

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



DECANATO DE POSGRADO

MAESTRÍA EN SILVICULTURA

MENCIÓN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS  
FORESTALES

TÍTULO A OBTENER: MAGISTER EN SILVICULTURA

Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada  
y/o desarrollo

Tratamiento pre germinativo con aplicación de técnicas con  
ultrasonido: revisión sistemática y metaanálisis

Autora: Ing. Averos Suárez Joselyn Brigitte

Director del proyecto: PhD. Yasiel Arteaga Crespo

Puyo - Ecuador

2022

**FORMATO DP-UT-013A: DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, Averos Suárez Joselyn Brigitte, con cédula de identidad 050346679-9, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo titulado “Tratamiento pre germinativo con aplicación de técnicas con ultrasonido: revisión sistemática y metaanálisis”, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

---

AVEROS SUÁREZ JOSELYN BRIGGITTE  
CI. 05034667-9



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA  
DECANATO DE POSGRADO  
FORMATO DP-UT-013B

**FORMATO DP-UT-013B: CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE  
EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN**

**EL TRIBUNAL DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN**

**CERTIFICA QUE:**

El presente trabajo “**TRATAMIENTO PRE GERMINATIVO CON APLICACIÓN DE TÉCNICAS CON ULTRASONIDO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS**”, bajo la responsabilidad de la maestrante **AVEROS SUÁREZ JOSELYN BRIGGITTE**, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación:

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

**DIEGO  
GUTIERREZ  
DEL POZO**

Firmado digitalmente por DIEGO GUTIERREZ  
DEL POZO  
DN: C=EC, O=BANCO CENTRAL DEL  
ECUADOR, OU=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE  
L=QUITO, SERIALNUMBER=0000603956 +  
CN=DIEGO GUTIERREZ DEL POZO  
Razón: Soy el autor de este documento  
Ubicación:  
Fecha: 2022.07.18 19:36:27 -05'00'  
Foxit PDF Reader Versión: 12.0.0

**Dr. DIEGO GUTIÉRREZ DEL POZO, PhD**

**PRESIDENTE DE TRIBUNAL EVALUADOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**CAROLINA  
BANOL PEREZ**

Firmado digitalmente por  
CAROLINA BANOL PEREZ  
Fecha: 2022.07.20  
18:07:01 -05'00'

**Dra. CAROLINA BAÑOL PÉREZ, PhD**  
**MIEMBRO 1**



Firmado electrónicamente por:  
**EDISON ROBERTO  
SUNTASIG NEGRETE**

**MSc. EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE**  
**MIEMBRO 2**

**FORMATO DP-UT-011: AVAL DEL DIRECTOR DE TRABAJO TITULACIÓN**

<b>MAESTRÍA EN SILVICULTURA MENCIÓN MANEJO Y CONSERVACION DE RECURSOS FORESTALES</b>	
<b>COHORTE: III</b>	<b>FECHA ELABORACIÓN: 07 julio del 2022</b>
<b>INFORME FINAL Y AVAL</b>	
<p>Quien suscribe, PhD. YASIEL ARTEAGA CRESPO, portador de la cédula de identidad número: 1757016256, en calidad de Director del trabajo de titulación denominado: “TRATAMIENTO PRE GERMINATIVO CON APLICACIÓN DE TÉCNICAS CON ULTRASONIDO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS”, opción PROYECTO DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN APLICADA Y/O DESARROLLO, a cargo del/la maestrante AVEROS SUÁREZ JOSELYN BRIGGITTE, portador del número de cédula de identidad: 050346679-9, certifico haber acompañado y revisado el documento entregado a mi persona, considero que cumple con los objetivos planteados, los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.</p> <p>Por lo antes expuesto se avala el trabajo de titulación para que sea presentado para la sustentación correspondiente.</p>	

**ELABORADO POR:**

--

PhD. YASIEL ARTEAGA CRESPO

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**FORMATO DP-UT-013C: CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO**

**CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO**

Quien suscribe el presente PhD. Yasiel Arteaga Crespo con CI: 1757016256, certifica que el Proyecto final de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo titulado: “Tratamiento pre germinativo con aplicación de técnicas con ultrasonido: revisión sistemática y metaanálisis” ha sido examinado a través del sistema Antiplagio Ouriginal y presenta un porcentaje de similitud del 5 %.

En el cantón Pastaza, a los 07 días del mes de julio del 2022.

---

PhD. Yasiel Arteaga Crespo  
**DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN**

## Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	cap_1_Perfil_proyecto_de_innovación_ING_AVEROS_SUÁREZ_JOSELYN_BRIGGITTE_0503466799_100%.pdf (D138144665)
<b>Submitted</b>	2022-07-06T21:52:00.0000000
<b>Submitted by</b>	ARTEAGA CRESPO YASIEL
<b>Submitter email</b>	yarteaga@uea.edu.ec
<b>Similarity</b>	5%
<b>Analysis address</b>	yarteaga.uea@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

---

<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Artículo Anita.docx</b> Document Artículo Anita.docx (D126873391) Submitted by: yarteaga@uea.edu.ec Receiver: yarteaga.uea@analysis.orkund.com	 8
<b>W</b>	URL: <a href="https://doi.org/10.1007/S10342-021-01400-0">https://doi.org/10.1007/S10342-021-01400-0</a> Fetched: 2022-05-26T21:54:00.0000000	 2

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Estatal Amazónica, Directivos y Docentes los cuales fomentaron un amplio conocimiento en las diversas áreas de la Maestría en Silvicultura, Mención Manejo y Conservación de Recursos Forestales en Sistemas Agropecuarios.

Mi gratitud hacia el PhD. Yasiel Arteaga Crespo, por confiar con el desarrollo de proyecto de investigación en tiempos de pandemia.

El agradecimiento especial a la persona que, por su fuerza de voluntad, fe y ahínco me ha apoyado incondicionalmente como lo es mi Madre. Y a mi Padre por acompañarme en cada momento de travesía hacia la UEA.

A Dios, aquella fuerza intangible e inagotable que se transforma en la Fe que me brinda para superar los momentos de adversidad y por la oportunidad de vivir momentos alegres e inolvidables junto a mi familia.

## **DEDICATORIA**

A mis padres.

Sra. Irene Margoth Suárez Balseca.,

Sr. Filiberto Ananias Averos García.



## RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

La germinación de semillas es una de las etapas más vitales para el establecimiento exitoso de plantaciones forestales o cultivos agrícolas. El objetivo de la investigación fue analizar el efecto del tratamiento pre germinativo con exposición de semillas a frecuencia de ultrasonido, a partir de la revisión sistemática y metaanálisis. La investigación se realizó utilizando las bases de datos Web of Science y Scopus. Para filtrar las publicaciones se buscó los siguientes criterios: (germinación, semilla, ultrasonido) que estuvieran presentes en el título, resumen y palabras clave en artículos entre los años 2000 - 2021. Se realizó un análisis para cada variable (frecuencia, temperatura y tiempo de sonicación). El tamaño del efecto se calculó a través del logaritmo odds ratio (OR) con un intervalo de confianza (IC) del 95%. Se utilizó el modelo de efectos aleatorios con el método de DerSimonian y Laird. Se presentaron un total de 177 trabajos, de los cuales 33 cumplían todos los criterios de inclusión. El metaanálisis global realizado para cada variable mostró una mejor respuesta al control, lo que evidencia un efecto negativo producido por el tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido, pero se debe considerar que, en el análisis de la frecuencia a través de subgrupos, los estudios con frecuencias de  $\leq 30$  KHz presentaron un efecto significativo a favor del tratamiento. Por lo tanto, se recomienda explorar los tratamientos pre germinativos de las semillas con técnicas de ultrasonido con frecuencias de  $\leq 30$  KHz.

**Palabras clave:** Tamaño del efecto, variable, base de datos.

## **ABSTRACT Y KEY WORD**

Seed germination is one of the most vital stages in the successful establishment of forest plantations or agricultural crops. The purpose of this research was to analyse whether pre-germination treatment of agricultural and forestry seeds with ultrasound techniques has a determined effect on germination by means of systematic review and meta-analysis. The search was performed using the Web of Science and Scopus databases. In order to filter the references, we searched to see if the following criterions: (germination AND seed AND ultrasound) were present in the title, abstract and keywords in the papers between the years 2000 - 2021. An analysis was performed for each variable (frequency, temperature and sonication time). The size of the effect was calculated through the log odds ratio (OR) with a 95% confidence interval (CI). The random-effects model was used with the DerSimonian and Laird method. A total of 177 papers were reported, of which 33 met all the inclusion criteria. The global meta-analysis (MA) performed for each variable showed a better response to the control, which evidences a negative effect produced by the pre-germinative treatment with ultrasound techniques, but it should be considered that in the analysis of the frequency through subgroups, the studies with frequencies of  $\leq 30$  KHz presented a significant effect in favour of the treatment. Therefore, it is recommended to explore pre-germinative seed treatments using ultrasound techniques with frequencies of  $\leq 30$  KHz.

**Keywords:** Size of the effect, variable, database.

## ÍNDICE

<b>CAPITULO I</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
<b>1.2. OBJETIVOS</b> .....	2
<b>1.2.1. Objetivo general</b> .....	2
<b>1.2.2. Objetivos específicos</b> .....	2
<b>CAPÍTULO II</b> .....	3
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	3
<b>2.1. Tratamientos Pre germinativos</b> .....	3
<b>2.2. Técnica de ultrasonido</b> .....	5
<b>2.3. Revisión Sistemática</b> .....	6
<b>2.4. Metaanálisis</b> .....	8
<b>2.5. Norma internacional Preferred Reporting Items for Systematic Meta-</b> <b>analysis (PRISMA)</b> .....	8
<b>CAPÍTULO III</b> .....	12
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	12
<b>3.1. Conjunto de datos</b> .....	12
<b>3.2. Extracción de datos</b> .....	12
<b>3.3. Riesgo de sesgo</b> .....	13
<b>3.4. Análisis de datos</b> .....	13
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	14
<b>4. RESULTADOS</b> .....	14
<b>4.1. Flujo y características de los estudios incluidos</b> .....	14
<b>4.2. Evaluación del riesgo de sesgo</b> .....	18
<b>4.3. Análisis de los resultados en su conjunto</b> .....	20
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	27
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	30
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	31
<b>CAPÍTULO V</b> .....	32
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1	Tipos de tratamientos pre germinativos. ....3
Tabla 2	Lista de verificación PRISMA 2020 para resúmenes estructurados. ....9
Tabla 3	Características del estudio en el metaanálisis. ....17

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1	Diagrama de flujo PRISMA 2020. ....11
Figura 2	Diagrama de flujo de la búsqueda y estudios en el metaanálisis. ....14
Figura 3	Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios en el metaanálisis. ....18
Figura 4	Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido a diferentes frecuencias. ....20
Figura 5	Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido a diferentes temperaturas del agua. ....22
Figura 6	Forest Plot del efecto del tratamiento pregerminativo con técnicas de ultrasonido en diferentes tiempos de sonicación. ....24
Figura 7	Representación gráfica de la heterogeneidad de los estudios en el metaanálisis mediante L'Ábbel Plot (a). Funnel Plot de los estudios en el metaanálisis (b). ....26

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad de las semillas se puede mejorar con tratamientos pre germinativos, aumentando la tasa de germinación de plantaciones forestales o cultivos agrícolas, disminuyendo la etapa de latencia, logrando prevenir y controlar enfermedades antes de la siembra. Los tratamientos de selección de semillas, secado, desinfección con fungicidas, pesticidas, fertilizantes han sido empleado a lo largo del tiempo con la intención de mejorar la capacidad de producción de las especies. Los tratamientos químicos hacia las semillas no aseguran su alta capacidad de germinación y sus residuos procesales conllevan un impacto negativo para el humano y el medio ambiente (Pandiselvam et al. 2020).

Existen nuevos métodos para el tratamiento de semillas. En los últimos años, se ha reportado una amplia variedad de tratamientos físicos, que son ecológicos y respetuosos con el medio ambiente (Wang et al. 2019). Uno de ellos es la técnica de ultrasonido como una forma de aumentar los porcentajes de semillas germinadas, pero no se han reportado estudios con semillas en especies forestales. Esta técnica consiste en colocar las semillas en un dispositivo que las expone a ondas ultrasónicas, donde se puede modificar la frecuencia, temperatura y tiempo de sonicación para cambiar la actividad fisiológica (Chen et al. 2013; Wang et al. 2019). Las ondas ultrasónicas provocan la fragmentación de la capa de la semilla inactiva lo que ayuda a mejorar la hidratación, modificando la estructura de las moléculas enzimáticas promoviendo la catálisis enzimática y acelerando la germinación de las semillas (Liu et al. 2021).

Diferentes autores reportan efectos favorables con la técnica pre germinativa con ondas ultrasónicas, por otro lado, se han encontrado reportes negativos para el tratamiento. Por ende, es difícil conocer el efecto que las técnicas de ultrasonido tienen en la germinación de semillas agrícolas y forestales. Llegando así aplicar una revisión sistemática y un metaanálisis que presentan resultados mediante la combinación y el análisis de datos de los diferentes estudios realizados sobre temas de técnicas con ultrasonido. En los últimos años, se han realizado activamente revisiones sistemáticas y metaanálisis en varios campos, incluyendo la pre germinación de especies. Estos métodos de investigación son herramientas poderosas que pueden superar las dificultades de realizar ensayos controlados aleatorios a gran escala.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El problema de la presente investigación: ¿De qué manera la aplicación del tratamiento pre germinativo por ultrasonido influye en el proceso de germinación y desarrollo vegetativo de las semillas en las investigaciones analizadas sistemáticamente del proyecto?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Analizar el efecto del tratamiento pre germinativo con exposición de semillas a frecuencia de ultrasonido, a partir de la revisión sistemática y metaanálisis.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar artículos publicados en revistas de bases de datos (Scopus y Web of Sciences) que evalúen tratamientos pre germinativos mediante la exposición de semillas a frecuencia de ultrasonido.
- Determinar el riesgo de sesgo mediante de la calidad metodológica de cada uno de los estudios.
- Analizar los resultados en conjunto de los artículos seleccionados.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1. Tratamientos Pre germinativos

En algunas semillas de varias especies se encuentra un bloqueo natural y las plántulas no germinan inmediatamente, por lo consiguiente, los tratamientos pre germinativos disminuyen aquel bloqueo denominado latencia y permiten ablandar, perforar, rasgar o abrir la cubierta para hacerla permeable, sin dañar al embrión ni al endosperma que están en su interior (Solano, 2020). Estos generan un impacto positivo en la germinación como: retrasar la senescencia celular, favorecer la formación de células de la raíz, ayudando al desarrollo de meristemas apicales y translocación de nutrientes.

La adición de productos químicos, hormonas vegetales o hidratación controlada. El uso de ácido giberélico es probablemente el método más eficaz, pero lleva mucho tiempo y es relativamente caro. Otros métodos químicos pueden agregar residuos indeseables al cultivo. La germinación también puede ser estimulada por métodos físicos como tratamientos térmicos, radiación ionizante o al vacío (Yaldagard, M., Mortazavi, SA y Tabatabaie, F.2008). La comunidad científica ha avanzado mucho en la búsqueda de alternativas para ser empleadas como tratamientos pre germinativos de semillas. En los últimos tiempos, se ha reportado una amplia variedad de tratamientos físicos, que son ecológicos y respetuosos con el medio ambiente (Wang et al. 2019; Rifna et al. 2019). Entre ellos se encuentra la aplicación de técnicas de ultrasonido como una forma de aumentar los porcentajes de semillas pre germinadas.

Tabla 1. Tipos de tratamientos pre germinativos

TIPOS	DESCRIPCIÓN
<b>ESCARIFICACIÓN</b>	
Escarificación fría	Consiste en mantener las semillas con una temperatura entre 3-6 °C durante un cierto periodo de tiempo, esto es de 2 a 3 meses o 1 a 2 años (frondosas)
Agua fría	El remojo de la semilla en agua a menos de 40 °C resulta eficiente en provocar la germinación solo en aquellas semillas que ya tienen un tegumento permeable (semillas blandas).

Agua hirviente	Sumergir la semilla en 4-10 veces su volumen de agua hirviente (90 – 100 °C), retirar el calentador, y dejar que las semillas se embeban en el agua que va enfriándose progresivamente, durante 12- 24 horas.
Agua caliente	El agua caliente provoca la germinación hasta un punto crítico que si es superado hace que el porcentaje de germinación final decaiga, la imbibición en agua dentro de los 60 – 90 °C es a menudo tan efectiva como embeberla a 100 °C con temperaturas menores hay riesgos menores de daño.
Escarificación con ácido sulfúrico	Es el método más utilizado para el tratamiento de semillas de acacia, el efecto sobre el tegumento de la semilla es similar al del hervido prolongado y el tegumento queda flojo y perforado superficialmente, esta técnica requiere una cantidad de ácido sulfúrico de grado comercial (42 %).
Escarificación física	Existe en el mercado una cantidad de máquinas comerciales que funcionan según el principio de revolver o aventar las semillas contra una superficie abrasiva dentro de un tambor o mezclador; hay modelos de máquinas que pueden ser portátiles operadas a mano o máquinas más grandes menos transportables que funcionan con un motor eléctrico; en este método no se necesita control de temperatura, es seguro para el operador, las semillas se conservan secas y se puede procesar grandes cantidades.
Uso de microondas	Se trata de una técnica de reciente desarrollo por la cual las semillas se calientan con energía de microondas; grandes cantidades de semilla pueden ser tratadas con tiempos de exposición desde 20 segundos hasta 4 minutos. La técnica tiene un efecto similar al del agua hirviente, pero aquí las semillas se mantienen secas, pero el inconveniente es que se necesitan equipos especiales.
Técnicas con ultrasonido	El ultrasonido es uno de los métodos más nuevos para romper la latencia en las semillas. Las ondas ultrasónicas provocan la fragmentación de la capa de la semilla inactiva. En esta técnica se controlan las características de la temperatura del agua (°C), tiempo de sonicación (minutos), frecuencia ultrasónica (KHz).
<b>HORMONAS Y OTROS ESTIMULANTES QUÍMICOS</b>	
Nitrato de potasio	El nitrato de potasio actúa como promotor de crecimiento y estimula a la germinación con el fin de romper la latencia en semillas de diversas especies en etapas tempranas de crecimiento y, debido a su aporte de



	nitrógeno en forma nítrica no retenida por el suelo con un reparto muy homogéneo.
Hormonas reguladoras del crecimiento	Las hormonas vegetales se producen naturalmente en los tejidos en crecimiento, específicamente en los meristemas del extremo de los tallos y raíces: auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico.
Bioestimulantes	Promueven, activan y aceleran la germinación de las diferentes especies de semillas y regulan el estrés por salinidad. Se puede realizar en vía semillas, hojas, suelo o incluir la combinación vía semilla y hoja para obtener mejores resultados que se asemejan a las principales hormonas vegetales

## 2.2. Técnica de ultrasonido

La tecnología de ultrasonido se puede utilizar para mejorar el proceso de germinación. Se ha informado que los tratamientos con ultrasonido estimulan la germinación en diferentes tipos de plantas, como híbridos y gramíneas. Este tratamiento ha sido utilizado para la mejora de procesos pre germinativos en semillas que han sido almacenadas por un largo periodo de tiempo, sin demostrar ningún efecto negativo en el desarrollo de las plántulas, todo esto a causa del efecto del ultrasonido en la apertura de los poros de la cubierta de la semilla, llegando a ser una ayuda en la recuperación de semillas almacenadas (López I., Vicient C. 2017).

El ultrasonido es una nueva técnica física que involucra el uso de frecuencias de sonido en el rango inaudible (20–100 kHz o más) para la interacción con los materiales y semillas. El ultrasonido puede cambiar el estado de la sustancia e incluso acelerar las reacciones que presentan las paredes celulares duras que en algunas plantas impide la penetración de agua y oxígeno en las células y reduce su potencial de germinación. Las ventajas de la técnica de ultrasonido son que es simple y respetuosa con el medio ambiente (Babaei et al. 2020).

La modificación ultrasónica del endospermo, como la degradación del almidón por sonicación, aumenta la velocidad de las reacciones de hidrólisis catalizadas por enzimas y dentro de las semillas. El aumento de la actividad enzimática y la hidrólisis acelera la germinación y el crecimiento embrionario como resultado del tratamiento ultrasónico. La metodología usada en los tratamientos pre germinativa con ultrasonido describe el tiempo de sonicación, frecuencia de ultrasonido (KHz), temperatura del agua (°C), tamaño de muestra entre otras variables.

### **2.3. Revisión Sistemática**

Una revisión sistemática es un artículo de síntesis de la evidencia disponible, en el que se elabora una revisión de aspectos cuantitativos y cualitativos de estudios primarios, con el objetivo de resumir la información existente sobre un tema en particular. Una vez recopilados los artículos de interés, los investigadores los analizan y comparan la evidencia que aportan con la de otros estudios similares. Las razones que justifican la realización de una revisión sistemática son: cuando existe incertidumbre sobre el efecto de una intervención debido a evidencias contradictorias sobre su utilidad real; cuando se desea conocer la magnitud del efecto de una intervención; y, cuando se desee analizar el comportamiento de una intervención en subgrupos de sujetos o muestras (Manterola et al., 2013).

Al ser investigaciones científicas en las que la unidad de análisis son los estudios primarios originales, llegan a ser una herramienta fundamental para sintetizar la información científica disponible, aumentando la validez de las conclusiones de los estudios individuales e identificando áreas de incertidumbre donde se necesita investigación. Sin embargo, realizar una revisión sistemática de alta calidad no es una tarea sencilla, ni tampoco su interpretación ya que, las revisiones sistemáticas reúnen de una manera metódica toda la evidencia disponible con unos criterios de elegibilidad establecidos, con el objetivo claro de responder a una pregunta específica; sus métodos son explícitos (Ferreira González et al., 2011).

La revisión sistemática es un proceso desarrollado para identificar el núcleo de una revisión bibliográfica de interés para la práctica, buscando y extrayendo lo más relevante según criterios que han sido evaluados y respetados por otros. En concreto, es una investigación en sí misma, con métodos planificados de antemano y con un conjunto de los estudios originales considerados como sus temas. Las revisiones sistemáticas sintetizan los resultados de múltiples investigaciones primarias utilizando estrategias para reducir el sesgo y los errores de azar (Urra & Barría, 2010).

Las revisiones sistemáticas son una forma de investigación que compila y proporciona un resumen sobre un tema específico destinado a responder una pregunta de investigación; deben realizarse de acuerdo con un diseño preestablecido. Hay dos tipos de revisiones sistemáticas (cualitativas o cuantitativas/metaanálisis). Las revisiones cualitativas presentan la evidencia en forma "descriptiva" y sin análisis estadístico, también conocidas como revisiones sistemáticas (revisiones sistemáticas sin metaanálisis). Las revisiones cuantitativas también pueden presentar la evidencia en forma descriptiva, pero la principal

diferencia frente a la revisión cualitativa radica principalmente en el uso de técnicas estadísticas para combinar "numéricamente" los resultados con un estimador puntual, también llamado "metaanálisis" (Aguilera, 2014).

Se ha llegado a confundir las revisiones sistemáticas con los metaanálisis, sin embargo, se debe aclarar que el metaanálisis consiste en la aplicación de métodos estadísticos para resumir los efectos de las investigaciones.

Los principales objetivos que se buscan en una revisión sistemática, pueden ser resumidos en (Manchado Garabito et al., 2009):

- Evaluar la calidad y metodología empleadas en las investigaciones realizadas en una determinada área de conocimiento.
- Sintetizar la evidencia científica.
- Servir de utilidad en la toma de decisiones.

En cuanto a las fortalezas de una revisión sistemática, se puede mencionar que es un diseño de investigación eficiente. Permite incrementar la potencia y precisión de la estimación, así como la consistencia y generalización de los resultados; y también hacer una evaluación estricta de la información publicada. Al combinar información de varios estudios primarios o individuales, permite analizar la consistencia de los resultados. La mayoría de los estudios primarios tienden a ser pequeños en términos de tamaño de muestra. Por lo tanto, un efecto similar en diferentes entornos, con diferentes criterios de inclusión y exclusión para los sujetos en estudio, puede darnos una idea de cuán robustos y transferibles son los resultados de una revisión sistemática a otros entornos (Manterola et al., 2013).

La rigurosidad del método utilizado como guía para realizar la revisión sistemática tiene como objetivo evitar la subjetividad en dicha exploración y facilitar una posible replicación de cualquiera de los estudios en caso de que sea del interés del investigador. Un aspecto metodológico a tener en cuenta es si la revisión a realizar se basa en estudios que analizan exclusivamente información cuantitativa, cualitativa o mixta para poder realizar los análisis correspondientes. Debe haber certeza de que no se ha realizado ya una revisión como la que pretendes realizar, y de ser así marcar su diferencia con la otra, ya sea por la ventana de observación tomada (el rango de años de publicaciones), las bases de datos consultadas, el idioma, o incluso el tipo de análisis realizado. Se deben identificar palabras o conceptos clave para realizar la exploración en el área de interés. Al identificar palabras clave, teniendo

en cuenta los sinónimos y el idioma; hacer uso de español e inglés. Se deben establecer criterios de inclusión y exclusión para hacer el filtrado de los estudios más conveniente (Páramo, 2020).

#### **2.4. Metaanálisis**

Un metaanálisis es un método válido, objetivo y científico para analizar y combinar diferentes resultados. Habitualmente, para obtener resultados más fiables, se realiza principalmente un metaanálisis de ensayos controlados aleatorios que tienen un alto nivel de evidencia, siendo así, un tipo de investigación científica cuyo propósito es integrar objetiva y sistemáticamente los resultados de estudios empíricos sobre un determinado problema de investigación con el fin de determinar el estado del arte en ese campo de estudio. Para lograr este objetivo, la realización de un metaanálisis requiere una serie de etapas similares a las de cualquier investigación empírica: formulación del problema; definición de los criterios de inclusión y búsqueda de los estudios; codificación de las características de los estudios que puedan moderar los resultados; cálculo del tamaño del efecto; técnicas de análisis e interpretación estadísticas; y publicación del metaanálisis (Sánchez, 2010).

Si en una revisión sistemática se obtiene un índice cuantitativo de la magnitud del efecto que cada estudio que está investigando y se aplican técnicas de análisis estadístico para integrar dichos efectos, entonces la revisión sistemática se denomina metaanálisis. Así pues, podemos definir el metaanálisis como “el análisis estadístico de una gran colección de resultados de trabajos individuales con el propósito de integrar los hallazgos obtenidos”, o también como “la síntesis estadística de los datos de estudios diferentes pero similares, es decir, estudios comparables, que proporciona un resumen numérico de los resultados globales” (Sánchez, 2010).

#### **2.5. Norma internacional Preferred Reporting Items for Systematic Meta-analysis (PRISMA)**

Las revisiones sistemáticas con metaanálisis permiten estudiar la eficacia y la seguridad de un tratamiento respecto a otro con un elevado nivel de calidad y rigor científico para así ayudar en la toma de decisiones. Sin embargo, en ocasiones la presentación y la descripción de algunas revisiones sistemáticas y metaanálisis siguen sin ser del todo claras o sigue faltando información importante, fundamentalmente en los apartados de métodos y resultados, por lo que se han llevado a cabo importantes iniciativas para mejorar la

transparencia, la calidad y la consistencia de la información metodológica y los resultados presentados en las revisiones sistemáticas y metaanálisis, entre ellas, destaca la publicación en 1999 de la declaración Quality of Reporting of Meta-analyses (QUOROM) y su posterior revisión y ampliación en la declaración Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Hutton B., 2016).

La norma PRISMA es una guía de publicación de la investigación diseñada para mejorar la integridad del informe de revisiones sistemáticas y metaanálisis. Desde su publicación en 2009, se ha utilizado la declaración PRISMA para planificar, preparar y publicar revisiones sistemáticas y metaanálisis.

Tabla 2. Lista de verificación PRISMA 2020 para resúmenes estructurados

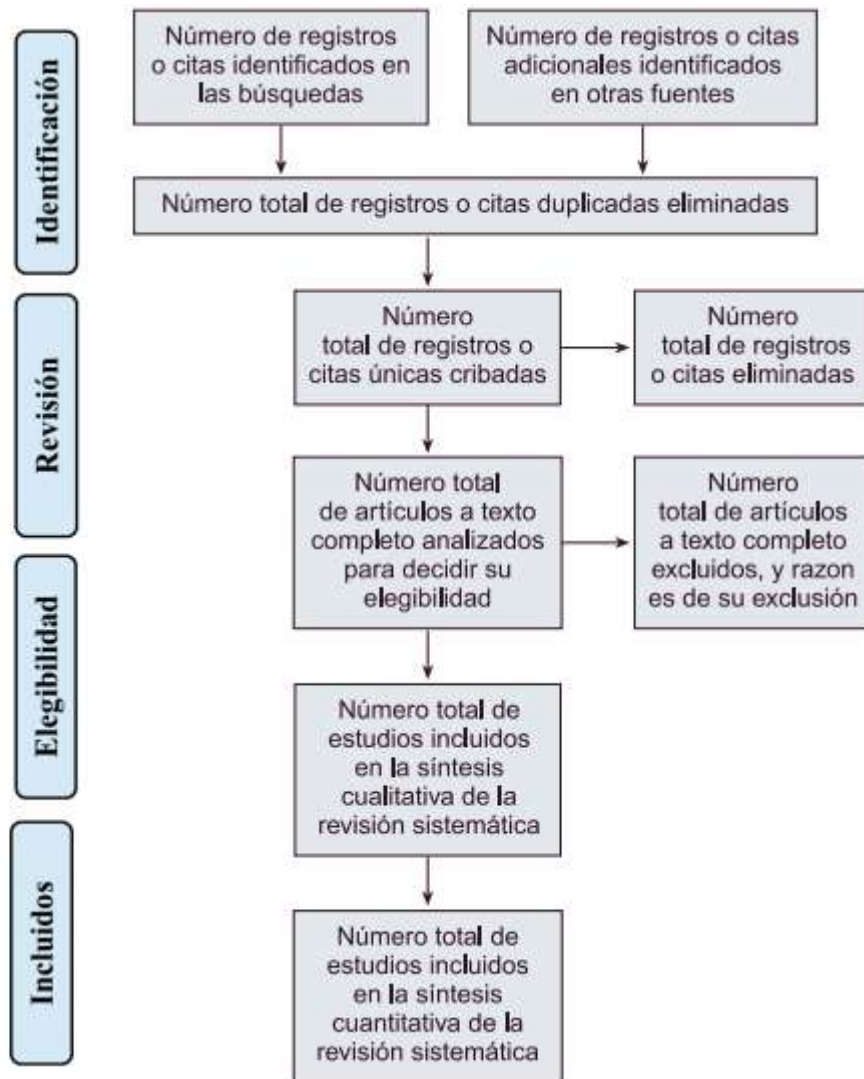
<b>Sección/tema</b>	<b>Ítem n°</b>	<b>Ítem de la lista de verificación</b>
<b>Título</b>		
Título	1	Identifique el informe o publicación como una revisión sistemática.
<b>ANTECEDENTES</b>		
Objetivos	2	Proporcione una declaración explícita de los principales objetivos o preguntas que aborda la revisión.
<b>MÉTODOS</b>		
Criterios de elegibilidad	3	Especifique los criterios de inclusión y exclusión de la revisión.
Fuentes de información	4	Especifique las fuentes de información (por ejemplo, bases de datos, registros) utilizadas para identificar los estudios y la fecha de la última búsqueda en cada una de estas fuentes.
Riesgo de sesgo de los estudios individuales	5	Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos.
Síntesis de los resultados	6	Especifique los métodos utilizados para presentar y sintetizar los resultados.
<b>RESULTADOS</b>		
Estudios incluidos	7	Proporcione el número total de estudios incluidos y de participantes y resuma las características relevantes de los estudios.
Síntesis de los resultados	8	Presente los resultados de los desenlaces principales e indique, preferiblemente, el número de estudios incluidos y los participantes en cada uno de ellos. Si se ha realizado un metaanálisis, indique el estimador de resumen y el intervalo de confianza o de credibilidad.

		Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto (por ejemplo, qué grupo se ha visto favorecido).
<b>DISCUSIÓN</b>		
Limitaciones de la evidencia	9	Proporcione un breve resumen de las limitaciones de la evidencia incluida en la revisión (por ejemplo, riesgo de sesgo, inconsistencia –heterogeneidad– e imprecisión).
Interpretación	10	Proporcione una interpretación general de los resultados y sus implicaciones importantes.
<b>OTROS</b>		
Financiación	11	Especifique la fuente principal de financiación de la revisión.
Registro	12	Proporcione el nombre y el número de registro.

Fuente: Declaración PRISMA 2020

Figura 1.

Diagrama de flujo PRISMA 2020



Fuente: Declaración PRISMA 2020

Nota. Diagrama de flujo de información a través de las diferentes fases de la revisión sistemática.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Conjunto de datos

La revisión sistemática y el metaanálisis se desarrollaron siguiendo las directrices del estándar internacional Preferred Reporting Items for Systematic Meta-analyses (PRISMA) (Urrutia y Bonfill 2010). El metaanálisis es una técnica eficaz para analizar diferentes estudios e intervenciones que revelan un único resultado común (Leandro 2007; Jak 2015). La búsqueda electrónica, finalizada el 13 de junio de 2021, se realizó utilizando las bases de datos Web of Science ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)) y Scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)). Para filtrar las referencias, se comprobó si las siguientes expresiones: (germinación, semilla y ultrasonido) estaban presentes en el título, el resumen y las palabras clave de los artículos entre 2000 - 2021 (Matuoka et al. 2020; Ureta-Leones et al. 2021). No se excluyó ninguna familia botánica y no hubo restricción de idioma. Se realizó un proceso de filtrado para eliminar trabajos y artículos duplicados y no relacionados con el objetivo de la revisión sistemática. Se revisaron los artículos considerados y se definieron los criterios de selección para ser incluidos en el análisis estadístico. Las condiciones para que un estudio (artículo) fuera incluido fueron: muestra mayor o igual a 20 semillas con tres o más réplicas; exposición de las semillas a ondas ultrasónicas; y porcentaje de germinación (Ureta-Leones et al. 2021).

#### 3.2. Extracción de datos

Se realizó una revisión por pares de cada estudio incluido en la investigación y se resumieron los siguientes elementos: autor y año de la publicación, intensidad de la exposición a las ondas ultrasónicas (KHz), tiempo de sonicación, temperatura del agua, nombre de la especie, tamaño de la muestra y se consideró la media relativa del porcentaje de germinación con respecto al control y al tratamiento donde se reflejó el mejor efecto. En base a esto, se obtuvo el número de semillas germinadas y no germinadas. En los casos en que los valores se presentaron gráficamente, se extrajeron utilizando OriginPro 2020 (Ureta-Leones et al. 2021).



### **3.3. Riesgo de sesgo**

Para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios individuales, se siguieron las directrices de Ureta-Leones et al. (2021) con adaptaciones. En el proceso metodológico se consideraron la uniformidad de las semillas; la esterilización de las semillas; la germinación de las semillas en condiciones controladas; y la claridad metodológica (frecuencia, temperatura del agua y tiempo de sonicación). La evaluación se realizó con el programa informático Review Manager 5.4. Los resultados se presentaron gráficamente, en los que el color verde significa que se cumplía el criterio (bajo riesgo de sesgo), mientras que el rojo significaba lo contrario (alto riesgo de sesgo).

### **3.4. Análisis de datos**

Se realizó con el software STATA 16 MP. El tamaño del efecto se calculó y declaró mediante una comparación de resultados binarios aplicando el log OR (Odd ratio) con un intervalo de confianza del 95%. Se utilizó el modelo de efectos aleatorios con el método de DerSimonian y Laird, recomendado para análisis que presentan variaciones entre estudios (García-Perdomo 2015). Se realizó un análisis para cada variable (frecuencia, temperatura y tiempo de sonicación). Para el primer análisis, se definieron dos subgrupos en función de la frecuencia de las ondas ultrasónicas que recibieron las semillas ( $\leq 30$  KHz y  $> 30$  KHz); En el segundo análisis, se definieron tres subgrupos en función de la temperatura del agua (temperatura ambiente,  $\leq 25$  °C y  $> 25$  °C), y en el tercer análisis, se definieron tres subgrupos en función del tiempo de sonicación que recibieron las semillas ( $\leq 5$ , 6 - 10 y  $> 10$  minutos). A través del Forest Plot, se determinó el tamaño del efecto dentro de los estudios, la Q de Cochran con  $p > 0,05$  y la heterogeneidad mediante el test I<sup>2</sup> que describe el porcentaje de variación entre estudios (Higgins et al. 2003). Los niveles de heterogeneidad insignificante, baja, moderada y alta corresponden a valores de I<sup>2</sup> de hasta el 25%, 25-50%, 51-75% y superiores al 75% respectivamente. Además, la heterogeneidad de los estudios se representó gráficamente con el L'Abbé Plot (Song 1999). El sesgo de publicación también se evaluó mediante el Funnel Plot (Duval y Tweedie 2000).

# CAPÍTULO IV

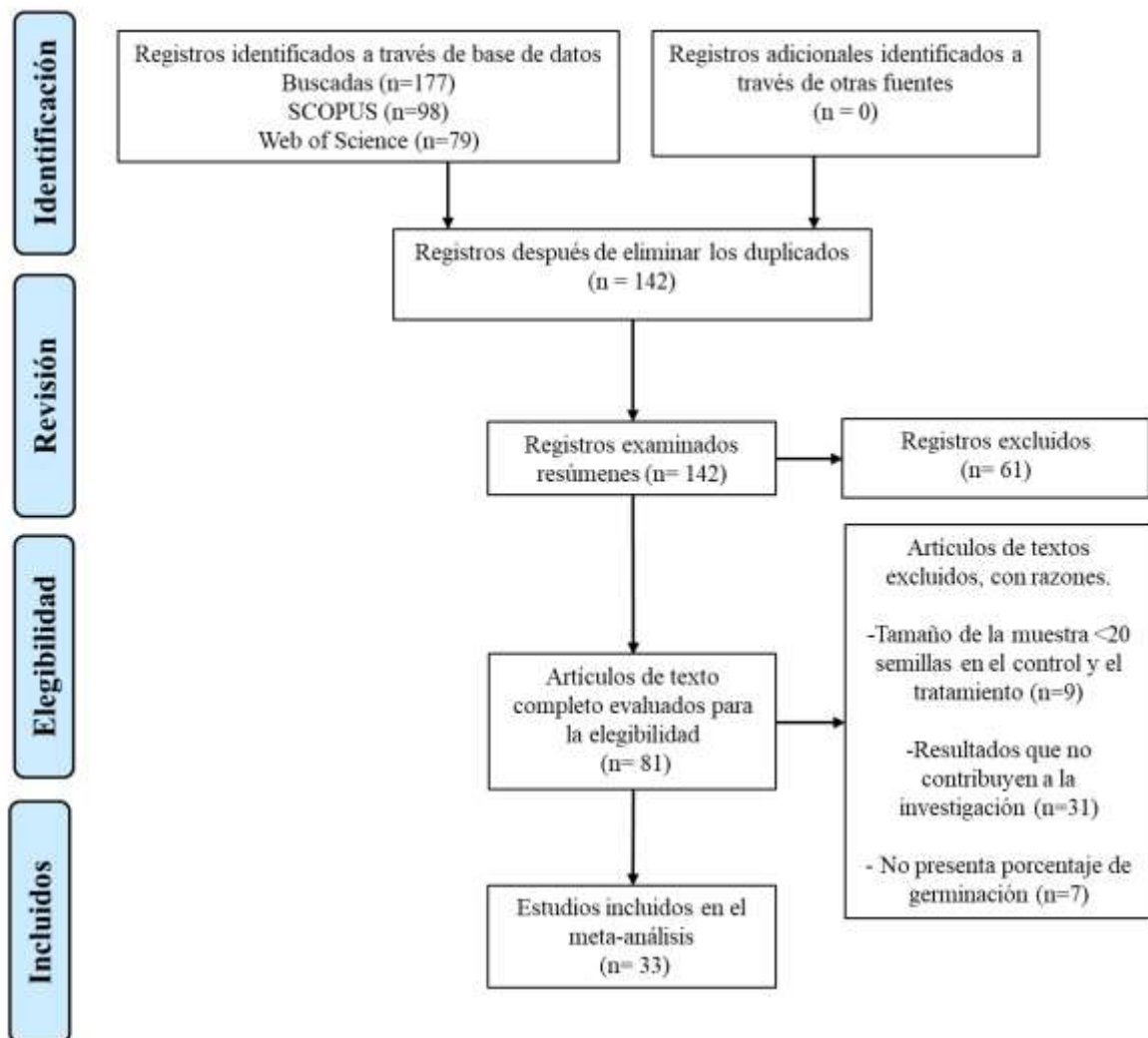
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Flujo y características de los estudios incluidos

Se presentaron un total de 177 artículos, de los cuales 79 eran de la base de datos Web of Science y 98 de Scopus. Se encontraron 33 artículos originales que cumplían todos los criterios de elegibilidad para la revisión sistemática y el metaanálisis. Todos estos estudios evaluaron el efecto del tratamiento de las semillas con diferentes técnicas de ultrasonido antes de la germinación. Se excluyeron 144 artículos porque no cumplían los criterios de inclusión (Figura 2).

Figura 2

Diagrama de flujo de la búsqueda y estudios en el metaanálisis.



Nota. La figura muestra el flujo en la selección de los estudios incluidos en el metaanálisis.

Hubo 53 unidades de estudios, porque varios artículos presentaron más de una, como fue, Chiu (2015) presentó nueve; Goussous et al. (2010) cuatro; Andriamparany y Buerkert (2019), Chiu y Sung (2014) y Sharififar et al. (2015) informaron de tres estudios; y Kim et al. (2006), Liu et al. (2016), Rao et al. (2019) y Chiu (2021) informaron de dos.

Los estudios correspondieron a 14 familias botánicas, 34 especies y nueve variedades. La familia Fabaceae tuvo el mayor número de estudios reportados (22), en los que se evaluaron semillas de las siguientes especies: *Phaseolus vulgaris* (Lahijanian y Nazari 2017; Miano y Duarte 2018; Miano et al. 2019; Ampofo y Ngadi 2020), *Medicago sativa* (Kim et al. 2006; Chiu 2015), *Pisum sativum* (Chiu 2015; Yang et al. 2018), *Pisum sativum* var. Taichung 11, 13 y 15 (Chiu y Sung 2014), *Glycine max* (Chiu 2015; Yang et al. 2015), *Vigna angularis* (Chiu 2015), *Vigna angularis* var. Kaohsiung 8, 10 (Chiu 2021), *Cicer arietinum* (Goussous et al. 2010), *Medicago scutellata* (Nazari et al. 2015), *Senna multijuga* (Venâncio y Martins 2019), *Vigna radiate* (Chiu 2015) y *Arachis hypogaea* (Chiu 2015).

Para la familia Poaceae, se reportaron diez estudios, correspondientes a las especies *Hordeum vulgare* (Yaldagard et al. 2008a; Miano et al. 2015; Pour et al. 2016), *Triticum aestivum* (Goussous et al. 2010; Chen et al. 2013; Trakselyte et al. 2021), *Triticum* sp. (Guimarães et al. 2020), *Oryza sativa* (Xia et al. 2020), *Festuca arundinacea* (Liu et al. 2016) y *Psathyrostachys juncea* (Liu et al. 2016). En la familia Brassicaceae, se reportaron siete estudios, pertenecientes a las especies *Brassica oleracea* (Kim et al. 2006), *Brassica oleracea* var. Capitata y *Botrytis* (Chiu 2015), *Brassica napus* cv. Youyanzao18 y *Brassica napus* cv. Zaoshu104 (Rao et al. 2019), *Raphanus sativus* (Chiu 2015) y *Arabidopsis thaliana* (López y Vicient 2017).

Para la familia Dioscoreaceae, tres estudios investigaron las especies *Dioscorea alatispes*, *Dioscorea nako* y *Dioscorea fandra* (Andriamparany y Buerkert 2019). Las familias analizadas por dos estudios fueron Capparaceae con la especie *Capparis spinosa* (Rinaldelli 2000; Pascual et al. 2004); y Orchidaceae con las especies *Calanthe tricarinata* (Lee et al. 2007) y *Paphiopedilum* sp. (Fu et al. 2016).

Las familias reportadas por un solo estudio fueron las siguientes: Chenopodiaceae con la especie *Chenopodium album* (Babaei et al. 2020), Cucurbitaceae con *Citrullus vulgaris* (Goussous et al. 2010), Amaranthaceae con *Atriplex lentiformis* (Sharififar et al. 2015), Apiaceae con *Cuminum cyminum* (Sharififar et al. 2015), Lamiaceae con *Mentha piperita* (Singureanu et al. 2015), Pedaliaceae con *Sesamum indicum* (Shekari et al. 2015),

Solanaceae con *Capsium annuum* (Goussous et al. 2010) y Zygophyllaceae con *Zygophyllum eurypterum* (Sharififar et al. 2015) (Tabla 3).

Tabla 3. Características del estudio en el metaanálisis

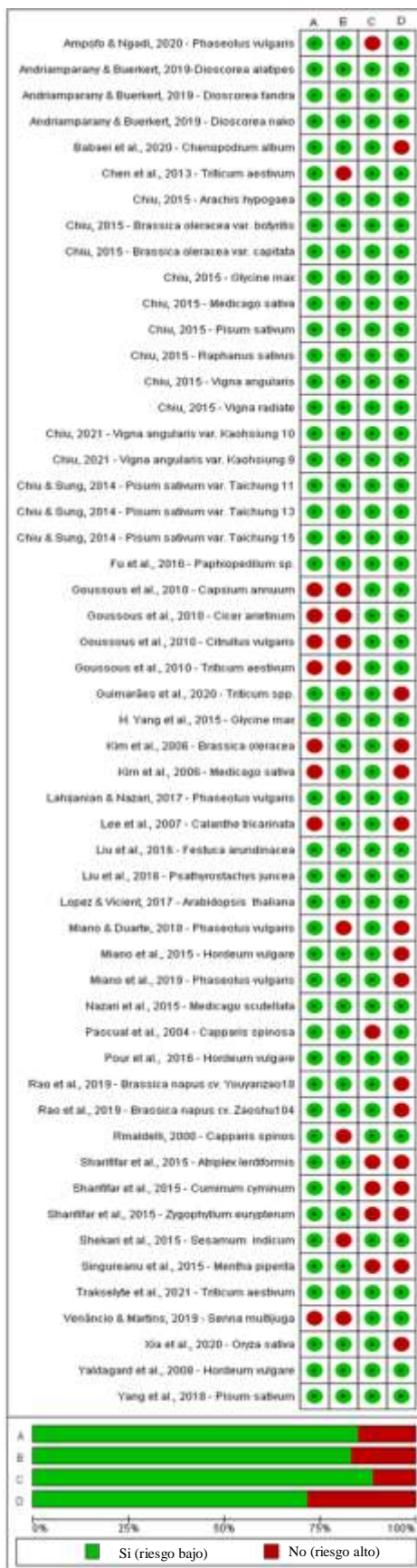
No	Estudio	Especies	Familia botánica	Descripción del tratamiento			Tamaño de la muestra	Tratamiento		Control	
				Frecuencia ultrasónicos (KHz)	Tiempo de sonicación (min)	Temperatura del agua (°C)		Semillas germinadas	Semillas no germinadas	Semillas germinadas	Semillas no germinadas
1	Rinaldelli, 2000	<i>Capparis spinosa</i>	Capparaceae	1700	10	25	40	16	24	12	28
2	Pascual et al., 2004	<i>Capparis spinosa</i>	Capparaceae	40	30	Ambiente	100	72	28	48	52
3	Kim et al., 2006	<i>Medicago sativa</i>	Fabaceae	20	2	-	100	97	3	85	15
4	Kim et al., 2006	<i>Brassica oleracea</i>	Brassicaceae	40	20	-	100	99	1	99	1
5	Lee et al., 2007	<i>Calanthe tricarinata</i>	Orchidaceae	40	45	-	100	35	65	0	100
6	Yaldagard et al., 2008	<i>Hordeum vulgare</i>	Poaceae	20	15	30	30	30	0	28	2
7	Goussous et al., 2010	<i>Cicer arietinum</i>	Fabaceae	40	60	25	60	58	2	37	23
8	Goussous et al., 2010	<i>Triticum aestivum</i>	Poaceae	40	5	25	60	60	0	59	1
9	Goussous et al., 2010	<i>Capsium annuum</i>	Solanaceae	40	5	25	60	40	20	43	17
10	Goussous et al., 2010	<i>Citrullus vulgaris</i>	Cucurbitaceae	40	5	25	60	60	0	59	1
11	Chen et al., 2013	<i>Triticum aestivum</i>	Poaceae	45	10	25	500	330	170	189	311
12	Chiu & Sung, 2014	<i>Pisum sativum var. Taichung 11</i>	Fabaceae	40	1	25	50	49	1	43	7
13	Chiu & Sung, 2014	<i>Pisum sativum var. Taichung 13</i>	Fabaceae	40	1	25	50	48	2	41	9
14	Chiu & Sung, 2014	<i>Pisum sativum var. Taichung 15</i>	Fabaceae	40	1	25	50	48	2	41	9
15	Singureanu et al., 2015	<i>Mentha piperita</i>	Lamiaceae	20	-	-	100	65	35	47	53
16	Miano et al., 2015	<i>Hordeum vulgare</i>	Poaceae	20	-	-	50	47	4	45	6
17	Nazari et al., 2015	<i>Medicago scutellata</i>	Fabaceae	42	7	25	20	19	1	7	13
18	Chiu, 2015	<i>Medicago sativa</i>	Fabaceae	40	1	25	50	50	0	47	3
19	Chiu, 2015	<i>Vigna radiate</i>	Fabaceae	40	1	25	50	48	2	49	1
20	Chiu, 2015	<i>Vigna angularis</i>	Fabaceae	40	1	25	50	47	3	17	33
21	Chiu, 2015	<i>Pisum sativum</i>	Fabaceae	40	1	25	50	48	2	41	9
22	Chiu, 2015	<i>Glycine max</i>	Fabaceae	40	1	25	50	50	0	39	11
23	Chiu, 2015	<i>Arachis hypogaea</i>	Fabaceae	40	1	25	50	50	0	42	8
24	Chiu, 2015	<i>Raphanus sativus</i>	Brassicaceae	40	1	25	50	50	0	50	0
25	Chiu, 2015	<i>Brassica oleracea var. capitata</i>	Brassicaceae	40	1	25	50	29	21	15	35
26	Chiu, 2015	<i>Brassica oleracea var. botrytis</i>	Brassicaceae	40	1	25	50	49	1	40	10
27	Sharififar et al., 2015	<i>Atriplex lentiformis</i>	Amaranthaceae	42	5	-	20	14	6	8	12
28	Sharififar et al., 2015	<i>Cuminum cyminum</i>	Apiaceae	42	7	-	20	16	4	9	11
29	Sharififar et al., 2015	<i>Zygophyllum eurypterum</i>	Zygophyllaceae	42	5	-	20	15	5	8	12
30	Shekari et al., 2015	<i>Sesamum indicum</i>	Pedaliaceae	20	10	25	50	42	8	41	9
31	H. Yang et al., 2015	<i>Glycine max</i>	Fabaceae	40	30	25	100	98	2	83	17
32	Pour et al., 2016	<i>Hordeum vulgare</i>	Poaceae	42	15	25	30	30	0	27	3
33	Fu et al., 2016	<i>Paphiopedilum sp.</i>	Orchidaceae	40	8	Ambiente	300	162	138	92	208
34	Liu et al., 2016	<i>Festuca arundinacea</i>	Poaceae	40	15	25	50	39	11	7	43
35	Liu et al., 2016	<i>Psathyrostachys juncea</i>	Poaceae	40	15	45	50	45	5	3	47
36	Lahijanjan & Nazari, 2017	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Fabaceae	42	10	30	20	20	0	20	0
37	López & Vicient, 2017	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Brassicaceae	45	1	24	30	26	4	26	4
38	Miano & Duarte, 2018	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Fabaceae	25	-	25	48	23	25	46	2
39	Yang et al., 2018	<i>Pisum sativum</i>	Fabaceae	28	10	30	50	50	0	48	2
40	Andriamparany & Buerkert, 2019	<i>Dioscorea alatispes</i>	Dioscoreaceae	47	10	25	20	14	6	3	17
41	Andriamparany & Buerkert, 2019	<i>Dioscorea nako</i>	Dioscoreaceae	47	20	25	20	18	2	19	1
42	Andriamparany & Buerkert, 2019	<i>Dioscorea fandra</i>	Dioscoreaceae	47	10	25	20	18	2	17	3
43	Venâncio & Martins, 2019	<i>Senna multijuga</i>	Fabaceae	42	4	Ambiente	35	24	11	7	28
44	Miano et al., 2019	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Fabaceae	25	-	25	48	0	48	8	40
45	Rao et al., 2019	<i>Brassica napus cv. Youyanzao18</i>	Brassicaceae	20	1	-	30	30	0	29	1
46	Rao et al., 2019	<i>Brassica napus cv. Zaoshu104</i>	Brassicaceae	20	1	-	30	29	1	27	3
47	Xia et al., 2020	<i>Oryza sativa</i>	Poaceae	28	5	-	100	71	29	64	36
48	Babaei et al., 2020	<i>Chenopodium album</i>	Chenopodiaceae	35	15	-	50	42	8	15	35
49	Guimarães et al., 2020	<i>Triticum spp.</i>	Poaceae	25	-	15	50	41	9	43	7
50	Ampofo & Ngadi, 2020	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Fabaceae	40	60	25	48	48	0	22	26
51	Chiu, 2021	<i>Vigna angularis var. Kaohsiung 8</i>	Fabaceae	40	10	25	50	49	1	33	17
52	Chiu, 2021	<i>Vigna angularis var. Kaohsiung 10</i>	Fabaceae	40	10	25	50	47	3	17	33
53	Trakselyte et al., 2021	<i>Triticum aestivum</i>	Poaceae	37	15	50	100	96	4	85	15

#### **4.2. Evaluación del riesgo de sesgo**

La evaluación del riesgo de sesgo de los aspectos cualitativos del proceso metodológico para los estudios individuales con bajo riesgo se marca de color verde y los estudios con alto nivel de riesgo de sesgo de color rojo (Figura 3). Donde se indica que el 84,90% de los estudios informó de la uniformidad de las semillas (sin defectos, malformaciones o daños por insectos), mientras que el 15,10% restante no lo especificó. En cuanto a la esterilización de las semillas, el 83,02% de los estudios indicaron que se había realizado, mientras que el 16,98% no informaron de ello. En cuanto a la germinación de las semillas, el 88,68% de los estudios indicaron que se llevó a cabo en condiciones controladas (temperatura, humedad y fotoperiodo), mientras que en el 11,32% la germinación se realizó en condiciones ambientales. En cuanto a la claridad metodológica de la aplicación de técnicas de ultrasonidos como tratamientos pre germinativos (frecuencia, temperatura del agua y tiempo de sonicación), el 71,70% describió los valores utilizados para cada uno de los aspectos, mientras que el 28,30% no especificó al menos uno de ellos. En general, la evaluación del riesgo de sesgo mostró que el 52,83% de los estudios cumplía todos los criterios evaluados, mientras que el 47,17% no cumplía al menos uno de ellos.

Figura 3.

Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios en el metaanálisis



Nota: A: Uniformidad de las semillas; B: Esterilización de las semillas; C: Germinación de las semillas en condiciones controladas; D: Claridad metodológica.

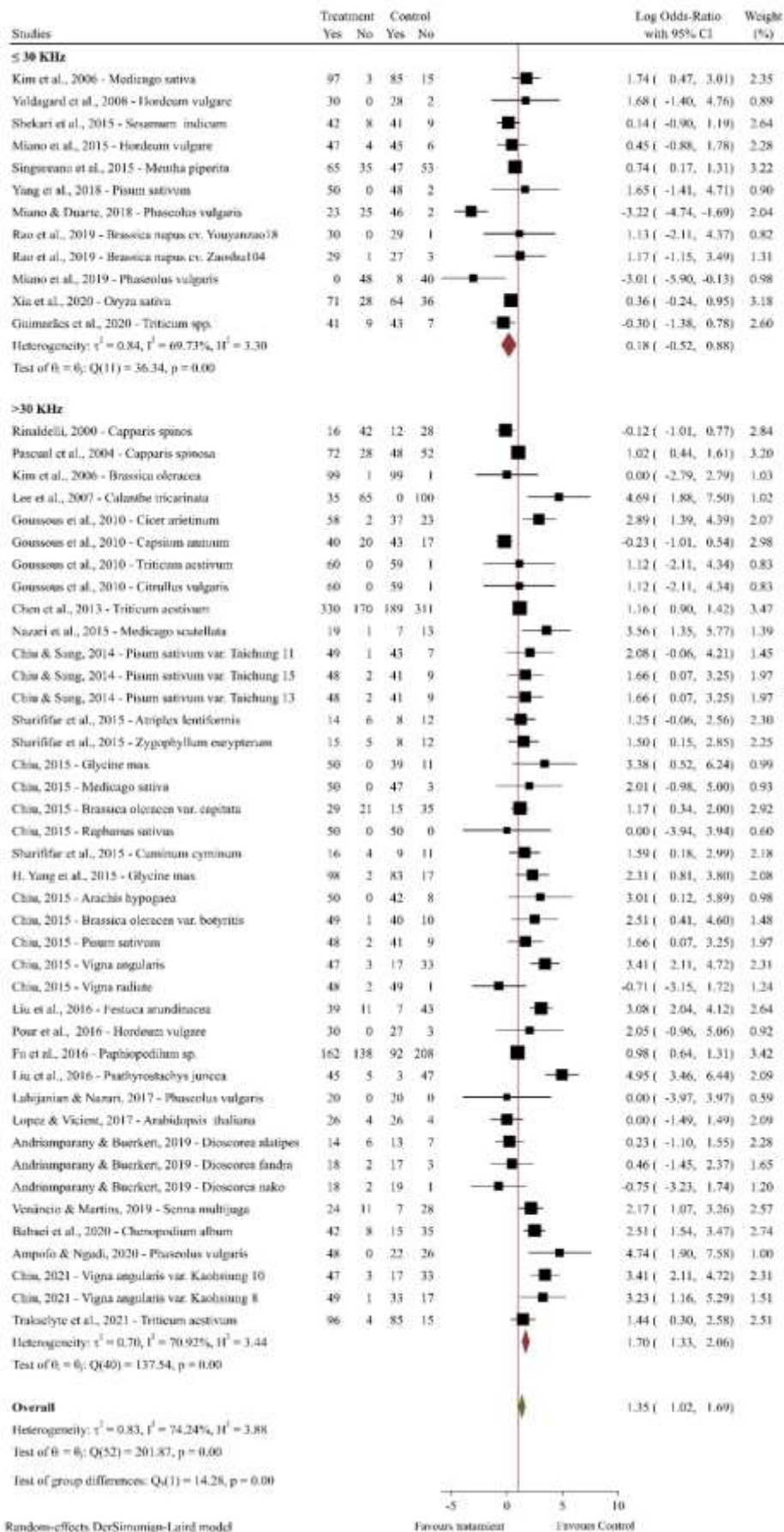
### 4.3. Análisis de los resultados en su conjunto

Según los resultados del Forest Plot, de acuerdo con las frecuencias de ultrasonido utilizadas como tratamiento pre germinativo de las semillas (Figura 4), el primer subgrupo presentó un total de 12 estudios correspondientes a frecuencias de  $\leq 30$  KHz, que mostraron una OR de 0,18 y un IC de (-0,52, 0,88),  $Q(11) = 36,34$ ,  $p = 0,00$ , y un valor de la prueba I<sup>2</sup> de 69,73%, lo que corresponde a una heterogeneidad moderada. Mientras tanto, el segundo subgrupo presentó un total de 41 estudios con frecuencias de  $>30$  KHz, incluyendo una OR de 1,70 y un IC de (1,33, 2,06),  $Q(40) = 137,54$ ,  $p = 0,00$  y un valor de la prueba I<sup>2</sup> del 70,92%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. El metaanálisis global examinó los 53 estudios y dio como resultado una OR de 1,35 e IC de (1,02, 1,69),  $Q(52) = 201,87$ ,  $p = 0,00$  y un valor de prueba I<sup>2</sup> de 74,24%, lo que corresponde a una heterogeneidad moderada. El tamaño específico del tamaño del efecto para el grupo general tuvo una diferencia significativa ( $Q_b = (1) = 14,28$ ,  $p = 0,00$ ).

Figura 4.

Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido a diferentes frecuencias.





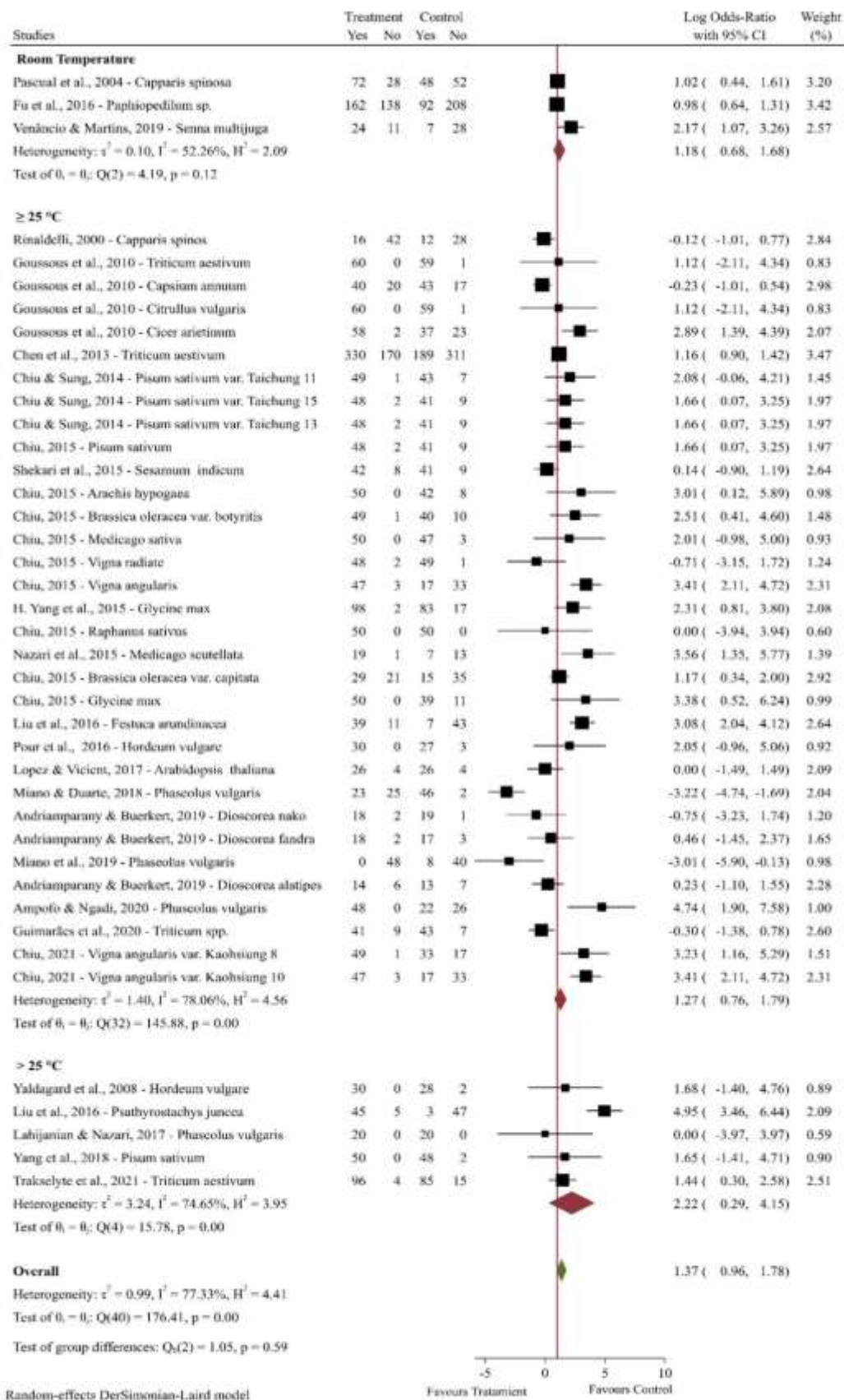
Nota:

frecuencias de ultrasonido  $\leq 30$  KHz y  $>30$ KHz mostraron una heterogeneidad moderada

Un Forest Plot analizó el efecto de la temperatura del agua como complemento al tratamiento pre germinativo de las semillas con técnicas de ultrasonidos (Figura 5). El primer subgrupo presentó un total de tres estudios que correspondían a la temperatura ambiente, que mostraron una OR de 1,18 y un IC de (0,68, 1,68),  $Q(2) = 4,19$ ,  $p = 0,12$ , y un valor de la prueba I<sup>2</sup> de 52,26%, lo que corresponde a una heterogeneidad moderada. El segundo subgrupo presentó 33 estudios relacionados con temperaturas  $\leq 25$  °C, que mostraron una OR de 1,27 y un IC de (0,76, 1,79),  $Q(32) = 145,88$ ,  $p = 0,00$ , y un valor de la prueba I<sup>2</sup> de 78,06%, lo que corresponde a una heterogeneidad alta. Por último, el tercer subgrupo presentó cinco estudios relacionados con temperaturas de  $> 25$  °C, mostrando una OR de 2,22 y un IC de (0,29, 4,15),  $Q(4) = 15,78$ ,  $p = 0,00$ , y un valor de la prueba I<sup>2</sup> de 74,65%, lo que corresponde a una heterogeneidad moderada. El metaanálisis global examinó los 41 estudios y encontró una OR de 1,37 e IC de (0,96, 1,78),  $Q(40) = 176,41$ ,  $p = 0,00$ , y un valor de la prueba I<sup>2</sup> de 77,33%, lo que corresponde a una alta heterogeneidad. El tamaño específico del efecto para el grupo global presentó una diferencia significativa ( $Q_b = (2) = 1,05$ ,  $p = 0,59$ ).

Figura 5.

Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido a diferentes temperaturas del agua.

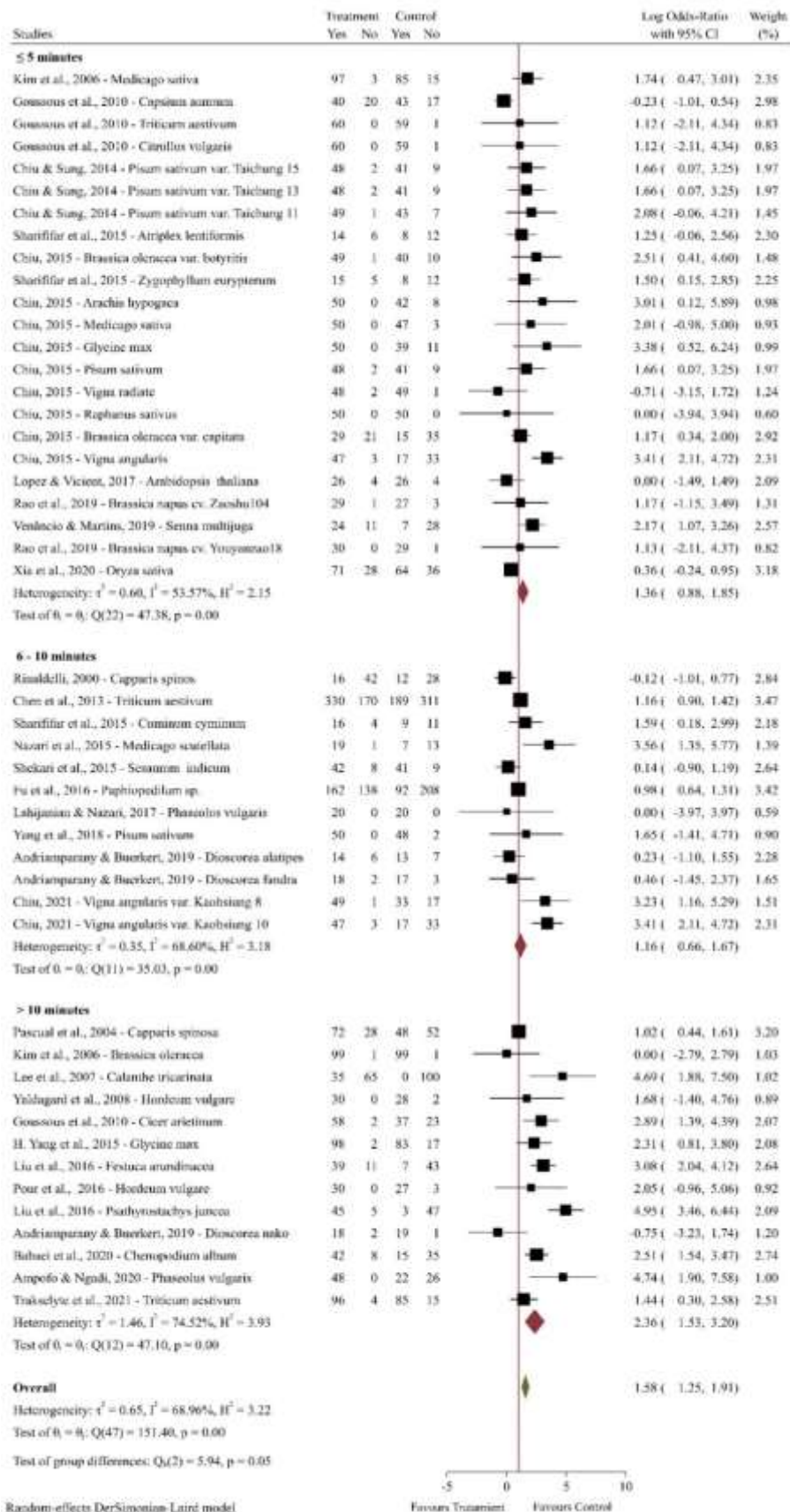


Nota. Estudios con temperatura ambiente mostraron heterogeneidad moderada, temperaturas  $\leq 25$  °C heterogeneidad alta y  $>25$ °C heterogeneidad moderada.

Se realizó Forest Plot para analizar el efecto del tratamiento pregerminativo de semillas según los tiempos de sonicación (Figura 6). El primer subgrupo con 23 estudios correspondientes a un tiempo de  $\leq 5$  minutos mostró un OR de 1,36 y un IC de (0,88, 1,85),  $Q(22) = 47,38$ ,  $p = 0,00$  y un valor de prueba I<sup>2</sup> de 53,57%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. El segundo subgrupo con 12 estudios en un tiempo de sonicación de entre 6 y 10 minutos mostró un OR de 1,16 y un IC de (0,66, 1,67),  $Q(11) = 35,03$ ,  $p = 0,00$  y un valor de prueba I<sup>2</sup> de 68,60%, correspondiente a heterogeneidad moderada. Mientras tanto, el tercer subgrupo con 13 estudios en un tiempo de sonicación de  $> 10$  minutos mostró un OR de 2,36 y un IC de (1,53, 3,20),  $Q(12) = 47,10$ ,  $p = 0,00$  y un valor de prueba I<sup>2</sup> de 74,52%, correspondiente a heterogeneidad moderada. La AC general examinó los 48 estudios y dio lugar a un OR de 1,58 e IC de (1,25, 1,91),  $Q(47) = 151,40$ ,  $p = 0,00$  y un valor de prueba I<sup>2</sup> del 77,33%, lo que corresponde a una alta heterogeneidad. El tamaño específico del efecto para el grupo general mostró una diferencia significativa ( $Q_b(2) = 5,94$ ,  $p = 0,05$ ).

Figura 6.

Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido en diferentes tiempos de sonicación.

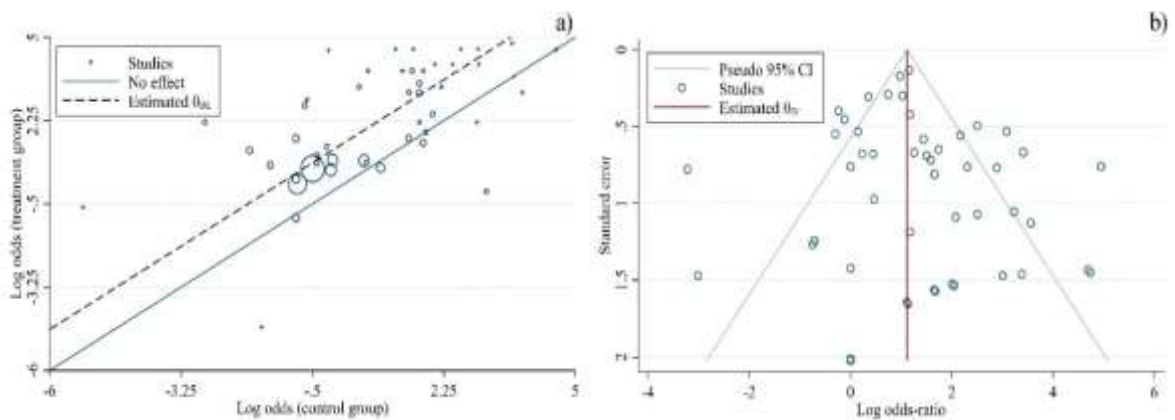


Nota. Los efectos de los tratamientos en tiempos de  $\leq 5$ , 6-10,  $>10$  minutos mostraron heterogeneidad moderada.

La heterogeneidad de los estudios se representó gráficamente mediante el L'Abbé Plot (Figura 7a). El Funnel Plot mostró una distribución simétrica de los estudios repartidos a lo largo del eje de las x, pero centrada en las estimaciones de las OR, lo que descarta el sesgo de publicación como amenaza para la validez de los resultados de la revisión sistemática (Figura 7b).

Figura 7

Representación gráfica de la heterogeneidad de los estudios en el metaanálisis mediante L'Ábbel Plot (a). Funnel Plot de los estudios en el metaanálisis (b).



Nota. Distribución simétrica en el Funnel Plot.

## 5. DISCUSIÓN

Los ultrasonidos se han definido como ondas sonoras con una frecuencia que supera el límite auditivo para el oído humano ( $\sim 20$  kHz) (Awad et al. 2012; Chiu 2021). La revisión bibliográfica actualizada reveló que las técnicas de ultrasonido como tratamiento pre germinativo de las semillas son una opción viable como métodos de estimulación física altamente eficientes (Wang et al. 2019), además de ser amigables con el medio ambiente (Ding et al. 2018). Sin embargo, los resultados de la eficacia del tratamiento están limitados en las técnicas de ultrasonido aplicadas (frecuencia, duración de la sonicación y temperatura del agua), ya que tienen diferentes grados de influencia en la germinación (Venâncio y Martins 2019). Esto se debe a que se han reportado una gran variedad de diseños de investigación con diferentes tamaños de muestra 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 de la aplicación de técnicas de ultrasonido como tratamiento pre germinativo de las semillas (Wang et al. 2019; Rifna et al. 2019; Trakselyte et al. 2021; Liu et al. 2021). Sin embargo, no se ha realizado ningún metaanálisis que pueda resumir la evidencia reportada en los últimos años sobre el efecto de esta novedosa técnica utilizando métodos estadísticos que ayuden a sacar conclusiones más generales a partir de revisiones sistemática y metaanálisis.

Los resultados de esta investigación aportan pruebas de que el tratamiento de las semillas con técnicas de ultrasonidos antes de la siembra altera los porcentajes de germinación. Los resultados estadísticos del Forest Plot en el análisis de las frecuencias de ultrasonidos que se aplicaron en los distintos informes (Figura 4) indicaron que los estudios con frecuencias de ultrasonidos de  $\leq 30$  KHz aumentaron significativamente los porcentajes de germinación, mientras que en los estudios cuyas frecuencias de sonicación fueron  $> 30$  KHz, el control presentó una respuesta significativa, lo que evidencia un efecto negativo producido por el tratamiento. Los resultados del segundo Forest Plot, en el que se agruparon los estudios según la temperatura del agua (Figura 5), mostraron que el agua en condiciones ambientales no presentó una diferencia significativa, lo que evidencia un efecto nulo. En cuanto a los estudios en los que la temperatura del agua era  $\leq 25$  °C, se observó un efecto significativo a favor del control. Asimismo, los estudios con temperaturas  $> 25$  °C presentaron un comportamiento similar. En cuanto a los resultados estadísticos del Forest Plot en el análisis de los estudios según los tiempos de sonicación (Figura 6), se pudo evidenciar que los tres



subgrupos analizados ( $\leq 5$ , 6-10 y  $> 10$  minutos) presentaron diferencias significativas con el control.

El Metaanálisis global para cada variable analizada (frecuencia, temperatura y tiempo de sonicación) mostró una diferencia significativa con el control. Por lo tanto, el efecto de las técnicas de ultrasonido como tratamiento pre germinativo de las semillas no demostró estadísticamente ser un método eficiente según los resultados de esta investigación. No obstante, hay que tener en cuenta que frecuencias de  $\leq 30$  KHz ejercen un aumento significativo en los porcentajes de semillas germinadas, lo que es un área que debe ser explorada más a fondo.

Se ha afirmado que la actividad de la  $\alpha$ -amilasa de las semillas tratadas con ultrasonidos está influenciada por la frecuencia y el tiempo de sonicación, con un aumento de la actividad enzimática del 48,46% y del 45,27% (Yaldagard et al. 2008.) Mejoran el crecimiento celular al estimular varios mecanismos fisiológicos (Liu et al. 2003; Pitt y Ross 2003), presentan una mayor absorción de agua durante la hidratación debido a que las ondas ultrasónicas aumentan la porosidad de la pared de la semilla (Yildirim et al. 2010; Patero y Augusto 2015) y mejoran la movilidad de los nutrientes en el endospermo al romper la membrana celular (Miano et al. 2015). También se ha informado de que, con la frecuencia, el tiempo de sonicación y la temperatura del agua adecuados, hay un aumento significativo en los porcentajes de semillas germinadas en comparación con las semillas no tratadas (Sharififar et al. 2015; Yang et al. 2015; Liu et al. 2016; Ampofo y Ngadi 2020; Chiu 2021; Trakselyte et al. 2021)

Cabe destacar que en cuanto a los hallazgos en la evaluación de la calidad metodológica de cada uno de los estudios a través del análisis de riesgo de sesgo, el 84,90% informó de la uniformidad de las semillas (sin defectos, malformaciones o daños por insectos), el 83,02% indicó que las semillas fueron esterilizadas, el 88,68% de los estudios afirmó que la germinación de las semillas se realizó en condiciones controladas (temperatura, humedad y fotoperiodo) y el 71,70% informó de la claridad metodológica en la aplicación de las técnicas de ultrasonidos como tratamientos pre germinativos (frecuencia, temperatura del agua y tiempo de sonicación). Por lo tanto, estos resultados indican un bajo riesgo de sesgo y una alta calidad en los resultados presentados en este estudio.

La evaluación del riesgo de sesgo es la evaluación crítica de la validez interna de un estudio incluido en una revisión sistemática (Boutron et al. 2019). Por lo tanto, es fundamental que



se siga un proceso de evaluación crítica para garantizar la confianza en sus resultados al interpretar los tamaños del efecto de un metaanálisis (Abraha et al. 2015; Bo et al. 2021). Se ha informado de un estudio que evalúa la calidad metodológica de los estudios incluidos en un metaanálisis utilizando un análisis de riesgo de sesgo para los tratamientos pre germinativos de semillas con campos magnéticos (Ureta-Leones et al. 2021).

## 6. CONCLUSIONES

La evaluación de la calidad metodológica de cada uno de los estudios a través del análisis de riesgo de sesgo de uniformidad de las semillas, esterilización, germinación en condiciones controladas y claridad metodológica, indican un bajo riesgo de sesgo y una alta calidad en los resultados presentados en este estudio.

Los hallazgos estadísticos de esta investigación a través del metaanálisis global que se realizó para las tres variables (frecuencia, temperatura del agua y tiempo de sonicación), el control respondió mejor, lo que evidencia un efecto negativo producido por el tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido.

No obstante, hay que tener en cuenta que, en el análisis de la frecuencia a través de subgrupos, los estudios con frecuencias de  $\leq 30$  KHz presentaron un efecto significativo a favor del tratamiento, aumentando significativamente los porcentajes de germinación.

## **7. RECOMENDACIONES**

Mediante los resultados obtenidos se puede recomendar que se preste atención a este resultado y que se exploren más los tratamientos pre germinativos de semillas con técnicas de ultrasonido con frecuencias  $\leq 30$  KHz, porque se ha demostrado un aumento significativo en el porcentaje de germinación con respecto al control y hay pocos estudios que han utilizado estas frecuencias.

## CAPÍTULO V

### 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, R. (2014). ¿Revisión sistemática, revisión narrativa o metaanálisis? *Rev. Soc. Esp. del Dolor*, 37(3), 359–360. <https://doi.org/10.2307/j.ctvt6rm2x.33>
- Alvarado Bawab, M. B. (2017). Estudio del proceso de secado de fresa usando horno microondas/Study of the stramberry drying process using microwave dryer. *Prospectiva*, 15(1), 29–34. <https://doi.org/10.15665/rp.v15i1.658>
- Ampofo, J. O., & Ngadi, M. (2020). Ultrasonic assisted phenolic elicitation and antioxidant potential of common bean (*Phaseolus vulgaris*) sprouts. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 104974.
- Arévalo, J. P. (1998). *Tratamientos para mejorar la germinación de semillas de yerba mate (Ilex paraguariensis) y algarrobo (Prosopis spp.)*. <http://hdl.handle.net/11036/2851#sthash.pfjIJ7Xs.dpuf>
- Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, et al (2012) Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Res Int* 48:410–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>
- Babaei A, Alebrahim MT, MacGregor DR, et al (2020) Evaluation of ultrasound technology to break seed dormancy of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Food Sci Nutr* 8:2662–2669. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1547>
- Castillo-Quiroz, D., Antonio-Bautista, A., Castillo-Reyes, F., Sáenz-Ceja, J. E., & Sáenz-Reyes, J. T. (2021). *Tratamientos pregerminativos para semillas de Prunus cercocarpifolia Villarreal (Rosales, Rosaceae), especie endémica de la Sierra Zapalinamé, Coahuila, México.* 0071003. <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/141/66>
- Chen, YP, Liu, Q., Yue, XZ, Meng, ZW y Liang, J. (2013). Las semillas de vibración ultrasónica mostraron una mayor resistencia al cadmio y al plomo en las plántulas de

- trigo. *Investigación de la ciencia ambiental y la contaminación*, 20 (7), 4807-4816.
- Chiu KY (2015) Ultrasonication-enhanced microbial safety of sprouts produced from selected crop species. *J Appl Bot Food Qual* 88:120–126. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.017>
- Chiu KY (2021) Changes in microstructure, germination, sprout growth, phytochemical and microbial quality of ultrasonication treated adzuki bean seeds. *Agronomy* 11:. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061093>
- Ding J, Hou GG, Dong M, et al (2018) Physicochemical properties of germinated dehulled rice flour and energy requirement in germination as affected by ultrasound treatment. *Ultrason Sonochem* 41:484–491. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.10.010>
- Doria, J. (2010). Generalidades Sobre Las Semillas: Su Producción, Conservación Y Almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 00–00.
- Duval S, Tweedie R (2000) Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics* 56:455–463. <https://doi.org/10.1111/j.0006-341X.2000.00455.x>
- Escudero, C., & Cortez, L. (2018). Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica. En *Redes 2017*.
- Ferreira González, I., Urrútia, G., & Alonso-Coello, P. (2011). Systematic reviews and meta-analysis: Scientific rationale and interpretation. *Revista Espanola de Cardiologia*, 64(8), 688–696. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.03.029>
- García-Perdomo HA (2015) Basic concepts on systematic review and meta-analysis. *Urol Colomb* 24:28–34. <https://doi.org/10.1016/j.uroco.2015.03.005>
- Higgins JPT, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG (2003) Measuring inconsistency in meta-analyses. *Br. Med. J.* 327:557–560
- Hutton B, et al. La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *Med Clin (Barc)*. 2016

- Jak S (2015) *Meta-Analytic Structural Equation Modelling*. Springer International Publishing, Cham
- Kang, H. (2015). Consideraciones estadísticas en metanálisis. *Reseñas médicas de Hanyang*, 35 (1), 23-32.
- Leandro G (2007) *Meta-Analysis in Medical Research: The Handbook for the Understanding and Practice of Meta-Analysis*
- Liu, H., Li, Z., Zhang, X., Liu, Y., Hu, J., Yang, C., & Zhao, X. (2021). The effects of ultrasound on the growth, nutritional quality and microbiological quality of sprouts. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 292-300.
- López-Ribera, I., & Vicient, C. M. (2017). Use of ultrasonication to increase germination rates of Arabidopsis seeds. *Plant Methods*, 13(1), 1-6.
- Ludeña, J. C. (2013). EFECTO DE DOS TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE ALISO (*Alnus acuminata*) Y PINO (*Pinus patula*), CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9).
- Manchado Garabito, R., Tamames Gómez, S., López González, M., Mohedano Macías, L., D'Agostino, M., & Veiga de Cabo, J. (2009). Revisión Sistemática Exploratoria. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55(216), 12–19. <https://doi.org/10.4321/s0465-546x2009000300002>
- Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisión sistemática de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, 91(3), 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2011.07.009>
- Manzanedo, M. D. (2013). *Aplicación de los amplificadores ópticos de semiconductor a la fotónica de microondas* [Universitat Politècnica de València]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=250611>
- Mera, H. (2011). *PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE ACACIA BOTÓN DE ORO (Acacia dealbata), CON CUATRO TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN CUATRO TIPOS DE SUSTRATOS* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/1822/1/33T0097>.

pdf

- Merino, M., Meza, P., Leyva, O., López, H., Murguía, J., Núñez, R., Cebada, M., Serna, R., Espinosa, A., Tadeo, M., Sierra, M., & Del Rosario, J. (2018). Influencia de tratamientos pregerminativos en semillas de chile manzano ( *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav .) Influence of pre-germinative treatments in seeds of manzano hot pepper Material genético. *Acta Agronomica*, 67, 531–538.
- Moliner, L. M. (2008). Metaanálisis, una guía rápida para lectores y usuarios. *Hipertensión y Riesgo Vascular*, 25(3), 108–120. [https://doi.org/10.1016/s1889-1837\(08\)71751-3](https://doi.org/10.1016/s1889-1837(08)71751-3)
- Otero Ortega, A. (2018). Enfoques de investigación. *Revista de Educación*, August, 1–34.
- Pandiselvam, R., Mayookha, VP, Kothakota, A., Sharmila, L., Ramesh, SV, Bharathi, CP, ... y Srikanth, V. (2020). Impacto del tratamiento con ozono en la germinación de semillas: una revisión sistemática. *Ozono: ciencia e ingeniería* , 42 (4), 331-346.
- Páramo, P. (2020). *Cómo elaborar una REVISIÓN SISTEMÁTICA*. February. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31465.85608>
- Pita, J., & Pérez, F. (1998). Germinación de semillas. *Hojas divulgadoras*, 1–20.
- Quimbita, A. E. (2013). Aplicación de meristemas de maíz y fréjol en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L) bajo cubierta. *Univerisdad Técnica de Ambato*, 104. <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6338/1/Tesis-59> Ingeniería Agronómica -CD 194.pdf
- Sánchez, J. (2010). Cómo realizar una revisión sistemática. *Aula Abierta*, 72, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.chiabu.2017.08.025>
- Solano, K. J. (2020). *TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE “Lagenaria siceraria ( Molina ) Standl ” Universidad Estatal Península de Santa Elena TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5819/1/UPSE-TIA-2021-0021.pdf>
- Song F (1999) Exploring heterogeneity in meta-analysis: Is the L'Abbe plot useful? *J Clin Epidemiol* 52:725–730. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(99\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(99)00066-9)

- Suárez, K. (2017). EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS ALCALINOS E HIDROTÉRMICOS ASISTIDOS CON MICROONDAS PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES A PARTIR DE TALLO DE MAÍZ. En *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS* (Vol. 87, Número 1,2). UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Trakselyte-Rupsiene, K., Juodeikiene, G., Cernauskas, D., Bartkiene, E., Klupsaite, D., Zadeike, D., ... & 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*, 10(7), 1319.
- Urrea, E., & Barría, R. (2010). La revisión sistemática y su relación con la práctica basada en la evidencia en salud. *Revista Latino-Am. Enfermagem*, 18(4), 1–8. [http://www.scielo.br/pdf/rlae/v18n4/es\\_23.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rlae/v18n4/es_23.pdf)
- Ureta-Leones D, García-Quintana Y, Vega-Rosete S, et al (2021) Effect of pre-germination treatment with direct magnetic field exposure: a systematic review and meta-analysis. *Eur J For Res* 2021 1405 140:1029–1038. <https://doi.org/10.1007/S10342-021-01400-0>
- Urrutia G, Bonfill X (2010) Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med. Clin. (Barc)*. 135:507–511
- Varela, S., & Arana, V. (2011). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. *Unidad de Genética Ecológica y Mejoramiento Forestal, INTA EEA Bariloche arana@agro.uba.ar*, 1, 1–10.
- Venâncio RS da S, Martins ACG (2019) Overcoming dormancy of Senna multijuga seeds with an ultrasonic probe the comparison with ultrasound and sulfuric acid baths. *Cienc Rural* 49:. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20180904>
- Wang J, Ma H, Wang S (2019) Application of ultrasound, microwaves, and magnetic fields techniques in the germination of cereals. *Food Sci Technol Res* 25:489–497. <https://doi.org/10.3136/fstr.25.489>
- Wu, Y., Li, W., Martin, G. J., & Ashokkumar, M. (2021). Mechanism of low-frequency and



high-frequency ultrasound-induced inactivation of soy trypsin inhibitors. *Food Chemistry*, 360, 130057.

Yaldagard, M., Mortazavi, SA y Tabatabaie, F. (2008). Aplicación de ondas ultrasónicas como técnica de cebado para acelerar y mejorar la germinación de semillas de cebada: Optimización del método por el enfoque de Taguchi. *Revista del Instituto de elaboración de cerveza* , 114 (1), 14-21.