

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 12, número 3; 2024

Respuesta germinativa de *Vismia baccifera* al tratamiento pregerminativo con ultrasonido

*Germinative response of *Vismia baccifera* to pregerminative treatment with ultrasound*

*Resposta germinativa de *Vismia baccifera* ao tratamento pré-germinativo com ultrassom*

Yamila Lazo Perez^{1*} , Arliet Morales Moreno² 

¹Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.

²Palmeras del Ecuador S.A. Ecuador.

*Autor para la correspondencia: ylazo@uea.edu.ec

Recibido: 27/07/2024.

Aprobado: 07/08/2024.

RESUMEN

En la actualidad orientar estudios sobre tratamientos pregerminativos para acelerar el proceso de germinación de semillas forestales es de gran importancia. La especie *Vismia baccifera* es muy importante en los programas de reforestación, sin embargo, posee baja capacidad germinativa. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento pregerminativo con ultrasonido sobre la germinación de semillas de la especie *V. baccifera*. Se realizó un diseño central compuesto con la metodología de superficie respuesta,



mediante el software Design Expert versión 12.0. Se utilizaron 30 semillas con tres réplicas para condición experimental, con el uso de ultrasonido de frecuencia 40 KHz. Las variables consideradas fueron: tiempo del baño ultrasónico (1-10 min), temperatura del agua en el baño (30-60 °C) y porcentaje de germinación. Los resultados demostraron que el tratamiento pregerminativo con ultrasonido ejerció un efecto positivo en la germinación de semillas de *V. baccifera*, con un incremento en la germinación de 7.7 % a 67.8 % bajo las condiciones experimentales de 60 °C y 5.9 min. Esto indica el uso del ultrasonido como tratamiento pregerminativo para el incremento de la germinación de *V. baccifera*, lo que brinda nuevas alternativas de incursión para especies forestales con bajo potencial germinativo.

Palabras clave: semillas; germinación; tratamiento físico; *Vismia baccifera*

ABSTRACT

Currently, guiding studies on pregerminative treatments to accelerate the germination process of forest seeds is of great importance. The species *Vismia baccifera* is very important in reforestation programs, however, it has low germination capacity. The objective of this work was to evaluate the effect of pregerminative treatment with ultrasound on the germination of seeds of the species *V. baccifera*. A central composite design was carried out with the response surface methodology, using Design Expert version 12.0 software. 30 seeds with three replicates were used for the experimental condition, with the use of ultrasound with a frequency of 40 KHz. The variables considered were: ultrasonic bath time (1-10 min), water temperature in the bath (30-60 °C) and germination percentage. The results demonstrated that the pregerminative treatment with ultrasound exerted a positive effect on the germination of *V. baccifera* seeds, with an increase in germination from 7.7 % to 67.8 % under the experimental conditions of 60 °C and 5.9 min. This indicates the use of ultrasound as a pregerminative treatment to increase the germination of *V. baccifera*, which provides new incursion alternatives for forest species with low germination potential.

Keywords: seeds; germination; physical treatment; *Vismia baccifera*



RESUMO

Atualmente, é de grande importância orientar estudos sobre tratamentos pré-germinativos para acelerar o processo de germinação de sementes florestais. A espécie *Vismia baccifera* é muito importante em programas de reflorestamento, porém apresenta baixa capacidade germinativa. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tratamento pré-germinativo com ultrassom na germinação de sementes da espécie *V. baccifera*. Foi realizado um planejamento composto central com a metodologia de superfície de resposta, utilizando o software Design Expert versão 12.0. Para a condição experimental foram utilizadas 30 sementes com três repetições, com uso de ultrassom com frequência de 40 KHz. As variáveis consideradas foram: tempo de banho ultrassônico (1-10 min), temperatura da água do banho (30-60 °C) e porcentagem de germinação. Os resultados demonstraram que o tratamento pré-germinativo com ultrassom exerceu efeito positivo na germinação de sementes de *V. baccifera*, com aumento na germinação de 7,7 % para 67,8 % nas condições experimentais de 60 °C e 5,9 min. Isso indica a utilização do ultrassom como tratamento pré-germinativo para aumentar a germinação de *V. baccifera*, o que proporciona novas alternativas de incursão para espécies florestais com baixo potencial germinativo.

Palavras-chave: sementes; germinação; tratamento físico; *Vismia baccifera*

INTRODUCCIÓN

La germinación de semillas resulta una de las etapas más importantes para lograr el éxito del establecimiento de plantaciones forestales. La semilla es la responsable de la siguiente generación de plantas, mantiene el germoplasma y mejora la capacidad de prodón y diversidad de especie (Sharififar *et al.*, 2015; Rifna *et al.*, 2019; Rehmani *et al.*, 2023). Sin embargo, las semillas de muchas especies tropicales exhiben diversos mecanismos de latencia que inciden en la germinación de manera uniforme (Venâncio y Martins 2019) y retardan la germinación de semillas viables (Nazari *et al.*, 2015). Por lo que es necesario alguna forma de tratamiento previo a la semilla, a fin de acelerar y obtener altos porcentajes de germinación.



Los tratamientos pregerminativos mejoran la germinación, optimizan la calidad y cantidad de plantas (Abdala *et al.*, 2020). Es por ello que, seleccionar un tratamiento pregerminativo de bajo costo, rápido y altamente eficiente para romper la latencia de las semillas (Venâncio y Martins 2019) implica una mayor producción de plántulas y un aumento sustancial en su calidad (Jiménez *et al.*, 2017).

El método más empleado para aumentar el porcentaje de germinación es la escarificación mediante tratamientos químicos, pero resulta perjudicial para la salud de las personas y causa impactos negativos al ambiente (Chiu, 2015; Pandiselvam *et al.*, 2020; Dziwulska-Hunek *et al.*, 2020). En este contexto, la comunidad científica se ha enfocado a la búsqueda de alternativas ecológicas que puedan ser empleadas como tratamiento pregerminativo de semillas. En los últimos tiempos, se han reportado una alta variedad de tratamientos físicos ecológicos y amigables con el ambiente (Liu *et al.*, 2016; Rifna *et al.*, 2019). Entre ellos se encuentra la aplicación de técnicas de ultrasonido que permite aumentar los porcentajes de semillas germinadas (Mihaylova *et al.*, 2021; Trakselyte rupsiene *et al.*, 2021; Abd-Elrahman *et al.*, 2023; Nogueira *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2016).

Las técnicas de ultrasonido como tratamiento pregerminativo, consisten en colocar las semillas en un dispositivo que emite ondas ultrasónicas, al cual se le puede ajustar la frecuencia, potencia, temperatura y el tiempo de sonicación, con la finalidad de alterar la actividad fisiológica de las semillas (Chen *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2019). Las ondas ultrasónicas provocan la fragmentación de la cubierta de la semilla, lo que ayuda a mejorar la hidratación de semillas inactivas (Yaldagard *et al.*, 2008) también modifica la estructura de las moléculas enzimáticas (Liu *et al.*, 2021), promueve la catálisis enzimática y acelera la germinación de semillas (Wang *et al.*, 2019; Yaldagard *et al.*, 2008).

La especie *Vismia baccifera* (L.), conocida comúnmente como sangre de gallina es un árbol de la familia Hypericaceae de importancia ecológica y económica, típicamente de la selva amazónica. Es comúnmente utilizada como planta medicinal por la población indígena para la curación de varias enfermedades (Handrini *et al.*, 2018) y su madera se utiliza para carpintería y construcción (Guzmán *et al.*, 2023). En los últimos tiempos ha sido ampliamente utilizada por los productores de la provincia de Pastaza para la producción de



pallet, lo cual implica la tala indiscriminada de sus poblaciones naturales y ocasiona un grave deterioro del bosque. A su vez, se ha observado que presenta baja tasa de regeneración natural y son pocas las semillas que tienen la posibilidad de completar su ciclo de vida una vez que los árboles fueron talados. Los estudios de germinación de la especie son escasos o nulos y los productores refieren bajos porcentajes de germinación, por lo que el uso de tratamientos pregerminativos con ultrasonido permitirá estimular la germinación. De ahí que se reconoce el potencial de la especie y la necesidad de uso en la reforestación previo tratamiento pregerminativo. Por lo que el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del tratamiento pregerminativo con ultrasonido sobre la germinación de semillas de la especie *V. baccifera*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento y recolección de semillas

El experimento se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Química de la matriz principal de la Universidad Estatal Amazónica, parroquia Puyo, cantón y provincia de Pastaza, ciudad de Puyo, Vía Napo Km 2 ½, Paso Lateral S/N. Para el desarrollo de la investigación se recolectaron semillas de árboles de la especie *V. baccifera*, ubicados en la parroquia Fátima cantón y provincia de Pastaza, Ecuador.

La recolección de semillas se realizó a partir de la selección de tres árboles de la especie *V. baccifera*, los cuales se encontraban aislados en remanentes de bosques naturales. La selección de los individuos se realizó tomando como criterio la evaluación de árboles semilleros, considerando los parámetros fenotípicos: fuste recto, árboles no bifurcados, dominancia del eje principal, ángulo de inserción de las ramas de 90°, forma de la copa circular y diámetro de copa promedio de 12 m (Valladolid *et al.*, 2017).

Las semillas recolectadas de cada árbol se mezclaron en una sola muestra para su posterior análisis. Las semillas fueron sumergidas en dos vasos precipitados de 250 mL, con el fin



separar físicamente las semillas de buena calidad por efecto de decantación y flotación del material infértil (Jiménez *et al.*, 2017).

Diseño de experimento

Se realizó un diseño central compuesto (CCD) con la metodología de superficie respuesta, mediante el software Design Expert versión 12.0 (Número de serie 9847-9696-7992-6750, Stat-Ease Inc., 1300 Godward Strret North, Suite 6400 Minneanopolis, USA). Las variables independientes fueron de tipo numéricas: tiempo ultrasónico (1-10 minutos) y temperatura del agua en el baño (30-60°C) y la variable respuesta fue el porcentaje de germinación (Tabla 1). La combinación de los factores se visualiza en la Tabla 2.

Tabla 1. - Nivel de las variables experimentales para el tratamiento pregerminativo con ultrasonido en semillas de *V. baccifera*

Factor	Nombre	Unidad	Tipo	Subtipo	Mínimo	Máximo	Punto central
A	Tiempo ultrasónico	min	Numérico	Continuo	1	10	5
B	Temperatura del agua	°C	Numérico	Continuo	30	60	45

Condiciones experimentales para el tratamiento pregerminativo

En un ultrasonido (Branson 3800, serie CPXH, 130 W, 40 KHz), se sumergieron 30 semillas con tres réplicas para cada tratamiento, las cuales fueron colocadas en una malla metálica en contacto directo con el agua del baño ultrasónico. Los experimentos fueron realizados de acuerdo con cada condición experimental establecida en el diseño (Tabla 2). Las semillas sometidas a cada condición experimental como tratamiento pregerminativo (ultrasonido) fueron sembradas en cajas Petri sobre algodón estéril humedecido con agua destilada. La germinación total fue medida a los 15 días después de la siembra y se expresó en porcentaje. Se analizaron las variables significativas con el fin de elegir los niveles óptimos de las variables independientes. Los datos experimentales se ajustaron utilizando la ecuación polinomial de segundo orden (Ecuación 1).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$



Donde: y representa la respuesta predicha; β_0 , β_{ii} y β_{ij} son los coeficientes de regresión para términos medios, lineales, de interacción y cuadráticos, calculado en función de los resultados experimentales por mínimos cuadrados X_i y X_j .

Así mismo, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la influencia de las variables independientes ($P < 0,05$) del diseño. La validez del diseño experimental se verificó mediante experimentos adicionales con tres repeticiones, utilizando las condiciones predichas.

RESULTADOS

*Influencia del tratamiento pregerminativo sobre la germinación de semillas de *V. baccifera**

En la Tabla 2, se muestran los resultados experimentales y los predichos para la construcción del modelo predictivo de la germinación de semillas de *V. baccifera*. El porcentaje de germinación bajo las condiciones experimentales osciló entre 8,9 % y 67,8 %, mientras que sin tratamiento pregerminativo resultó solo del 7,7 %.

Tabla 2. - Condiciones de las corridas experimentales del tratamiento pregerminativo con ultrasonido de la especie *V. baccifera*. Resultados experimentales \pm error de la desviación estándar y valores predichos

Experimento	Tiempo en el baño ultrasónico (min)	Temperatura del agua en el baño (°C)	Germinación experimental (%)	Germinación predicha (%)
1	10	45	28,8 \pm 0,8	26,60
2	10	30	25,5 \pm 0,7	24,78
3	5,5	45	63,3 \pm 1,5	59,83
4	5,5	45	60,0 \pm 0,6	59,83
5	1,0	30	8,9 \pm 0,3	8,95
6	5,5	60	67,8 \pm 0,7	64,60
7	5,5	30	57,8 \pm 0,3	58,26
8	10	60	30,0 \pm 0,6	31,62
9	1,0	45	12,2 \pm 0,3	10,26



10	5,5	45	56,7±0,5	59,83
11	5,5	45	58,2±0,2	59,83
12	1,0	60	13,3±0,6	14,78
13	5,5	45	59,4±0,7	59,83

En la Figura 1A, se pueden observar los valores predichos y experimentales de la germinación de *V. baccifera* a los 15 días. La distribución de puntos corroboró la capacidad del modelo para cubrir todo el intervalo experimental. Los valores de $R^2 = 0,9920$ y $Adj. R^2 = 0,9862$ (Tabla 3) de la línea de regresión indicó una buena correspondencia entre los valores experimentales y predichos del modelo en los datos experimentales. En la Figura 1B se constató que los datos experimentales cumplieron el supuesto de distribución normal.

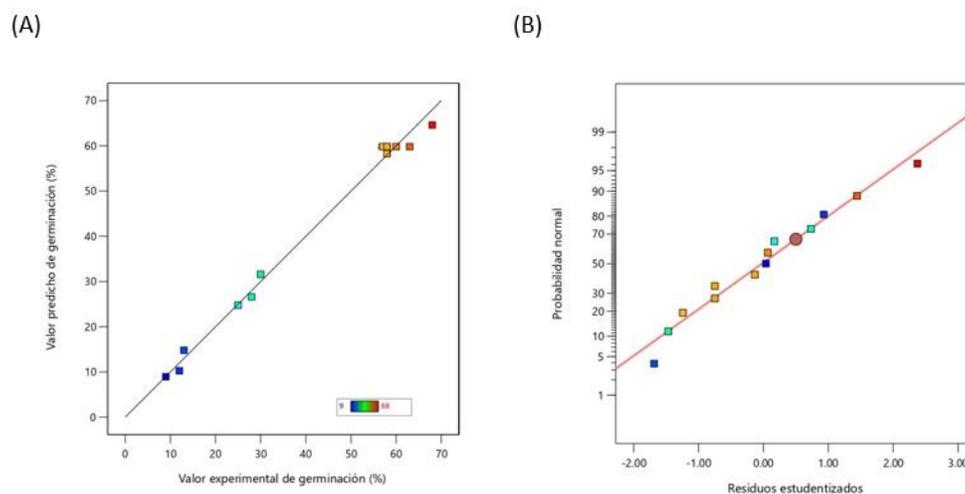


Figura 1. - (A) Valores experimentales y predichos de la germinación de *V. baccifera*. (B) Distribución normal de los datos experimentales

Los resultados del ANOVA indicaron que los factores tiempo de inmersión de las semillas en el baño ultrasónico y la temperatura del agua fueron significativos ($P < 0,05$) sobre el porcentaje de semillas germinadas (Tabla 3).



Tabla 3. - Análisis de varianza (ANOVA) de los factores tiempo ultrasónico y temperatura del agua sobre la germinación de semillas de *V. baccifera*. Valores de $P < 0,05$ indican un efecto significativo

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-valor	P-valor	
Cuadrático	5841,99	5	1168,40	173,12	< 0,0001	Significativo
A-Tiempo ultrasónico	400,17	1	400,17	59,29	0,0001	
B-Temperatura del agua	60,17	1	60,17	8,91	0,0203	
AB	0,2500	1	0,2500	0,0370	0,8528	
A ²	4733,01	1	4733,01	701,27	< 0,0001	
B ²	7,10	1	7,10	1,05	0,3392	
Residuo	47,24	7	6,75			
Falta de ajuste	24,44	3	8,15	1,43	0,3584	No significativo
Error puro	22,80	4	5,70			
Total corregido	5889,23	12				
R ²	0,9920					
R ² Ajustado	0,9862					
R ² Predicho	0,9602					
Precisión adecuada	31,5289					

El porcentaje de germinación se ajustó a una ecuación polinómica de segundo orden. Este modelo permitió encontrar la relación entre la temperatura del agua en el baño del ultrasonido, el tiempo de inmersión y la respuesta a la germinación (Ecuación 2).

$$G (\%) = -6.1 + 24.1TU - 0.4TA + 0.003AB - 2.04B^2 + 0.007A^2 \quad (2)$$



Las condiciones óptimas para lograr un porcentaje de germinación del 65 % fueron a una temperatura de 60°C y un tiempo de 5,9 min (Figura 2). Estas condiciones se validaron experimentalmente, obteniéndose el 66,0 ±1,7 % de germinación.

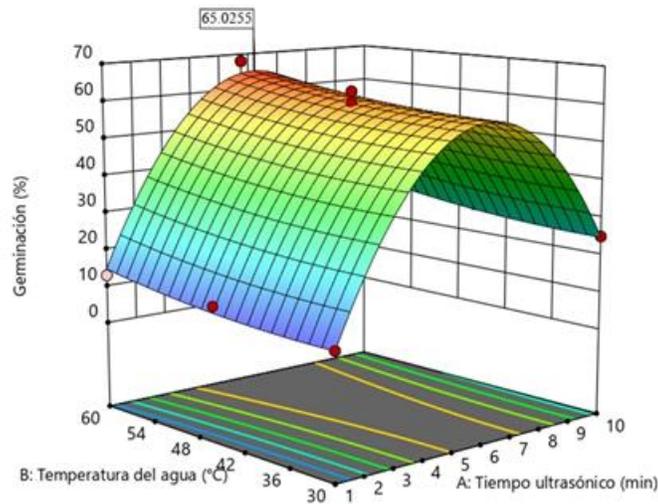


Figura 2. - Superficie respuesta del efecto del tiempo de inmersión de las semillas de ultrasónico y temperatura del agua sobre el porcentaje de germinación de semillas de *V. baccifera*.

DISCUSIÓN

Las técnicas de ultrasonido como tratamiento pregerminativo de semillas son una alternativa reconocida como método de estimulación física de alta eficiencia (Wang *et al.*, 2019), además de ser respetuoso con el ambiente (Ding *et al.*, 2018). Sin embargo, los resultados de la efectividad del tratamiento se ven limitados con las técnicas de ultrasonidos (frecuencia, duración de sonicación y temperatura del agua), ya que tienen diferentes grados de influencia en la germinación (Venâncio y Martins 2019).



Se han reportado una gran variedad de diseños de investigación con diferentes tamaños de muestras y variables medidas, además de varias condiciones ambientales que manifiestan respuestas diferenciadas en los porcentajes de germinación (Awad *et al.*, 2012). Varios trabajos han demostrado el marcado efecto que tiene la aplicación de técnicas de ultrasonido como tratamiento pregerminativo de semillas (Rifna *et al.*, 2019; Trakselyte rupsiene *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2016). La aplicación de ultrasonido en semillas forestales es escasamente reportada en la literatura. Recientemente, (Zhang *et al.*, 2023) en un estudio de una especie forestal se comprobó que el ultrasonido promueve la germinación de semillas envejecidas de *Pinus tabuliformis*. La potencia del ultrasonido podría aumentar la tasa de germinación de las semillas envejecidas aproximadamente tres veces en comparación con el control. Sin embargo, hay diversos estudios en semillas de interés alimenticio.

Sharififar *et al.* (2015) resaltan el efecto de ondas ultrasónicas en la germinación de semillas de *Atriplex lentiformis*, *Cuminum cyminum* y *Zygophyllum eurypterum*, donde el porcentaje de germinación reveló un efecto significativo ante las exposiciones de 1, 3, 5, 7 y 9 minutos. Esto se debe a que las ondas ultrasónicas rompen la latencia de las semillas, ocasionando un impacto positivo sobre la germinación.

Por otro lado, estudios de especies de la familia Fabaceae mostraron que, para conseguir un porcentaje significativo de germinación en semillas de *Medicago scutellata* se utilizaron ondas ultrasónicas, bajo condiciones como: frecuencia (20 KHz), potencia (150 W) y tiempo de exposición (0 control, 3, 6, 9 y 12 minutos) donde obtuvieron porcentaje de (97,25 %) a 6 min y (98 %) a 9 min (Tajbakhsh *et al.*, 2011). Además, Yang *et al.*, (2015) afirmaron que el tratamiento con ultrasonido aumenta la tasa de germinación, longitud de los brotes y contenido de ácido gamma-aminobutírico en brotes de *Glycine max*.

El ultrasonido aumenta la porosidad a través de la cavitación acústica, mejora la transferencia de masa; el agua absorbida adicional reacciona libre y fácilmente con el embrión celular, lo que libera ácido giberélico y conduce a procesos metabólicos en las células de aleurona, y ayuda a movilizar nutrientes del endospermo a través de ruptura de la membrana celular (Miano *et al.*, 2015).



Se ha encontrado que después de la exposición a 250 W, 350 W y 450 W de ondas ultrasónicas, durante cinco minutos, se puede obtener un porcentaje de germinación del 94 %, 100 % y 97 % respectivamente (Venâncio y Martins, 2019).

El ultrasonido también puede utilizarse como tratamiento de control microbiano, como lo demuestran Chiu y Sung (2013) quienes emplearon un baño ultrasónico a una potencia de 40 KHz por 1 min a 25°C en tres variedades de *Pisum sativum* (arveja), lo que aumentó la germinación, disminuyó la carga microbiana y mejoró el crecimiento de los brotes de *Pisum sativum*, en un 97 % (Chiu y Sung, 2013).

Las semillas de *Medicago scutellata* fueron sometidas a la frecuencia de ondas ultrasónicas de 42 KHz en diferentes períodos de tiempo, cero minutos (control), 1, 3, 5, 7 y 9 minutos, a temperatura ambiente (25°C). El tratamiento a exposición de siete minutos influyó de forma positiva y el de nueve minutos tuvo un impacto negativo en el porcentaje de germinación (Nazari *et al.*, 2015).

Así también, el ultrasonido ha mejorado sustancialmente el porcentaje de brotación de *Phaseolus vulgaris*, ya que, a partir de una intensidad de 360 W y 60 minutos, alcanzó el 100 % (Oforiwaa *et al.*, 2020). Por otro lado, Miano *et al.*, (2019) aplicaron dos tecnologías: radiación ionizante (a dosis de 2,3 y 3,8 kG y utilizando rayos γ) y el ultrasonido (91 W L⁻¹ y 25 KHz a 25 °C) individual y en combinación para evaluar el proceso de hidratación y germinación de *Phaseolus vulgaris*, revelando que la irradiación no influye significativamente en la tasa de hidratación y el tiempo latencia, pero sí afecta el ultrasonido porque redujo en un 50 % el tiempo de procesamiento. El efecto de la interacción de la tecnología de radiación y ultrasonido disminuye la humedad de equilibrio.

Otro estudio favorable realizado con dos variedades de frijol Adzuki, demostró que el uso del ultrasonido (40 KHz u 80 KHz, a 25°C, en 1 minuto) mejora la hidratación y germinación de sus semillas, así como los contenidos de polifenoles, flavonoides, saponinas totales y aún más las actividades antioxidantes (FRAP y DPPH) de los brotes (Chiu, 2021).



En un estudio sobre germinación de frijol rojo asistido por ultrasonido para mejorar el proceso de germinación convencional y la calidad nutricional de los frijoles rojos, se empleó ultrasonido de alta intensidad (HIU) suplementado con peróxido de hidrógeno como tratamiento previo a la germinación. Los resultados mostraron que el tratamiento de 350 W-diez minutos produjo la mayor tasa de germinación (77,09 %), con una longitud de brote 81,13 % mayor que la del grupo control. El tratamiento de 350 W-10 min aumentó el contenido de proteínas totales, proteínas solubles y cenizas, al mismo tiempo que redujo el contenido de grasas, almidón y azúcares solubles (Athoi *et al.*, 2024). No obstante, Miano y Duarte (2018) manifiestan que los resultados del ultrasonido dependen siempre de la intensidad (potencia y tiempo) con que se emplee, porque puede potenciar o dificultar el proceso de germinación. En este caso, utilizaron el ultrasonido con una potencia volumétrica de 91 W L⁻¹, frecuencia de 25 KHz, a una temperatura constante a 25±1°C durante 510 minutos para incorporar nutrientes (hierro) en la hidratación de las semillas, en consecuencia, el porcentaje máximo de germinación disminuyó considerablemente (cerca del 50 %) debido a la alta intensidad del ultrasonido y toxicidad del hierro.

La literatura ha mostrado mayores resultados con efectos de ultrasonido para especies de alimentos o gramíneas, por ejemplo, Miano *et al.*, (2015) determinaron el efecto de ultrasonido en la germinación y el vigor de cuatro lotes de semillas de *Hordeum vulgare*, resultando el lote 1 con la tasa de germinación más alta (89 %) y el lote 4 (43 %) con la más baja, a partir de las condiciones: frecuencia (20 KHz), potencia volumétrica (0,028 Wm⁻³) y tiempo (4h), demostrando que la tecnología de ultrasonido puede mejorar el proceso de hidratación e inducir a cambios fisiológicos que aumente el vigor de las semillas. Otro estudio logró un porcentaje de germinación del 99,4 % a 30°C, frecuencia de 20 KHz, potencia constante de 460 W y a una intensidad del 100 % por 15 min (Yaldagard *et al.*, 2008). Sin embargo, en el mismo período de tiempo (15 min) y temperatura 30°C, pero a una mayor frecuencia (42 KHz) Pour *et al.*, 2018), obtuvieron una tasa de germinación del 100 %, evidenciando así que la potencia no fue significativa para la germinación de *Hordeum vulgare*.



Oforiwaa y Ngadi (2020) reportaron que las semillas de arroz con cáscara sometidas al ultrasonido incrementaron su porcentaje de germinación dado que las ondas ultrasónicas trasladan energía a las células citoplasmáticas. De igual manera, Xia *et al.*, (2020) examinaron la estimulación de ondas ultrasónicas (28 KHz, 17,83 W) sobre las semillas de *Oryza sativa* encontrando una aceleración significativa en el proceso de germinación dentro de los 5 a 30 min de exposición. El tratamiento ultrasónico de semillas con una frecuencia mixta de 20 a 40 KHz durante 1,5 minutos tuvo un impacto positivo en la germinación y el crecimiento del arroz aromático debido a la modulación de los atributos morfológicos y fisiológicos de las semillas.

El tratamiento ultrasónico mejora la potencialidad de germinación y el aumento de la proteína soluble en las hojas conjuntamente con la eficiencia fotosintética, lo que contribuyó a mejorar la biomasa y el rendimiento de grano del arroz (Huang *et al.*, 2024).

Los tratamientos ultrasónicos tuvieron efectos positivos sobre el porcentaje de germinación de semillas envejecidas de *Festuca arundinacea* y *Psathyrostaehys juncea Nevski* en un 79 % y 89.3 % respectivamente, a un tiempo de sonicación de 15 minutos, una temperatura de sonicación de 45°C y una potencia de salida de 350W (Liu *et al.*, 2016).

Las semillas de trigo fueron sometidas a ultrasónico (modelo, KQ-200VDV; frecuencia, 45 KHz; potencia, 160 W) a lo largo de diferentes dosis de vibración ultrasónica (0, 5, 10, 15 y 20 min respectivamente). La vibración ultrasónica en 5 y 10 minutos provocó un aumento en la tasa de germinación de la semilla (después de 20 h de exposición ultrasónica), en la concentración de clorofila y proteína, en la longitud de la raíz, del brote y en el peso fresco (Chen *et al.*, 2013). En otro estudio, los granos de trigo germinaron en un 86 % (Guimarães *et al.*, 2020).

Otro experimento bajo la misma frecuencia (40 KHz) y temperatura (15 o 20°C), pero a diferentes tiempos (5, 10, 15, 30, 45 o 60 minutos) mostró que el índice de germinación en *Citrullus lantanus*, *Triticum durum* y *Cicer arietinum* aumentó en un 133 % (a los 45 minutos), 95 % (30 minutos) y 45 % (cinco minutos), respectivamente (Goussous *et al.*, 2010).



El ultrasonido también ha sido aplicado para el estudio de algunos géneros de orquídeas, en el que sus semillas son difíciles de germinar. Chiu (2015), logró el 54% de germinación de las semillas de *Paphiopedilum SCBG* (joya roja) cuando las trató con ultrasonido a 40 KHz, en el lapso de ocho minutos a temperatura ambiente. Así también Lee *et al.*, (2007) lograron germinar en un 34.8 % las semillas de *Calanthe tricarinata* bajo las condiciones de 200 W, 44 kV, 40 KHz, en 45 min.

Los campos pulsátiles de ultrasonido se presentan en la literatura científica como formas de romper la latencia y el tegumento grueso de las semillas (Singureanu *et al.*, 2015). Es por ello que Pascual *et al.*, (2004) realizaron siete tratamientos para eliminar la dureza y cuatro para romper la latencia fisiológica de semillas de *Capparis spinosa* (alcaparras), donde la combinación de la escarificación mecánica con ultrasonido (Selecta Ultrasons, modelo 513, 150 w, 40 KHz) y temperatura ambiente por 30 minutos, obtuvo resultados superiores al 70 %. De la misma forma Rinaldelli, (2000) sometió las semillas de alcaparras al efecto de ondas ultrasónicas en tiempos de exposición de diez minutos a 6 h, con temperatura entre 25 y 30 °C, con la diferencia que estas fueron previamente sometidas a escarificación con ácido sulfúrico, las semillas respondieron positivamente a esta combinación. Aunque, el mayor porcentaje de germinación, superior al 50 %, se obtuvo cuando se realizó tratamiento ultrasónico en presencia de ácido giberélico (400 mgL⁻¹).

Se realizaron tratamientos de ultrasonidos en semillas envejecidas artificialmente y sin envejecer de la especie *Arabidopsis thaliana*, utilizando tres tiempos de sonicación (30 s, 1 y 2 min) frecuencia de 45 KHz y temperatura constante de 24°C, las semillas sin envejecer no mostraron efectos significativos en la germinación, aunque las semillas envejecidas artificialmente aumentaron un 10 % en la germinación a partir de los tratamientos breves con ultrasonido (30 y 60 s) (López-Ribera y Vicient, 2017).

Las ondas ultrasónicas mejoran la germinación de semillas envejecidas de *Ricinus communis* (ricino) en condiciones de sequía y estrés salino (Babaei *et al.*, 2023)



A las semillas de *Chenopodium album*, se aplicó ultrasonido con frecuencia de 35 KHz, a lo largo de 0 (control), 5, 10, 15 y 30 minutos. Se alcanzaron porcentajes de germinación de 83,25 % a los 15 minutos de exposición, cabe recalcar que si su tiempo de exposición se extiende (30 minutos), puede ser perjudicial para la semilla (Babaei-Ghaghelestany *et al.*, 2020).

Se efectuaron estudios en especies de *Dioscorea fandra* H. Perrier (ñame silvestre), consistente en someter semillas a un enfriamiento (5°C por dos semanas), para después colocar a inmersión en un baño ultrasónico (Branson 3210R) con 47 KHz, 130 W, a 10 minutos y 20 minutos, a 25°C. Bajo estas condiciones, la especie obtuvo el mayor porcentaje de germinación (90%) una vez que las semillas se expusieron a diez minutos (Andriamparany y Buerkert, 2019).

También se han realizado estudios sobre el comportamiento de germinación de semillas de sésamo a través de un baño ultrasónico, variando dos factores, la duración del tratamiento (10, 20 y 30 minutos), la temperatura de germinación (15, 20 y 25°C) y frecuencia (20 KHz) como valor constante, obteniendo un máximo de 22 % de germinación, a una temperatura óptima de 15°C a 20 minutos (Shekari *et al.*, 2015).

En el presente estudio, el tratamiento de ultrasonido obtuvo el 67,8 % de germinación bajo las condiciones: temperatura (60°C), tiempo (5,9 minutos) siendo este un resultado novedoso para especies forestales con el uso de ultrasonido. Esto evidenció que a pesar de que es limitado los reportes en la literatura para especies forestales, se corrobora el efecto del ultrasonido para aumentar la capacidad germinativa.

CONCLUSIONES

El tratamiento pregerminativo con ultrasonido ejerció un efecto positivo en la germinación de semillas de *V. baccifera* con un incremento en la germinación de 7,7 % a 67,8 % bajo las condiciones experimentales de 60°C y 5,9 minutos. Este resultado indica el uso del ultrasonido como tratamiento pregerminativo para el incremento de la germinación de *V.*



baccifera, lo que brinda nuevas alternativas de incursión para especies forestales con bajo potencial germinativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ELRAHMAN, H., EL-BIALEE, N., MAHMOUD, M., MORSY, N. y ELSSAWY, W., 2023. Responding Oil Seeds Germination Indices to Ultrasonic Waves. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering* [en línea], vol. 14, no. 11, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2090-3685. DOI 10.21608/jssae.2023.235550.1187. Disponible en: https://jssae.journals.ekb.eg/article_324485.html.

AMPOFO, J.O. y NGADI, M., 2020. Ultrasonic assisted phenolic elicitation and antioxidant potential of common bean (*Phaseolus vulgaris*) sprouts. *Ultrasonics Sonochemistry* [en línea], vol. 64, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1350-4177. DOI 10.1016/j.ultsonch.2020.104974. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417719315949>.

ANDRIAMPARANY, J.N. y BUERKERT, A., 2019. Effect of ultrasonic dormancy breaking on seed germination and seedling growth of three wild yam species (*Dioscorea* spp.) from SW-Madagascar. *Genetic Resources and Crop Evolution* [en línea], vol. 66, no. 6, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1573-5109. DOI 10.1007/s10722-019-00779-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00779-5>.

ATHOI, W., MARBOH, V. y MAHANTA, C.L., 2024. Effect of ultrasonication, germination, and steaming on the properties of a black rice variety. *Food Chemistry Advances* [en línea], vol. 4, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2772-753X. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X24000777>.

AWAD, T.S., MOHARRAM, H.A., SHALTOUT, O.E., ASKER, D. y YOUSSEF, M.M., 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International* [en línea], vol. 48, no. 2, [consulta: 7 agosto 2024].



ISSN 0963-9969. DOI 10.1016/j.foodres.2012.05.004. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691200141X>.

BABAEI, M., PIRDASHTI, H. y BAKHSHANDEH, E., 2023. Ultrasonic waves improve aged seed germination of castor bean (*Ricinus communis* L.) under drought and salt stresses. *Acta Physiologiae Plantarum* [en línea], vol. 45, no. 7, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1861-1664. DOI 10.1007/s11738-023-03563-2. Disponible en:
<https://doi.org/10.1007/s11738-023-03563-2>.

BABAEI-GHAGHELESTANY, A., ALEBRAHIM, M.T., MACGREGOR, D.R., KHATAMI, S.A. y HASANI NASAB FARZANEH, R., 2020. Evaluation of ultrasound technology to break seed dormancy of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Food Science & Nutrition* [en línea], vol. 8, no. 6, ISSN 2048-7177. DOI 10.1002/fsn3.1547. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32566183/>.

CHEN, Y., LIU, Q., YUE, X., MENG, Z. y LIANG, J., 2013. Ultrasonic vibration seeds showed improved resistance to cadmium and lead in wheat seedling. *Environmental Science and Pollution Research International* [en línea], vol. 20, no. 7, ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-012-1411-1. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23296973/>.

CHIU, K. y SUNG, J., 2013. Use of ultrasonication to enhance pea seed germination and microbial quality of pea sprouts. *International Journal of Food Science & Technology* [en línea], vol. 49, no. 7, DOI 10.1111/ijfs.12476. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/259549807_Use_of_ultrasonication_to_enhance_pea_seed_germination_and_microbial_quality_of_pea_sprouts.

CHIU, K.Y., 2015. Ultrasonication-enhanced seed germination and microbial safety of sprouts produced from selected crop species. *Journal of Applied Botany and Food Quality* [en línea], vol. 88, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1439-040X. DOI 10.5073/JABFQ.2015.088.017. Disponible en:
<https://ojs.openagrar.de/index.php/JABFQ/article/view/3177>.



- CHIU, K.-Y., 2021. Changes in Microstructure, Germination, Sprout Growth, Phytochemical and Microbial Quality of Ultrasonication Treated Adzuki Bean Seeds. *Agronomy* [en línea], vol. 11, no. 6, DOI 10.3390/agronomy11061093. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/351963088_Changes_in_Microstructure_Germination_Sprout_Growth_Phytochemical_and_Microbial_Quality_of_Ultrasonication_Treated_Adzuki_Bean_Seeds.
- DEWI, A.H. y ANA, I.D., 2018. The use of hydroxyapatite bone substitute grafting for alveolar ridge preservation, sinus augmentation, and periodontal bone defect: A systematic review. *Heliyon* [en línea], vol. 4, no. 10, ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/j.heliyon.2018.e00884. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30417149/>.
- DING, J., HOU, G.G., DONG, M., XIONG, S., ZHAO, S. y FENG, H., 2018. Physicochemical properties of germinated dehulled rice flour and energy requirement in germination as affected by ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry* [en línea], vol. 41, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1350-4177. DOI 10.1016/j.ultsonch.2017.10.010. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417717304728>.
- DZIWULSKA-HUNEK, A., SZYMANEK, M. y STADNIK, J., 2020. Impact of Pre-Sowing Red Light Treatment of Sweet Corn Seeds on the Quality and Quantity of Yield. *Agriculture* [en línea], vol. 10, no. 5, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2077-0472. DOI 10.3390/agriculture10050165. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/5/165>.
- GOUSSOUS, S.J., SAMARAH, N.H., ALQUDAH, A.M. y OTHMAN, M.O., 2010. ENHANCING SEED GERMINATION OF FOUR CROP SPECIES USING AN ULTRASONIC TECHNIQUE. *Experimental Agriculture* [en línea], vol. 46, no. 2, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1469-4441, 0014-4797. DOI 10.1017/S0014479709991062. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/experimental->



agriculture/article/abs/enhancing-seed-germination-of-four-crop-species-using-an-ultrasonic-technique/CD6DC32BA53B0B0128455E17A0EB989B#.

- GUIMARÃES, B., POLACHINI, T.C., AUGUSTO, P.E.D. y TELIS-ROMERO, J., 2020. Ultrasound-assisted hydration of wheat grains at different temperatures and power applied: Effect on acoustic field, water absorption and germination. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* [en línea], vol. 155, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0255-2701. DOI 10.1016/j.cep.2020.108045. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270120305067>.
- GUZMÁN, M.N.N., BELTRÁN, L.C., RODRIGUEZ, C.H. y ROA-FUENTES, L.L., 2023. Functional seed traits as predictors of germination and seedling growth for species with potential for restoration in Caquetá, Colombia. *Trees* [en línea], vol. 37, no. 3, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1432-2285. DOI 10.1007/s00468-023-02396-3. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02396-3>.
- HUANG, S., ASHRAF, U., DUAN, M., REN, Y., XING, P., YAN, Z. y TANG, X., 2024. Ultrasonic seed treatment improved seed germination, growth, and yield of rice by modulating associated physio-biochemical mechanisms. *Ultrasonics Sonochemistry* [en línea], vol. 104, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1350-4177. DOI 10.1016/j.ultsonch.2024.106821. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417724000695>.
- JIMÉNEZ ROMERO, E., GARCÍAS FRANCO, L., CARRANZA PATIÑO, M., CARRANZA PATIÑO, H.M., MORANTE CARRIEL, J., MARTÍNEZ CHÉVEZ, M. y CUÁSQUER FUEL, J., 2017. Germinación y crecimiento de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en Ecuador. *Scientia Agropecuaria* [en línea], vol. 8, no. 3, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2077-9917. DOI 10.17268/sci.agropecu.2017.03.07. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2077-99172017000300007&lng=es&nrm=iso&tlng=es.



LEE, Y.-I., LU, C.-F., CHUNG, M.-C., YEUNG, E.C. y LEE, N., 2007. Developmental Changes in Endogenous Abscisic Acid Concentrations and Asymbiotic Seed Germination of a Terrestrial Orchid, *Calanthe tricarinata* Lindl. *Journal of the American Society for Horticultural Science* [en línea], vol. 132, no. 2, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2327-9788, 0003-1062. DOI 10.21273/JASHS.132.2.246. Disponible en: <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/132/2/article-p246.xml>.

LIU, H., LI, Z., ZHANG, X., LIU, Y., HU, J., YANG, C. y ZHAO, X., 2021. The effects of ultrasound on the growth, nutritional quality and microbiological quality of sprouts. *Trends in Food Science & Technology* [en línea], vol. 111, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0924-2244. DOI 10.1016/j.tifs.2021.02.065. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421001722>.

LIU, J., WANG, Q., KARAGIÆ, Ð., LIU, X., CUI, J., GUI, J., GU, M. y GAO, W., 2016. Effects of ultrasonication on increased germination and improved seedling growth of aged grass seeds of tall fescue and Russian wildrye. *Scientific Reports* [en línea], vol. 6, no. 1, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2045-2322. DOI 10.1038/srep22403. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/srep22403>.

LÓPEZ-RIBERA, I. y VICIENT, C.M., 2017. Use of ultrasonication to increase germination rates of *Arabidopsis* seeds. *Plant Methods*, vol. 13, no. 1, ISSN 1746-4811. DOI 10.1186/s13007-017-0182-6.

MIANO, A.C. y AUGUSTO, P.E.D., 2018. The ultrasound assisted hydration as an opportunity to incorporate nutrients into grains. *Food Research International* [en línea], vol. 106, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0963-9969. DOI 10.1016/j.foodres.2018.02.006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691830098X>.

MIANO, A.C., SABADOTI, V.D. y AUGUSTO, P.E.D., 2019. Combining Ionizing Irradiation and Ultrasound Technologies: Effect on Beans Hydration and Germination. *Journal of Food Science* [en línea], vol. 84, no. 11, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1750-3841. DOI



- 10.1111/1750-3841.14819. Disponible en:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1750-3841.14819>.
- MIANO PASTOR, A., FORTI, V., ABUD, H., GOMES-JUNIOR, F., CICERO, S. y AUGUSTO, P., 2015. Effect of ultrasound technology on barley seed germination and vigour. *Seed Science and Technology* [en línea], vol. 43, no. 2, DOI 10.15258/sst.2015.43.2.10. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/279223611_Effect_of_ultrasound_technology_on_barley_seed_germination_and_vigour.
- MIHAYLOVA, E. y PERUHOV, M.M. and N., 2021. Ultrasound seed treatment for organic farming. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* [en línea], [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2534-983X. Disponible en:
https://journal.agrojournal.org/page/en/details.php?article_id=3521.
- NAZARI, M., SHARIFIFAR, A. y ASGHARI, H., 2014. Medicago Scutellata Seed Dormancy Breaking by Ultrasonic Waves. *Plant Breeding and Seed Science* [en línea], vol. 69, no. 1, DOI 10.1515/plass-2015-0002. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/273064533_Medicago_Scutellata_Seed_Dormancy_Breaking_by_Ultrasonic_Waves.
- NOGUEIRA, A., PUGA, H., GERÓS, H. y TEIXEIRA, A., 2024. Seed germination and seedling development assisted by ultrasound: gaps and future research directions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [en línea], vol. 104, no. 2, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1097-0010. DOI 10.1002/jsfa.12994. Disponible en:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.12994>.
- PANDISELVAM, R., MAYOOKHA, V.P., KOTHAKOTA, A., SHARMILA, L., RAMESH, S.V., BHARATHI, C.P., GOMATHY, K. y SRIKANTH, V., 2020. Impact of Ozone Treatment on Seed Germination A Systematic Review. *Ozone: Science & Engineering* [en línea], vol. 42, no. 4, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0191-9512. DOI 10.1080/01919512.2019.1673697. Disponible en:
<https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1673697>.



- PASCUAL, B., BAUTISTA, A., IMBERNÓN, A., LÓPEZ-GALARZA, S., ALAGARDA, J. y MAROTO, J.V., 2004. Seed treatments for improved germination of caper (*Capparis spinosa*). *Seed Science and Technology* [en línea], vol. 32, no. 2, DOI 10.15258/sst.2004.32.2.33. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/99486>.
- POUR, M., HOBBI, M., GHASEMI, H. y NAZARI, M., 2016. Plausible Mechanisms by Which Ultrasonic Waves Affect Seeds. *Plant Breeding and Seed Science* [en línea], vol. 74, no. 1, DOI 10.1515/plass-2016-0017. Disponible en: <http://ojs.ihar.edu.pl/index.php/pbss/article/view/225>.
- REHMANI, M.S., XIAN, B., WEI, S., HE, J., FENG, Z., HUANG, H. y SHU, K., 2023. Seedling establishment: The neglected trait in the seed longevity field. *Plant Physiology and Biochemistry* [en línea], vol. 200, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0981-9428. DOI 10.1016/j.plaphy.2023.107765. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942823002760>.
- RIFNA, E.J., RATISH RAMANAN, K. y MAHENDRAN, R., 2019. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology* [en línea], vol. 86, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0924-2244. DOI 10.1016/j.tifs.2019.02.029. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224417307975>.
- RINALDELLI, E., 2000. Effect of ultrasonic waves on seed germination of *Capparis spinosa* L. as related to exposure time, temperature, and gibberellic acid. *Advances in Horticultural Science* [en línea], vol. 14, no. 4, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0394-6169. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/42883273>.
- SHARIFIFAR, A., NAZARI, M. y ASGHARI, H.R., 2015. Effect of ultrasonic waves on seed germination of *Atriplex lentiformis*, *Cuminum cyminum*, and *Zygophyllum eurypterum*. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* [en línea], vol. 2, no. 3, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2214-7861. DOI 10.1016/j.jarmap.2015.05.003.



Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214786115300024>.

SHEKARI, F., MUSTAFAVI, S.-H. y ABBASI, A., 2015. Sonication of seeds increase germination performance of sesame under low temperature stress. *Acta agriculturae Slovenica* [en línea], vol. 105, no. 2, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1854-1941. DOI 10.14720/aas.2015.105.2.03. Disponible en: <http://ojs.aas.bf.uni-lj.si/index.php/AAS/article/view/40>.

SINGUREANU, Valentin, UNGUR, R., ONAC, I., KOVACS, M.H., MOLDOVAN, G. y SINGUREANU, Victoria, 2015. Automatic Germination Evaluation and Qualitative Analysis of Essential Oil of *Mentha × piperita* L. under the Influence of High Frequency Pulsatile Electromagnetic and Ultrasound Pulsatile Fields. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* [en línea], vol. 43, no. 1, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1842-4309. DOI 10.15835/nbha4319973. Disponible en: <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/9973>.

TRAKSELYTE-RUPSIENE, K., JUODEIKIENE, G., CERNAUSKAS, D., BARTKIENE, E., KLUPSAITE, D., ZADEIKE, D., BENDORAITIENE, J., DAMASIUS, J., IGNATAVICIUS, J. y SIKORSKAITE-GUDZIUNIENE, S., 2021. Integration of Ultrasound into the Development of Plant-Based Protein Hydrolysate and Its Bio-Stimulatory Effect for Growth of Wheat Grain Seedlings In Vivo. *Plants (Basel, Switzerland)*, vol. 10, no. 7, ISSN 2223-7747. DOI 10.3390/plants10071319.

VALLADOLID ONTANEDA, J., LEÓN MEJÍA, Á., PAREDES TOMALÁ, D., VALLADOLID ONTANEDA, J., LEÓN MEJÍA, Á. y PAREDES TOMALÁ, D., 2017. Selección de Árboles Semilleros en Plantaciones Forestales de la Península de Santa Elena. Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)* [en línea], vol. 4, no. 2, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 1390-7697. DOI 10.26423/rctu.v4i2.261. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-76972017000100105&lng=es&nrm=iso&tlng=es.



- VENÂNCIO, R.S. da S. y MARTINS, A.C.G., 2019. Overcoming dormancy of *Senna multijuga* seeds with an ultrasonic probe the comparison with ultrasound and sulfuric acid baths. *Ciência Rural* [en línea], vol. 49, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0103-8478, 1678-4596. DOI 10.1590/0103-8478cr20180904. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cr/a/W39pMsvmr8dgm3xvy8ZYjRg/>.
- WANG, J., MA, H. y WANG, S., 2019. Application of Ultrasound, Microwaves, and Magnetic Fields Techniques in the Germination of Cereals. *Food Science and Technology Research*, vol. 25, no. 4, DOI 10.3136/fstr.25.489.
- XIA, Q., TAO, H., LI, Y., PAN, D., CAO, J., LIU, L., ZHOU, X. y BARBA, F.J., 2020. Characterizing physicochemical, nutritional and quality attributes of wholegrain *Oryza sativa* L. subjected to high intensity ultrasound-stimulated pre-germination. *Food Control* [en línea], vol. 108, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0956-7135. DOI 10.1016/j.foodcont.2019.106827. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713519304165>.
- YALDAGARD, M., MORTAZAVI, S.A. y TABATABAIE, F., 2008. Application of Ultrasonic Waves as a Priming Technique for Accelerating and Enhancing the Germination of Barley Seed: Optimization of Method by the Taguchi Approach. *Journal of the Institute of Brewing* [en línea], vol. 114, no. 1, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 2050-0416. DOI 10.1002/j.2050-0416.2008.tb00300.x. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00300.x>.
- YANG, H., GAO, J., YANG, A. y CHEN, H., 2015. The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts. *Food Research International* [en línea], vol. 77, [consulta: 7 agosto 2024]. ISSN 0963-9969. DOI 10.1016/j.foodres.2015.01.011. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996915000137>.
- ZHANG, H., MO, W., LIAO, S., JIA, Z., ZHANG, W., ZHANG, S. y LIU, Z., 2023. Ultrasound promotes germination of aging *Pinus tabuliformis* seeds is associated with altered lipid metabolism. *Ultrasonics Sonochemistry* [en línea], vol. 93, ISSN 1873-2828. DOI



10.1016/j.ultsonch.2023.106310.

Disponible

en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36708697/>.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

