with this species. This study aimed to evaluate the influence of seed moisture content and seven pre-germination treatments on the physiological quality of seeds stored for six years at 10 °C and 50% relative humidity. A completely randomized design with factorial arrangement was used to evaluate two seed moisture content levels (8 and 9%) and seven pre-germination treatments (GA<sub>3</sub> at 200 ppm for 24 hours, GA<sub>3</sub> at 400 ppm for 24 hours, KNO<sub>3</sub> at 2.5% for 24 hours, KNO<sub>3</sub> at 1.5% for 24 h, mechanical scarification, hot water at 70 °C for 5 minutes, and a control treatment). ANOVAs were performed at a 5% significance level using Tukey's test ( $\alpha = 0.05$ ). The results showed that the factors “Moisture content” and “Pre-germi-



nation treatments” significantly affected germination. Mechanical scarification and GA<sub>3</sub> at 200 ppm promoted the highest germination rates (up to 80%). In contrast, KNO<sub>3</sub> and hot water resulted in high percentages of non-germinated seeds. Furthermore, the application of GA<sub>3</sub> at 400 ppm caused cotyledon oxidation. Therefore, storing *V. pubescens* seeds at 9% moisture content maintains their viability and improves their response to pre-germination treatments. This serves as an alternative method of *ex situ* conservation, ensuring the preservation and sustainable use of the specie.

**Keywords:** dormancy, gibberellic acid, seed preservation.

## 1. Introducción

La familia *Caricaceae* comprende cuatro géneros entre los que destaca *Vasconcellea* que está conformado por 53 especies, siendo una de ellas *Vasconcellea pubescens* A. DC (Scheldeman et al., 2007; Kyndt et al., 2005) conocida localmente como ‘papayita serrana’. Su consumo ofrece múltiples beneficios para la nutrición humana con una elevada concentración de compuestos fenólicos (β-caroteno y vitamina C) que le otorgan una alta capacidad antioxidante (Vega-Gálvez et al., 2022). En relación con su consumo en forma procesada, en el año 2022 Perú exportó 25.344 frascos de almíbar, de acuerdo con datos del Ministerio de la Producción (2023). También, su importancia radica como una fuente de genes de tolerancia al ‘virus de la mancha anular de la papaya’ [RSPV-P] (Ordaz-Pérez et al., 2017; Urtasum et al., 2020).

Por lo tanto, su conservación resulta fundamental para los programas orientados al mejoramiento genético de otros cultivos, como *Carica papaya* (Fielder et al., 2016; Van Treuren et al., 2017; Urtasum et al., 2020), toda vez que la incorporación de parientes silvestres en la mejora de los cultivos contribuye significativamente a garantizar la seguridad alimentaria mundial y a adaptar los sistemas agrícolas a las condiciones climáticas futuras (Urtasum et al., 2020).

Una de las principales estrategias para la conservación de germoplasma es la técnica de conservación de semillas *ex situ*, la cual resulta particularmente adecuada para semillas ortodoxas, en virtud de su capacidad de tolerancia a la desecación y el almacenamiento a bajas temperaturas lo que permite mantener su viabilidad durante períodos prolongados en condiciones controladas (Gutiérrez y Koch, 2015). Aunque la longevidad de las semillas depende de la temperatura de almacenamiento y el contenido de humedad del material genético, el tiempo que permanecen viables está estrechamente relacionado a los compuestos bioquímicos de las especies de interés, como el alto contenido de lípidos; así, aquellas semillas con mayor contenido de lípidos (como las oleaginosas) tienen una mayor capacidad de soportar la pérdida de agua. No obstante, el contenido de lípidos es un aspecto importante toda vez que se puede producir oxidación lipídica durante la desecación, además de influir otros

factores al estrés oxidativo como el contenido de azúcares y proteínas (Pirredda et al., 2024; Corbineau, 2024). Si bien el almacenamiento a bajas temperaturas con bajos contenidos de humedad de semilla son factores necesarios para prolongar la conservación de las semillas, no resultan suficientes por sí solos para garantizar el mantenimiento de su calidad fisiológica a largo plazo.

En contraste, se han desarrollado diversas estrategias que pueden contribuir a mejorar la germinación de semillas almacenadas por períodos prolongados. Al respecto, la aplicación de ácido giberélico [GA<sub>3</sub>], con un efecto favorable sobre la germinación de semillas, ha sido documentada en *Vasconcellea cundinamarzensis* (Benítez et al., 2013), *Brassica napus*, *Triticum aestivum* y *Hordeum vulgare* (Koçak Şahin et al., 2025); mientras que el efecto del nitrato de potasio [KNO<sub>3</sub>] sobre la germinación ha sido reportado en *Capsicum annum* (Maphalaphathwa y Nciizah, 2025) y *Solanum lycopersicum* (Ali et al., 2020), en ambos casos hubo un aumento del porcentaje de germinación comparado con el control. El empleo de agua caliente se ha considerado como otra alternativa para mejorar la germinación de las semillas; esta mejora ha sido reportada por González y Mendoza (2008) en *Leucaena leucocephala* y por Mohammadi et al. (2012) en *Abelmoschus esculentus*. Los tratamientos pregerminativos antes mencionados no han sido aplicados a *V. pubescens*, lo que limita las opciones técnicas para mejorar la conservación y germinación de esta especie.

En virtud de lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de dos contenidos de humedad de la semilla y siete tratamientos pregerminativos, sobre la calidad fisiológica de las semillas de *V. pubescens* almacenadas durante seis años a 10 °C y 50% de humedad relativa.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Sitio de estudio y material vegetal

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Semillas del Banco de Semillas de la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología del Instituto Nacional

de Innovación Agraria [INIA] en Lima, Perú, con un periodo experimental de dos meses, comprendidos de mayo a junio del año 2024.

Se emplearon semillas botánicas de ‘papayita serrana’ (*Vasconcellea pubescens* A. DC) provenientes de la colección de papayita serrana de la Estación Experimental Agraria Arequipa del INIA, conservadas por un lapso de seis años.

## 2.2. Tratamientos

En este trabajo se evaluaron los factores “Contenido de humedad de la semilla” (A) con dos niveles: 8 y 9%, y “tratamientos pregerminativos” (B) con siete niveles. Con el producto de ambos factores se tuvo un total 14 tratamientos (Tabla 1).

## 2.3. Preparación de los tratamientos pregerminativos químicos

En el experimento se emplearon las semillas de papayita serrana que fueron almacenadas en sobres de aluminio herméticamente selladas con contenidos de humedad de 8 y 9%, respectivamente, a una temperatura de 10 °C y 50% de humedad relativa durante seis años.

Se prepararon soluciones de GA<sub>3</sub> y nitrato de potasio como tratamientos pregerminativos; en el caso de las soluciones de GA<sub>3</sub> se pesaron 36 y 72 mg, las cuales fueron diluidas en cinco mL de alcohol etílico al 96%. Luego, se agregó agua destilada para obtener 180 mL de solución a las concentraciones de 200 ppm y 400 ppm, respectivamente. En el caso del KNO<sub>3</sub>, se pesaron 2,7 y 4,5 g de este compuesto químico para obtener concentraciones de 1,5 y 2,5%; posteriormente se diluyó en agua destilada para obtener 180 mL de solución. Una vez obtenidas las concentraciones de cada tratamiento pregerminativo, 840 semillas fueron embebidas durante 24 h en cada una de las soluciones preparadas.

## 2.4. Acondicionamiento de las semillas de los tratamientos pregerminativos físicos

Una vez ubicada la posición de la radícula en las semillas, se realizó una escarificación mediante cortes transversales en los polos de las semillas. Con relación a la estratificación de las semillas, se procedió al calentamiento de agua destilada hasta llegar a 70 °C para sumergir las semillas de *V. pubescens* durante 5 minutos.

## 2.5. Variables evaluadas

La aparición y cambio morfológico de la raíz se determinó con base en observaciones diarias que se hicieron. Aquí se registró la protrusión, aparición de pelos radiculares y longitud de las semillas.

El porcentaje de germinación se determinó de acuerdo con el número de semillas germinadas y el número total de semillas sembradas; el tiempo de latencia se consideró con el inicio de la germinación o la ruptura de la testa (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996).

El índice de germinación se evaluó como la media del tiempo de germinación en relación con la capacidad de germinación (Scott et al., 1984). El tiempo promedio de germinación como la media del tiempo promedio que necesitan las semillas para germinar (Côme, 1970). La velocidad de germinación como la relación del número de semillas germinadas con el tiempo de germinación (Maguire, 1962) y el coeficiente de velocidad con el número de semillas germinadas inversamente relacionadas con el tiempo y el número de semillas germinadas por día (Kotowski, 1926).

Para ello, las semillas fueron colocadas en placas Petri que contenían papel filtro esterilizado. Para garantizar la humedad del papel filtro, se usó agua destilada. Las placas Petri, debidamente rotuladas, fueron colocadas en una cámara germinadora CIMMSA RGDS/L-425 a 25 °C y con 80% de humedad relativa.

**Tabla 1.** Tratamientos bajo estudio sobre la calidad fisiológica de las semillas *Vasconcellea pubescens*.  
Table 1. Treatments under study regarding the physiological quality of *Vasconcellea pubescens* seeds.

Tratamiento pregerminativo		Contenido de humedad de la semilla	
T1	GA <sub>3</sub> 200 ppm 24 h <sup>-1</sup>		
T3	KNO <sub>3</sub> 2,5% 24 h <sup>-1</sup>		
T4	KNO <sub>3</sub> 1,5% 24 h <sup>-1</sup>		
T5	Escarificación mecánica	8%	9%
T6	Agua caliente 70 °C 5 minutos <sup>-1</sup>		
T7	Testigo		

## 2.6. Análisis de datos

El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial  $2 \times 7$ , con los factores: contenido de humedad (8 y 9%) y tratamientos pregerminativos (giberelinas a 200 y 40 ppm, nitrato de potasio al 2.5 y 1.5%, escarificación mecánica, agua caliente, y testigo). Se tuvo 14 tratamientos. Se empleó el modelo estadístico que se describe a continuación en la ecuación [1]:

$$Y_{ijk} = \mu + CH_i + TRAP_j + (CH \times TRAP)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad [1]$$

Donde:  $Y_{ijk}$  = respuesta del  $i$ -ésimo contenido de humedad, en el  $j$ -ésimo tratamiento pregerminativo;  $\mu$  = media general poblacional,  $CH$  = contenido de humedad ( $i = 1$  o  $2$ );  $TRAP$  = tratamiento pregerminativo ( $j = 1-7$ );  $\varepsilon$  = error experimental  $\sim$  NID ( $0, \sigma^2$ ).

Al encontrar significancia estadística en las variables, se empleó la prueba de medias de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para encontrar los tratamientos significativos en cuando a la calidad de semilla.

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Cambios morfológicos

De acuerdo con Li et al. (2017) la germinación consta tres fases muy marcadas: la imbibición de agua, la protrusión radicular y la germinación. En este estudio, las semillas de *Vasconcellea pubescens* mostraron la protrusión a los 6 dds. La protrusión es una de las fases de la germinación y es un estado de crecimiento uniforme de la radícula que a su vez llega a ser visible cuando ésta es capaz de romper las capas del endospermo de las semillas. Este proceso implica el metabolismo y movilización de las reservas, síntesis de ADN, ARN y proteínas, y la elongación del coleóptilo (Ding et al., 2024). Además, se ha reportado que la sobreproducción de especies de oxígeno reactivo [EOR] como los radicales superóxidos [ $O_2^-$ ], peróxido de hidrógeno [ $H_2O_2$ ] y radicales hidroxilo [ $\cdot OH$ ] facilitan la protrusión radicular (Li et al., 2017). Entre los 8 y 11 dds se observó no solo el incremento de la longitud radicular, sino también una aparición abundante de los pelos radicales [PR]; de este modo, se determinó que 11 días es el tiempo de germinación de la semilla de *V. pubescens*. Es importante mencionar que los PR son importantes en la exploración del suelo por parte de las plantas, ya que además de mejorar la absorción de los nutrientes del suelo, participan en la formación de la rizosfera, contribuyendo sustancialmente en la absorción de agua y nutrientes (Rongsawat et al., 2021).

Por otra parte, la presencia de los cotiledones ocurrió a los 27 dds, mientras que, a los 33 dds se observó la formación completa de una plántula de *V. pubescens*.

### 3.2. Germinación y latencia

Los resultados mostraron una interacción significativa entre el contenido de humedad de la semilla y los tratamientos pregerminativos ( $p \leq 0,05$ ) para el porcentaje de germinación; sin embargo, para el tiempo de latencia solo el factor tratamientos pregerminativos mostró diferencias estadísticas (Figura 1). Asimismo, se observó que con 8 y 9% de contenido de humedad de la semilla, la escarificación (T5) fue una práctica efectiva que permitió obtener 80% de germinación. Estos resultados, y de acuerdo con Bonner y Karrfalt (2008), sugieren que la semilla de *V. pubescens* presenta latencia física por la presencia de capas impermeables (Baskin y Baskin, 2004) que impiden la entrada de agua hacia la semilla. En este ensayo las condiciones de conservación fueron a  $10^\circ C$  y 50% de humedad relativa; se infiere que la humedad relativa no jugó un rol importante, toda vez que las semillas se almacenaron en bolsas de aluminio impermeables. En especies como *Glycine max* (Ali et al., 2018; Ali et al., 2015) y *Carica papaya* (Zulhisyam et al., 2013) se recomienda almacenar las semillas con un contenido de humedad entre 6 y 8%, respectivamente, para mantener una alta viabilidad durante el almacenamiento; el tiempo de almacenamiento de semillas ortodoxas puede ser hasta de 60 años (Solberg et al., 2020)

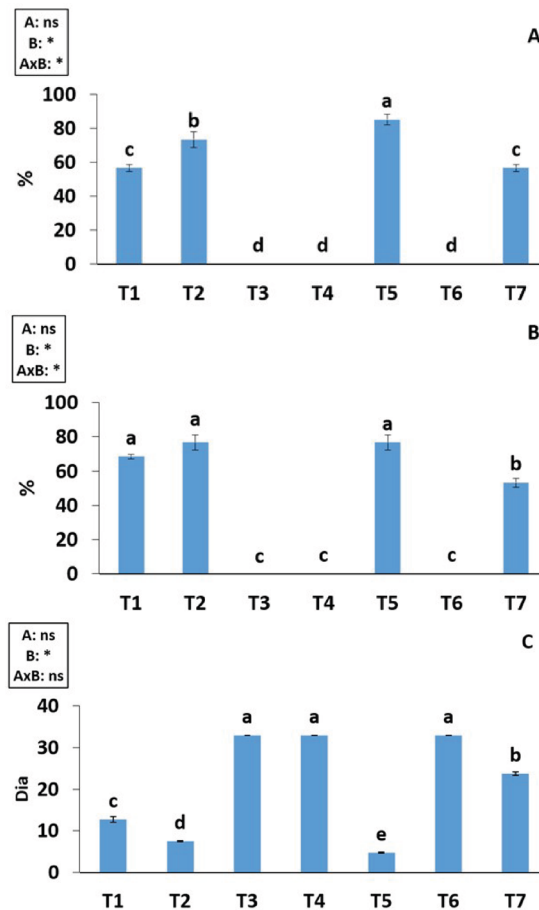
El  $KNO_3$  es un compuesto ampliamente usado para mejorar la germinación de las semillas por  $K^+$  y  $NO_3^-$ ; el primero vinculado con la presión osmótica, ubicado en el citoplasma y la vacuola, mientras el segundo está relacionado con la síntesis de proteínas (Thongtip et al., 2022). En este trabajo, la aplicación de  $KNO_3$  (T3 y T4) y agua caliente (T6) presentaron efectos adversos sobre la calidad fisiológica de las semillas, toda vez que con la aplicación de estos tratamientos no se presentó germinación. Al respecto, se ha descrito que el efecto del  $KNO_3$  depende de la especie y la concentración. Esto, a su vez, puede explicar el alto porcentaje de semillas duras obtenidas con estos tratamientos ( $p \leq 0,05$ ; Figura 1). En *Vasconcellea cundinamarcensis*, la aplicación de  $KNO_3$  no presentó efecto alguno en la germinación; sin embargo, en *V. goudotiana*, este tratamiento [ $KNO_3$ ] mejoró significativamente su germinación (Benítez et al., 2013). En *V. quercifolia* y *Carica chilensis*, se ha reportado un incremento en el porcentaje de germinación con la aplicación  $KNO_3$  (Urtasun et al., 2020; Loayza et al., 2023), contrario a los resultados observados en la presente investigación, razón por la cual se infiere que las

concentraciones usadas en este ensayo de  $\text{KNO}_3$  al 1,5 y 2,5% causaron un grado de deterioro en el embrión de *V. pubescens*, de forma tal que el embrión sufrió un daño severo que conllevó a su muerte.

El uso de agua caliente como tratamiento pregerminativo, aunque frecuentemente recomendado, no garantiza resultados favorables en todas las especies, tal es el caso de las semillas de *Neonotonia wightii*, *Prosopis ruscifolia*, y *Nolina cespitifera*, en las cuales la inmersión en agua caliente no incrementó el porcentaje de germinación, evidenciando una respuesta diferencial dependiente de la especie (Castillo-Quiroz et al., 2018; Flores et al., 2020; Abdala et al., 2020). Si bien el tratamiento con agua caliente puede emplearse para romper la dormancia, su aplicación de temperaturas extremas puede ocasionar daños severos en el embrión, comprometiendo su viabilidad e inhi-

biendo tanto el crecimiento como el desarrollo posterior de la plántula, tal como se observó en el presente ensayo. La ineficacia del uso de agua caliente quedó corroborada con el alto porcentaje de semillas duras detectada tanto en semillas con 8% como al 9% ( $p \leq 0,05$ ; Figura 2). En semillas de *Abelmoschus esculentus* L., su inmersión en agua a 100 °C por 5 minutos redujo la germinación a menos de 10% (Musara et al., 2015); asimismo, se ha reportado que altas temperaturas pueden dañar la membrana celular, estimular la acumulación de peróxido de hidrogeno y reducir la actividad de enzimas antioxidantes (Rashid et al., 2020; Al-jebory, 2013).

Es importante resaltar que la aplicación de  $\text{GA}_3$  fue efectiva para promover la germinación cuando la semilla se conservó a 9% de humedad (Figura 1), posiblemente por una mejor condición de la semilla a



**Figura 1.** Germinación y tiempo de latencia de papayita serrana *Vasconcellea pubescens* A. DC. almacenado por 6 años. A) Porcentaje de germinación al 8% de contenido de agua. B) Porcentaje de germinación al 9% de contenido de agua. C) Tiempo de latencia. T1: +  $\text{GA}_3$  200 ppm 24 h<sup>-1</sup>. T2: +  $\text{GA}_3$  400 ppm 24 h<sup>-1</sup>. T3: +  $\text{KNO}_3$  2,5% 24 h<sup>-1</sup>. T4: +  $\text{KNO}_3$  1,5% 24 h<sup>-1</sup>. T5: + escarificación mecánica. T6: + Agua caliente 70 °C 5 minutos<sup>-1</sup>. T7: Sin tratamiento pre germinativo. ns: no significativo. \*: diferencia significativa. Dentro de cada figura, A: factor 'Contenido de humedad de la semilla', B: factor 'tratamientos pregerminativos'.

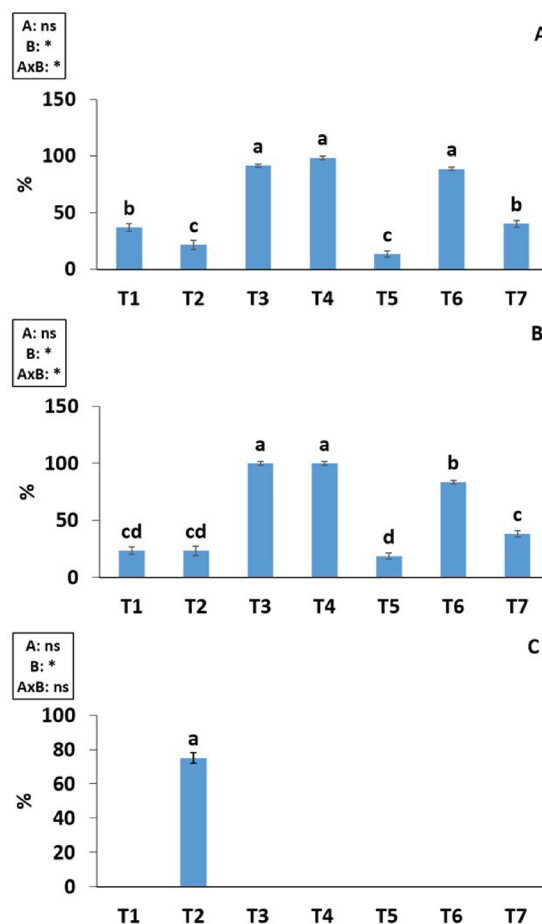
**Figure 1.** Germination and dormancy period of mountain papaya (*Vasconcellea pubescens* A. DC.) seeds stored for 6 years. (A) Germination percentage at 8% moisture content. (B) Germination percentage at 9% moisture content. (C) Dormancy period. T1: 8% moisture content +  $\text{GA}_3$  200 ppm for 24 h; T2: 8% moisture content +  $\text{GA}_3$  400 ppm for 24 h; T3: 8% moisture content +  $\text{KNO}_3$  2.5% for 24 h; T4: 8% moisture content +  $\text{KNO}_3$  1.5% for 24 h; T5: 8% moisture content + mechanical scarification; T6: 8% moisture content + hot water at 70 °C for 5 minutes; T7: 8% moisture content. ns: not significant. \*: significant difference. Within each figure: A: factor "seed moisture content"; B: factor "pregerminative treatments".

una humedad del 9% que la llevó a conservar sus mecanismos de protección por la presencia de azúcares no reductores, la acumulación de antioxidantes, y la presencia de agentes químicos de protección como rafinosa, oligosacáridos, flavonoides, ligninas y vitamina E (Ranganathan y Groot, 2023), permitiendo una mejor interacción a la aplicación de esta fitohormona.

Las semillas escarificadas presentaron menor tiempo de latencia, seguido de aquellas con aplicación de ácido giberélico ( $p \leq 0,05$ ; Figura 1C); al respecto, hay reportes que demuestran que la escarificación es un método eficaz para promover la germinación de semillas de *Amburana cearensis* y *Myroxylon peruvianum* (Galíndez et al., 2015), aunque su eficiencia puede cambiar de acuerdo con el material vegetal estudiado (Priyadarshini y Lekha, 2021).

### 3.3. Semillas duras y tejido dañado

Las semillas duras son aquellas que no fueron capaces de absorber agua durante el proceso de imbibición, razón por la cual siguen en el mismo estado que al inicio del experimento (Latorre, 2015). Las semillas tratadas con  $KNO_3$  se mantuvieron casi en su totalidad (~100%) en el mismo estado que al inicio del ensayo. Esto sugiere que las condiciones de estudio esta molécula no es capaz de incentivar la germinación. Una de las causas puede estar relacionado a su concentración; por ejemplo, en arroz una alta concentración de esta molécula disminuyó el porcentaje de germinación (Javed et al., 2020). Asimismo, Hernández et al. (2022) reportan que altos niveles de  $KNO_3$  afectan negativamente la actividad de enzimas antioxidantes. Aunque puede ser que la testa también haya servido como una



**Figura 2.** Semillas duras y fitotoxicidad en cotiledones de papayita serrana (*Vasconcellea pubescens* A. DC.), almacenado por 6 años.

A) Porcentaje de semillas duras al 8% de contenido de humedad. B) Porcentaje de semillas duras al 9% de contenido de humedad. C) Porcentaje de semillas con tejido dañado. T1: +  $GA_3$  200 ppm 24 h<sup>-1</sup>. T2: +  $GA_3$  400 ppm 24 h<sup>-1</sup>. T3: +  $KNO_3$  2,5% 24 h<sup>-1</sup>. T4: +  $KNO_3$  1,5 % 24 h<sup>-1</sup>. T5: + escarificación mecánica. T6: + Agua caliente 70 °C 5 minutos<sup>-1</sup>. T7: Sin tratamiento pre germinativo. ns: no significativo. \*: diferencia significativa. Dentro de cada figura, A: factor ‘Contenido de humedad de la semilla’, B: factor ‘tratamientos pregerminativos’.

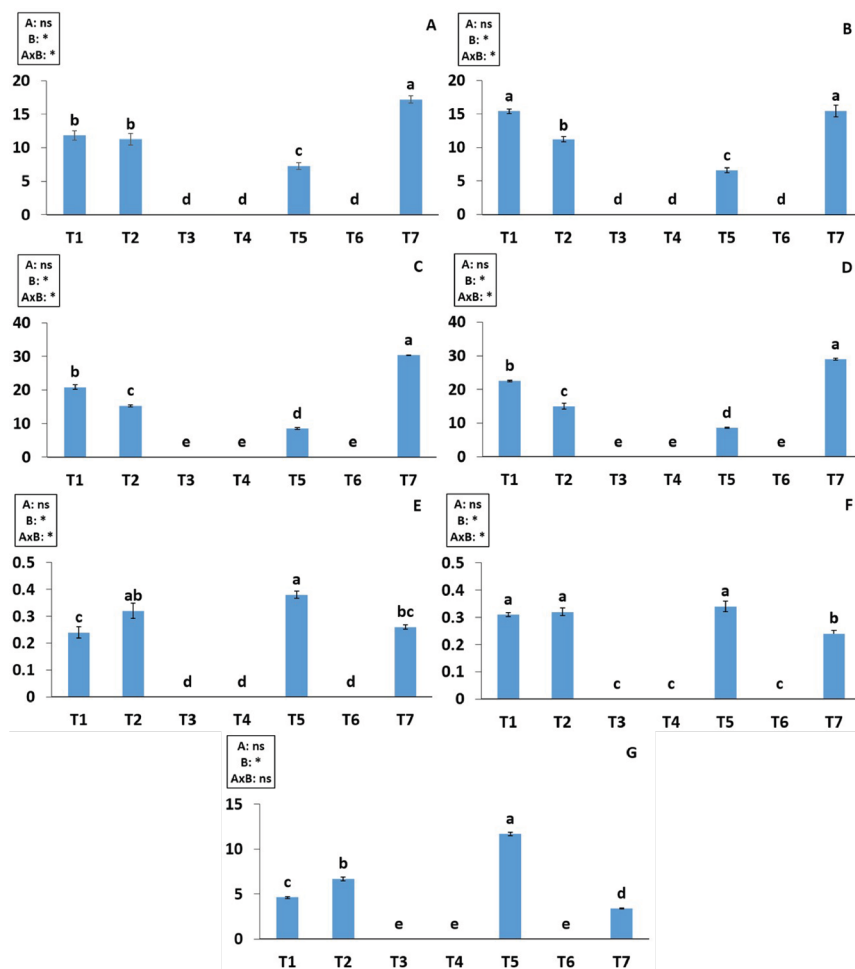
**Figure 2.** Hard seeds and cotyledon phytotoxicity in mountain papaya (*Vasconcellea pubescens* A. DC.) seeds stored for 6 years. (A) Percentage of hard seeds at 8% moisture content. (B) Percentage of hard seeds at 9% moisture content. (C) Percentage of seeds with damaged tissue. T1: +  $GA_3$  200 ppm for 24 h; T2: +  $GA_3$  400 ppm for 24 h; T3: +  $KNO_3$  2.5% for 24 h; T4: +  $KNO_3$  1.5% for 24 h; T5: + mechanical scarification; T6: + hot water at 70 °C for 5 minutes; and T7: without pregerminative treatment. ns: not significant. \*: significant difference. Within each figure: A: factor “seed moisture content”; B: factor “pregerminative treatments”.

barrera evitando la entrada de este compuesto.

El uso de agua caliente y de GA<sub>3</sub> a 200 ppm 24 h<sup>-1</sup> favoreció una menor presencia de semillas duras, especialmente en semillas almacenadas a 9% de humedad; la aplicación de 400 ppm de ácido giberélico causó daños en el tejido de la semilla sin inhibición de la germinación (Figura 2). Pero en muchos casos la fitotoxicidad da como resultado una caída brusca en el porcentaje de germinación. Esto último ha sido reportada por otros autores como Chauhan et al. (2019) quienes informaron que altas concentraciones de GA<sub>3</sub> inhibieron el crecimiento de la radícula de avena. Kaewkhieo-ngam et al. (2023) también reportaron efectos nocivos de la alta dosis de GA<sub>3</sub> sobre la germinación.

### 3.4. Calidad fisiológica

Tanto a 8% como a 9% de humedad en la semilla, el índice de germinación [IG] fue mayor en los testigos (Figura 3 A y B). Es importante indicar que hubo interacción entre los factores estudiados. Para ambos contenidos de humedad, los tratamientos que no recibieron tratamientos pre germinativos doblaron el valor alcanzado por la escarificación mecánica. En cuanto a la velocidad de germinación [VG], en semillas con 8% de contenido de humedad, el testigo y las semillas con GA<sub>3</sub> 200 ppm 24 h<sup>-1</sup> mostraron valores de 0,26 y 0,24. Mientras que cuando la semilla tenía 9% de humedad, el tratamiento testigo fue el menor con 0,24. Para el coeficiente de velocidad [CV] solo



**Figura 3.** Índices relacionados el vigor de la semilla de *Vasconcellea pubescens* A. DC. Índice de germinación (A: 8%) (B: 9%). Tiempo promedio de germinación (C: 8%) (D: 9%). Velocidad de germinación (E: 8%) (F: 9%). Coeficiente de velocidad (G). T1: + GA<sub>3</sub> 200 ppm 24 h<sup>-1</sup>. T2: + GA<sub>3</sub> 400 ppm/24 h. T3: + KNO<sub>3</sub> 2,5% 24 h<sup>-1</sup>. T4: + KNO<sub>3</sub> 1,5% 24 h<sup>-1</sup>. T5: + escarificación mecánica. T6: + Agua caliente 70 °C 5 minutos<sup>-1</sup>. T7: Sin tratamiento pre germinativo. ns: no significativo. \*: diferencia significativa. Dentro de cada figura, A: factor 'Contenido de humedad de la semilla', B: factor 'tratamientos pregerminativos'.

**Figure 3.** Indices related to seed vigor of *Vasconcellea pubescens* A. DC. Germination index (A: 8%) (B: 9%); mean germination time (C: 8%) (D: 9%); germination rate (E: 8%) (F: 9%); coefficient of velocity (G). T1: + GA<sub>3</sub> 200 ppm for 24 h; T2: + GA<sub>3</sub> 400 ppm for 24 h; T3: + KNO<sub>3</sub> 2.5% for 24 h; T4: + KNO<sub>3</sub> 1.5% for 24 h; T5: + mechanical scarification; T6: + hot water at 70 °C for 5 minutes; and T7: without pregerminative treatment. ns: not significant. \*: significant difference. Within each figure: A: factor "seed moisture content"; B: factor "pre-germinative treatments".

hubo efecto significativo por parte de los tratamientos pre germinativos. El tratamiento con mejor CV fue la escarificación mecánica con 11,7, mientras que el menor valor (3,4) lo obtuvo el tratamiento testigo. De acuerdo con Souza y Marcos-Filho (2001) la cubierta de las semillas juega un papel importante en su germinación, vigor y longevidad; en este estudio se efectuó un corte sobre la cubierta de la semilla, lo cual facilitó la absorción de agua y el intercambio de gases (Maeda et al., 2021).

#### 4. Conclusiones

Los resultados demuestran que un contenido de humedad de 9% en las semillas favorece una mejor conservación de la viabilidad de las semillas facilitando una mejor respuesta a los tratamientos pregerminativos. La escarificación mecánica y el GA<sub>3</sub> a 200 ppm

fueron los métodos eficaces para promover una mayor tasa de germinación; sin embargo, la fitotoxicidad observada con 400 ppm de GA<sub>3</sub> subraya la importancia de una aplicación equilibrada de esta fitohormona para evitar efectos negativos en el desarrollo de las plántulas.

El uso de KNO<sub>3</sub> y agua caliente presentaron un efecto negativo en la germinación, lo que destaca la importancia de ajustar las concentraciones y condiciones de tratamiento para evitar daños a la semilla.

Estos hallazgos son relevantes para la conservación *ex situ* de *Vasconcellea pubescens* A. DC, toda vez que un adecuado contenido de humedad y la correcta selección de tratamientos pregerminativos, pueden mejorar significativamente la calidad fisiológica de las semillas para optimizar la adaptación y sostenibilidad del cultivo frente a los efectos ambientales.

#### Contribuciones de los autores

- Jhojana Lorenzo Quispe: conceptualización, investigación, metodología, recursos.
- Fredesvinda Carrillo Castillo: validación, redacción – revisión y edición.
- Ana Laura Rucabado Miranda: Validación, redacción – revisión y edición.
- Ricardo Borjas Ventura: investigación, software, redacción – borrador original.

#### Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

#### Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no se ha utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del manuscrito.

#### Implicaciones éticas

Los autores declaran que durante la interacción con los agricultores no se tuvieron conflictos o situaciones de interés ético, toda vez, que los participantes lo hicieron bajo su propia voluntad y no se recolectaron datos personales. Las conversaciones se centraron sobre la importancia de la conservación de papas nativas de su territorio.

#### Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podría haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

#### Referencias

- Abdala, N. R., Bravo, S., y Acosta, M. (2020). Germinación y efectos del almacenamiento de frutos de *Prosopis ruscifolia* (Fabaceae). *Bosque (Valdivia)*, 41(2), 103–111. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000200103>
- Ali, M. R., Rahman, M. M., Wadud, M. A., Fahim, A. H. F., y Nahar, M. S. (2018). Effect of seed moisture content and storage container on seed viability and vigour of soybean. *Bangladesh Agronomy Journal*, 21(1), 131-141. <https://doi.org/10.3329/baj.v21i1.39392>
- Ali, M., Javed, T., Mauro, R., Shabbir, R., Afzal, I. y Yousef, A. (2020). Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture10110498>
- Ali, M., Rahman, M., y Ahammad, K. (2015). Effect of relative humidity, initial seed moisture content and storage container on soybean (*Glycine max* L. Meril.) seed quality. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 39(3), 461-469. <http://dx.doi.org/10.3329/bjar.v39i3.21989>
- Al-Jebory, E. I. (2013). Changes in cellular membrane tolerance due to heat stress during *Triticum sativum* L. seeds germination. *Al-Kufa University Journal for Biology*, 5(2). <https://journal.uokufa.edu.iq/index.php/ajb/article/view/7849>
- Baskin, JM y Baskin, CC (2004). Un sistema de clasificación para la latencia de las semillas. *Seed Science Research*, 14 (1), 1–16. <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>
- Benítez, S., Lobo, M., Delgado, A. y Medina, C. (2013). Estudios de germinación y remoción de latencia en semillas de papayuelas *Vasconcellea cundinamarcensis* y *Vasconcellea goudotiana*. *Tecnología Agropecuaria*, 14(2), 187-197. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol14\\_num2\\_art:407](https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num2_art:407)
- Bonner, F. T., y Karrfalt, R. P. (2008). *The woody plant seed manual*. Forest Service, United States Department of Agriculture. [https://books.google.com.pe/books?id=Orn5Y-BjJvS8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=Orn5Y-BjJvS8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

- Castillo-Quiroz, D., Antonio-Bautista, A., Ávila-Flores, D. Y., Sáenz-Reyes, J. T., y Castillo-Reyes, F. (2018). Tratamientos químicos y biológicos para estimular la germinación en semillas de *Nolina cespitifera* Trel. *Polibotánica*, (45), 147-156. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.11>
- Chauhan, A., Amarah, B., Kumar, A., Verma, J., Ghramh, H., Khan, K. y Ansari, M. (2019). Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1298-1304. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.04.014>
- Corbineau, F. (2024). The effects of storage conditions on seed deterioration and ageing: How to improve seed longevity. *Seeds*, 3(1), 56-75. <https://doi.org/10.3390/seeds3010005>
- Côme, D. (1970). *Les obstacles à la germination*. Masson.
- Ding, X., Shi, J., Gui, J., Zhou, H., Yan, Y., Zhu, X., Xie, B., Liu, X., y He, J. (2024). Rice seed protrusion quantitative trait loci mapping through genome-wide association study. *Plants*, 13(1), 134. <https://doi.org/10.3390/plants13010134>
- Fielder, H., Smith, C., Ford Lloyd, B., y Maxted, N. (2016). Enhancing the conservation of crop wild relatives in Scotland. *Journal for Nature Conservation*, (29), 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2015.11.002>
- Flores, E., Caceres W. E., Aguirr, L., y Castillo, M. (2020). Efecto de la escarificación en la germinación de semillas de soya forrajera perenne (*Neonotonia wightii*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3). <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/16728>
- Galíndez, G., Malagrina, G., Ceccato, D., Ledesma, T., Lindow-López, L. y Ortega, P. (2015). Dormición física y conservación ex situ de semillas de *Amburana cearensis* y *Myroxylon peruiferum* (Fabaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 50 (2), 153-161. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v50.n2.11660>
- González-Zertuche, L., y Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Botanical Sciences*, (58), 15-30. <https://doi.org/10.17129/botsci.1484>
- González, Y., y Mendoza, F. (2008). Efecto del agua caliente en la germinación de las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. *Pastos y Forrajes*, 31(1), 47-52. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269119700004.pdf>
- Gutiérrez, B. y Koch, L. (2015). Conservación de germoplasma ex situ: Protocolos y Estrategias para la mantención de un banco in vitro. *Ciencia e Investigación Forestal*. 21 (1), 69. [https://www.researchgate.net/publication/282670821\\_Conservacion\\_de\\_germoplasma\\_ex\\_situ\\_Protocolos\\_y\\_estrategias\\_para\\_la\\_mantencion\\_de\\_un\\_banco\\_in\\_vitro\\_Ciencia\\_e\\_investigacion\\_Forestal\\_211\\_69-82](https://www.researchgate.net/publication/282670821_Conservacion_de_germoplasma_ex_situ_Protocolos_y_estrategias_para_la_mantencion_de_un_banco_in_vitro_Ciencia_e_investigacion_Forestal_211_69-82)
- Hernández, J., Díaz-Vivancos, P., Acosta-Motos, J. y Barba-Espín, G. (2022). Potassium nitrate treatment is associated with modulation of seed water uptake, antioxidative metabolism and phytohormone levels of pea seedlings. *Seeds*, 1(1), 5-15. <https://doi.org/10.3390/seeds1010002>
- Javed, T., Ali, M., Shabbir, R., Gull, S., Ali, A., Khalid, E., Abbas, A., Tariq, M. y Muqmirah. (2020). Rice seedling establishment as influenced by cultivars and seed priming with potassium nitrate. *Journal of Applied Research in Plant Sciences*, 1(2), 65-75. <https://doi.org/10.38211/joarps.2020.1.2.10>
- Kaewkhieo-ngam, T., Janket, A., Sennoi, R., Puttha, R., y Ruttanaprasert, R. (2023). Effects of gibberellic acid on germination percentage, growth and yield of Jerusalem artichoke. *Agriculture and Natural Resources*, 57(5), 749-756. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/261283>
- Kotowski, F. (1926). Temperature relations to germination of vegetable seeds. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*, 23, 176-184. [https://books.google.com.pe/books/about/Temperature\\_Relations\\_to\\_Germination\\_of.html?id=7ERAmwEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Temperature_Relations_to_Germination_of.html?id=7ERAmwEACAAJ&redir_esc=y)
- Kyndt, T., Romeijn-Peeters, E., Van Droogenbroeck, B., Romero-Motochi, J. P., Gheysen, G., y Goetghebeur, P. (2005). Species relationships in the genus *Vasconcellea* (Caricaceae) based on molecular and morphological evidence. *American journal of botany*, 92(6), 1033-1044. <https://doi.org/10.3732/ajb.92.6.1033>
- Koçak Şahin, N., Okumuş, O., y Say, A. (2025). Role of gibberellic acid (GA3) in seed germination and early seedling development in some field crops: A Review. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(1), 39-44. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15082178>
- Latorre, P. (2015). *Relevancia en la germinación de las semillas duras en leguminosas forrajeras*. Universidad de la República. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/8654>
- Li, W.-Y., Chen, B.-X., Chen, Z.-J., Gao, Y.-T., Chen, Z., y Liu, J. (2017). Reactive oxygen species generated by NADPH oxidases promote radicle protrusion and root elongation during Rice Seed Germination. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(1), 110. <https://doi.org/10.3390/ijms18010110>
- Loayza, A. P., García-Guzmán, P., Carozzi-Figueroa, G., y Carvajal, D. E. (2023). Dormancy-break and germination requirements for seeds of the threatened Austral papaya (*Carica chilensis*). *Scientific Reports*, 13(1), 17358. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44386-y>
- Maeda, A. B., Wells, L. W., Sheehan, M. A., y Dever, J. K. (2021). Historias del invernadero: resumen de la germinación de las semillas de algodón. *Plants*, 10(12), 2807. <https://doi.org/10.3390/plants10122807>
- 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>
- Maphalaphathwa, M., y Nciizah, A. D. (2025). Optimizing chillies (*Capsicum annum* L.) germination rate and early seedling performance through nutrient seed priming with potassium nitrate and zinc oxide. *Frontiers in plant science*, 16, 1535305. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1535305>
- Ministerio de la Producción. (2023). Produce: Iniciamos la exportación de papayita andina de sandía con destino a Chile. <https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/665099-produce-iniciamos-la-exportacion-de-papayita-andina-de-sandia-con-destino-a-chile>
- Mohammadi, G., Khah, E., Honarmand, S.J., Shirkhani, A., y Shabani, G. (2012). Effects of seedhardness breaking techniques on Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) germination. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(6), 264-273 [https://www.researchgate.net/profile/Ali-Shirkhani/publication/267422496\\_Effects\\_of\\_Seedhardness\\_Breaking\\_Techniques\\_on\\_Okra\\_Abelmoschus\\_esculentus\\_L\\_Germination/links/5859122908ae64cb3d490f21/Effects-of-Seedhardness-Breaking-Techniques-on-Okra-Abelmoschus-esculentus-L-Germination.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ali-Shirkhani/publication/267422496_Effects_of_Seedhardness_Breaking_Techniques_on_Okra_Abelmoschus_esculentus_L_Germination/links/5859122908ae64cb3d490f21/Effects-of-Seedhardness-Breaking-Techniques-on-Okra-Abelmoschus-esculentus-L-Germination.pdf)
- Musara, C., Chitamba, J., y Nhuvira, C. (2015). Evaluación

- de diferentes técnicas de ruptura de la latencia de las semillas en la germinación de las semillas de okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Revista Africana de Investigación Agrícola*, 10(17), 1952-1956. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9181>
- Ordaz-Pérez, D., Gámez-Vázquez, J., Hernández-Ruiz, J., Espinosa-Trujillo, E., Rivas-Valencia, P., y Castro-Montes, I. (2017). Resistencia de *Vasconcellea cauliflora* al virus de la mancha anular de la papaya-potyvirus (PRSV-P) y su introgresión en *Carica papaya*. *Revista Mexicana de Fito patología*, 35(3), 571-590. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1703-4>
- Pirredda, M., Fañanás-Pueyo, I., Oñate-Sánchez, L., y Mira, S. (2024). Seed longevity and ageing: A review on physiological and genetic factors with an emphasis on hormonal regulation. *Plants*, 13(1), 41. <https://doi.org/10.3390/plants13010041>
- Priyadharshini, R., y Lekha, K. (2021). Effect of scarification methods on different forest seeds. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 6(3), 226-234. <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.63.24>
- Ranganathan, U., y Groot, S. P. C. (2023). Seed longevity and deterioration. In *seed science and technology* (pp. 91–108). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_5)
- Rashid, M., Hampton, J. G., Shaw, M.L., Rolston, M.P., Khan, K. M., y Saville, D. J. (2020). Oxidative damage in forage rape (*Brassica napus* L.) seeds following heat stress during seed development. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(1), 101-117. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jac.12372>
- Rongsawat, T., Peltier, J. B., Boyer, J. C., Véry, A. A., y Sentenac, H. (2021). Looking for root hairs to overcome poor soils. *Trends in Plant Science*, 26(1), 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.09.001>
- Scheldeman, X., Willemen, L., Coppens d'Eeckenbrugg, G., Romeijn-Peters, E., Restrepo, M. T., Romero Motoche, J., y Goetgebeur, P. (2007). Distribution, diversity and environmental adaptation of highland papayas (*Vasconcellea* spp.) in tropical and subtropical America. *Biodiversity and Conservation*, 16, 1867-1884. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9086-x>
- Scott, S. J., Jones, R. A., y Williams, W. A. (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24(6), 1129-1199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x>
- Solberg, S. Ø., Yndgaard, F., Andreasen, C., Von Bothmer, R., Loskutov, I. G., y Asdal, Å. (2020). Long-term storage and longevity of orthodox seeds: A systematic review. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1007. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01007>
- Souza, F. H. D., y Marcos-Filho, J. (2001). The seed coat as a modulator of seed-environment relationships in Fabaceae. *Revista Brasileira de Botânica*, 24(4), 365–375. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042001000400002>
- Thongtip, A., Mosaleeyanon, K., Korinsak, S., Toojinda, T., Darwell, C. T., Chutimanukul, P., y Chutimanukul, P. (2022). Promotion of seed germination and early plant growth by KNO<sub>3</sub> and light spectra in *Ocimum tenuiflorum* using a plant factory. *Scientific Reports*, 12(1), 6995. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11001-5>
- Urtasum, M. M., Giamminola, E. M., Baskin, C. C., de Viana, M. L., Morondini, M. N., Lamas, C. Y., y Rojas, M. F. (2020). Liberación de la latencia, germinación y conservación *ex situ* de la papaya de las tierras altas del sur (*Vasconcellea quercifolia*, Caricaceae), un pariente silvestre de los cultivos. *Ciencia Horticulturae*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109134>
- Van Treuren, R., Hoekstra, R., y Van Hintum, T. (2017). Inventory and prioritization for the conservation of crop wild relatives in The Netherlands under climate change. *Biological Conservation*, 216, 123-139. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.003>
- Vega-Gálvez, A., Uribe, E., Pastén, A., Vega, M., Poblete, J., Bilbao Sainz, C., y Chiou, B. S. (2022). Low-temperature vacuum drying as novel process to improve papaya (*Vasconcellea pubescens*) nutritional-functional properties. *Future Foods*, 5, 100117. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100117>
- Zulhisyam, A.K., Seng, C.T., Ismail, A.A., Azwanida, A.A., Shazani, S. y Jamaludin, M.H. (2013). Effect of storage temperature and seed moisture contents on papaya (*Carica papaya* L) seed viability and germination. *Journal of Sustainability Science and Management*, 8, 87-92. <http://discol.umk.edu.my/id/eprint/8250>