UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ULTRASONIDO COMO TRATAMIENTO PRE GERMINATIVO DE SEMILLAS: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS.

AUTOR(ES):

Ana Gabriela Ocaña Vallejo

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Yasiel Arteaga Crespo, PhD.

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	El título es claro y describe la idea principal del trabajo
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	La información es relativamente clara en el resumen
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	La introducción es clara y encuadra correctamente los fundamentos teóricos del trabajo
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	El marco teórico se ajusta a los parámetros establecidos para los trabajos de integración curricular
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	La metodología describe adecuadamente las acciones seguidas para la selección de la información bibliográfica.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Los resultados son concluyentes y ajustados a los objetivos del trabajo
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Las conclusiones son claras y objetivas
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Las fuentes y citas se ajustan a las normas APA
VALORACIÓN TOTAL	100/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MARCOS DAVID LANDIVAR VALVERDE

David Landívar Valverde, PhD
PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 24 días del mes de febrero de 2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple requisitos
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	3/5	Mi observación en el formato 3 fue la siguiente: "En el resumen se debe aportar una breve introducción, una breve justificación, el planteamiento del problema en una-dos líneas, el objetivo de la investigación de manera clara y precisa. Posteriormente la metodología, y los resultados más importantes Asimismo las conclusiones relacionadas con estos resultados más importantes. En vuestro caso hace falta una breve explicación del planteamiento del problema relacionado el tratamiento pre germinativo de semillas agrícolas y forestales con técnicas de ultrasonido, tiene un efecto específico sobre la germinación. No cumplen mi solicitud.
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple con criterios Felicitaciones
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	0/15	No tiene marco teórico. Es de conocimiento general (docentes y estudiantes) las partes y el orden de la estructura del documento.
5. METODOLOGIA		

Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple los criterios

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumple los criterios
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple los criterios
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple los criterios
VALORACIÓN TOTAL	83	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	83

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
JULIO CESAR MUNOZ RENGIFO

Julio César Muñoz Rengifo, Ph.D.

Dado en la ciudad de Puyo, a los 22 días del mes de febrero de 2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Puyo, 03 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Ana Gabriela Ocaña Vallejo, con C.I. 060502819-0, con el Tema: "**EFECTO DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ULTRASONIDO COMO TRATAMIENTO PRE GERMINATIVO DE SEMILLAS: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS**", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente- director del Trabajo de Integración Curricular, Dr. Yasiel Arteaga, PhD, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 02 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivoadjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

YASIEL ARTEAGA CRESPO

Firmado digitalmente porYASIEL ARTEAGA CRESPO
DN: cn=YASIEL ARTEAGA CRESPO c=EC l=PUYO
Motivo:Soy el autor de este documento
Ubicaci- n:
Fecha:2022-02-03 10:51-05:00

Dr. Yasiel Arteaga Crespo, PhD.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Articulo Anita.docx (D126873391)
Submitted	2022-02-02T17:19:00.0000000
Submitted by	ARTEAGA CRESPO YASIEL
Submitter email	yarteaga@uea.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	yarteaga.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.cabi.org/isc/datasheet/45002 Fetched: 2021-01-29T08:30:39.7530000	1
W	URL: https://doi.org/10.1501/tarimbil_0000001148 Fetched: 2022-02-02T17:20:00.0000000	1

Aplicación de técnicas de ultrasonido como tratamiento pre germinativo de semillas: Revisión sistemática y metaanálisis

Ana Gabriela Ocaña-Vallejo[1*]
gabrielaoca0@gmail.com
Yasiel Arteaga-Crespo[2]
yarteaga@uea.edu.ec

[1]Universidad Estatal Amazónica (UEA), Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental.
[2]Universidad Estatal Amazónica (UEA), Facultad de Ciencias de la Tierra.

Resumen

La germinación de semillas es una de las etapas más importante para lograr el éxito del establecimiento de plantaciones forestales o cultivos agrícolas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue examinar si el tratamiento pre germinativo de semillas agrícolas y forestales con técnicas de ultrasonido, tiene un efecto específico sobre la germinación a través de la revisión sistemática y metaanálisis. La búsqueda se realizó en bases de datos de Web of Science y Scopus, para filtrar las referencias se utilizaron las siguientes expresiones (germination AND seed AND ultrasound) presentes en el título, resumen y palabras claves de los artículos publicados entre los años 2000 – 2021. Se realizó un análisis para cada variable (frecuencia, temperatura y tiempo de sonicación). El tamaña del efecto se calculó aplicando el registro de Odds-ratio con un intervalo de confianza (CI) del 95%. Se utilizó el modelo de random-effects con el método DerSimonian and Laird. Se encontraron un total de 177 artículos de los cuales solo 33 cumplieron con todos los criterios de inclusión. El metaanálisis global que se realizó para cada variable, presentó mejor respuesta el control, lo que evidencia un efecto negativo al tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido, pero se debe considerar que en el análisis de la frecuencia a través de sub grupos, los estudios cuya frecuencia ≤ 30 KHz presentaron un efecto significativo a favor del tratamiento. Por lo tanto, se recomienda explorar tratamientos pre germinativos de semillas con técnicas de ultrasonido con frecuencias ≤ 30 KHz.

Palabras Claves: Riego de sesgo, Forest Plot, Odds-ratio, análisis.

Abstract

Seed germination is one of the most important stages for the successful establishment of forest plantations or agricultural crops. Therefore, the aim of this study was to examine

whether the pre-germination treatment of agricultural and forestry seeds with ultrasound techniques has a specific effect on germination through systematic review and meta-analysis. The search was carried out in Web of Science and Scopus databases, to filter the references the following expressions were used (germination AND seed AND ultrasound) present in the title, abstract and keywords of the articles published between the years 2000 - 2021 An analysis was performed for each variable (frequency, temperature and sonication time). The size of the effect was calculated by applying the Odds-ratio register with a confidence interval (CI) of 95%. The random-effects model was used with the DerSimonian and Laird method. A total of 177 articles were found, of which only 33 met all the inclusion criteria. The global meta-analysis that was carried out for each variable, presented a better response to the control, which shows a negative effect to the pre-germination treatment with ultrasound techniques, but it should be considered that in the analysis of the frequency through subgroups, the studies whose frequency ≤ 30 KHz presented a significant effect in favor of the treatment. Therefore, it is recommended to explore pre-germination seed treatments with ultrasound techniques with frequencies ≤ 30 KHz.
Keywords: Risk of bias, Forest Plot, Odds-ratio, analysis.

Introducción

La germinación de semillas es una de las etapas más importante para lograr el éxito del establecimiento de plantaciones forestales o cultivos agrícolas. Por lo tanto, la semilla es responsable de la siguiente generación de plantas, manteniendo el germoplasma, mejorando la capacidad de producción y diversidad de especie (Rifna et al., 2019; Sharififar et al., 2015), El métodos más empleado para aumentar los porcentajes de germinación son los tratamientos químicos, que resultan perjudicial para la salud de las personas y causan impactos negativos al ambiente (Chiu, 2015; Dziwulska-Hunek et al., 2020; Pandiselvam et al., 2020).

La comunidad científica ha hecho grandes avances en la búsqueda de alternativas que sean empleadas como tratamientos pre germinativos de semillas, en los últimos tiempos se ha reportado una gran variedad de tratamientos físicos, que son ecológicos y amigables con el ambiente (Rifna et al., 2019; Wang et al., 2019). Entre ellos se encuentra la aplicación de técnicas de ultrasonido como método alternativo para aumentar los porcentajes de semillas germinadas (Ampofo & Ngadi, 2020; Chen et al., 2013; Chiu & Sung, 2014; Liu et al., 2016; Sharififar et al., 2015; Shekari et al., 2015; Trakselyte et al.,

2021). El Ultrasonido según la frecuencia, se puede clasificar en tres grupos: Ultrasonido de baja frecuencia (20-100 KHz), ultrasonido de alta frecuencia (100 KHz – 1 MHz) y ultrasonido de diagnóstico (1 – 500 MHz) (Wu et al., 2021).

La técnicas de ultrasonido como tratamiento pre germinativo, consiste 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 el 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., 2008b), también modifica la estructura de las moléculas enzimáticas (H. K. Liu et al., 2021), promueve la catálisis enzimática y acelera la germinación de semillas (Wang et al., 2019; Yaldagard et al., 2008a).

Se han reportado muchos estudios con la aplicación de técnicas de ultrasonido como tratamientos pre germinativos de semillas, pero sus resultados son muy controversiales debido a una gran cantidad de factores que se deben considerar al momento de aplicarlos, tales como la temperatura, frecuencia y tiempo de sonicación, además se debe considerar la especie del germoplasma empleado. Varios autores han reportado efectos favorables para el tratamiento pre germinativo con ondas ultrasónicas (Andriamparany & Buerkert, 2019; Goussous et al., 2010; Kim et al., 2006; Liu et al., 2016; Mechanisms et al., 2016), también se han reportado efecto negativo a este tipo de tratamiento (Chiu, 2015; Alberto Claudio Miano et al., 2019; Alberto Claudio Miano & Augusto, 2018), lo cual, resulta difícil de saber el efecto que tiene la aplicación de técnicas de ultrasonido sobre la germinación de la semillas agrícolas y forestales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue examinar si el tratamiento pre germinativo de semillas agrícolas y forestales con técnicas de ultrasonido, tiene un efecto específico sobre la germinación a través de la revisión sistemática y metaanálisis.

Materiales y métodos

Conjunto de datos

La revisión sistemática y metaanálisis se desarrolló siguiendo los lineamientos de la normativa internacional Preferred Reporting Items for Systematic Metaanalyses (PRISMA) (Urrutia & Bonfill, 2010). El metaanálisis es una técnica eficaz para el análisis de diferentes estudios e intervenciones que revelan un único resultado común (Jak, 2015; Leandro, 2007) La búsqueda electrónica se realizó en las bases de datos Web of Science (Clarivate Analytics, Inglaterra) y Scopus (Elsevier, Países Bajos), que finalizó el 12 julio

del 2021. Como estrategia de búsqueda para filtrar las referencias se utilizó las siguientes expresiones (germination AND seed AND ultrasound) presentes en el título, resumen y palabras claves de los artículos publicados entre los años 2000 – 2021 (Matuoka et al., 2020; Ureta-Leones et al., 2021). No se excluyó ninguna familia botánica y tampoco hubo restricción de idioma. A continuación, se realizó un proceso de selección para eliminar artículos duplicados y de temas no relacionado con el objetivo del metaanálisis. Los trabajos que pasaron el primer filtro fueron sometidos a revisión de texto completo estableciendo criterios de selección que deben cumplir cada uno para ser aceptado en la revisión sistemática. Los criterios para que un estudio (artículo) fuera incluido son: Tamaño de muestra mayor o igual a 20 semillas con 3 o más réplicas tanto para el control como para el tratamiento, exposición de semillas a ondas ultrasónicas y porcentaje de germinación tanto para el control como para el tratamiento (Ureta-Leones et al., 2021).

Extracción de datos

Se realizó una revisión por pares para cada estudio incluido en la investigación y se resumieron los siguientes datos: información general como autor y año de publicación; variables metodológicas como intensidad de exposición a ondas ultrasónicas (KHz), tiempo de sonicación, temperatura y nombre de la especie y tamaño de muestra. Para la extracción de variables en los resultados, solo se consideró la media relativa del porcentaje de germinación al control y del tratamiento donde se reflejó el mejor efecto, a partir del cual se estimó el número de semillas germinadas y no germinadas. En los estudios donde los resultados se presentaron de manera gráfica se obtuvieron mediante la herramienta Digitizer imagen del software estadístico OriginLab v. 2020 (OriginLab Corporation, España) (Ureta-Leones et al., 2021).

Riego de sesgo

Para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales se siguió los lineamientos de Ureta et al. (2021) con adecuaciones por los autores. Por lo tanto, se consideraron los siguientes aspectos cualitativos del proceso metodológico: Uniformidad de las semillas (sin defectos, malformaciones o daños por insectos); esterilización de semillas; germinación de las semillas en condiciones controladas (temperatura, humedad y fotoperiodo); y claridad metodológica (frecuencia, temperatura y tiempo de sonicación). La evaluación se realizó utilizando el software Review Manager v. 5.4 (Cochrane, Inglaterra). Los resultados se presentaron gráficamente, en el cual el color verde establece que se cumplió el criterio (bajo riesgo de sesgo), mientras que el color rojo establece que el estudio no especifica el criterio (alto riego de sesgo).

Análisis de datos

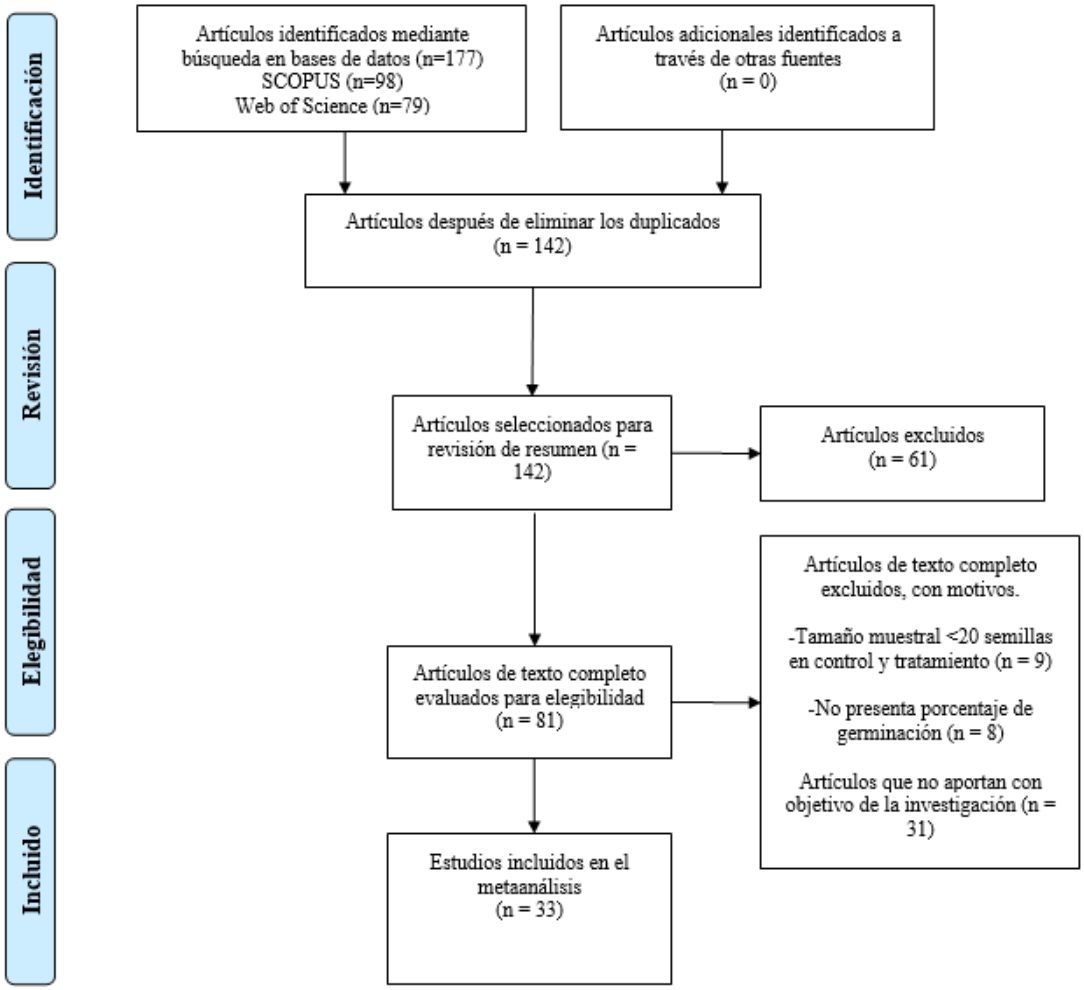
El análisis de datos se realizó mediante el software STATA v. 16 MP (StataCorp, Inglaterra). El tamaña del efecto se calculó y declaró mediante la comparación de resultados binarios aplicando el registro de Odds-ratio con un intervalo de confianza (CI) del 95% (Manterola et al., 2013; Molinero, 2008). Se utilizó el modelo de random-effects con el método DerSimonian and Laird recomendado para análisis que presentan variaciones entre estudios por diferentes razones (García-Perdomo, 2015). Se realizó un análisis para cada variable (frecuencia, temperatura y tiempo de sonicación). Para el primer análisis se establecieron dos subgrupos, de acuerdo a la frecuencia de ondas ultrasónicas que recibieron las semillas (≤ 30 KHz y > 30KHz); En el segundo análisis se establecieron tres subgrupos de acuerdo a la temperatura del agua (Temperatura ambiente, ≤ 25 °C y > 25 °C) y en el tercer análisis se establecieron tres subgrupos de acuerdo al tiempo de sonicación que recibieron las semillas (≤ 5, 6 – 10 y >10 minutos). Por medio del Forest Plot se estimó el tamaño del efecto de los estudios, la Q Cochran con p> 0,05 y la heterogeneidad usando el test I^2 que describe la variación porcentual entre los estudios (Higgins et al., 2003). Los niveles de heterogeneidad nula, baja, moderada y alta corresponden a valores I^2 de hasta el 25%, 25-50%, 51-75% y superiores al 75% respectivamente. Además, la heterogeneidad de los estudios fue representada gráficamente por L'Abbé Plot (Song, 1999). El sesgo de publicación también se evaluó mediante el Funnel Plot (Duval & Tweedie, 2000).

Resultados

Flujo y características de los estudios incluidos

Se encontraron un total de 177 artículos, de los cuales 79 fueron de la base de datos de Web of Science y 98 de Scopus. Se encontró que 33 artículos originales cumplieron con todos los criterios de elegibilidad para la revisión sistemática y metaanálisis. Se registró 53 unidades de estudios debido a que varios artículos presentaron más de una, en los cuales Chiu (2015) presentó nueve; Goussous et al. (2010) cuatro; Andriamparany and Buerkert (2019), Chiu and Sung (2014) y Sharififar et al. (2015) reportaron tres estudios; Kim et al. (2006), Liu et al. (2016), Rao et al. (2019) y Chiu (2021) reportaron 2 estudios cada uno. Todos estos estudios evaluaron el efecto del tratamiento de semillas con diferentes técnicas de ultrasonido, antes de la germinación. Se excluyeron 144 artículos porque no cumplieron con los criterios de inclusión (Figura 1).

Figura 1.
Diagrama de flujo de la búsqueda y estudios en el metaanálisis.



Los estudios correspondieron a 14 familias botánicas 34 especies y nueve variedades, siendo la familia Fabaceae la que mayor número de estudios reportó (22), en las que se evaluó semillas de las siguientes especies *Phaseolus vulgaris* (Ampofo & Ngadi, 2020; Lahijanian & Nazari, 2017; A. C. Miano et al., 2019; A. C. Miano & Duarte, 2018), *Medicago sativa* (Chiu, 2015; Kim et al., 2006), *Pisum sativum* (Chiu, 2015; Z. Yang et al., 2018), *Pisum sativum* var. Taichung 11, 13 y 15 (Chiu & Sung, 2014), *Glycine max* (Chiu, 2015; H. 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 & Martins, 2019), *Vigna radiate* (Chiu, 2015), *Arachis hypogaea* (Chiu, 2015).

Para la familia Poaceae se reportaron (10) estudios, siendo las especies: *Hordeum vulgare* (A. C. Miano et al., 2015; Pour et al., 2016; Yaldagard et al., 2008a), *Triticum aestivum*

(Chen et al., 2013; Goussous et al., 2010; Trakselyte et al., 2021), *Triticum sp.* (Guimarães et al., 2020), *Oryza sativa* (Xia et al., 2020), *Festuca arundinacea* (J. Liu et al., 2016), *Psathyrostachys juncea* (J. Liu et al., 2016); En la familia Brassicaceae se reportó (7) estudios, siendo las especies *Brassica oleracea* (Kim et al., 2006), *Brassica oleracea* var. Capitata y Botyritis (Chiu, 2015), *Brassica napus* cv. Youyanzao18 y *Brassica napus* cv. Zaoshu104 (Rao et al., 2019), *Raphanus sativus* (Chiu, 2015), *Arabidopsis thaliana* (López & Vicient, 2017).

Para la familia Dioscoreaceae se ha reportado (3) estudios siendo las especies *Dioscorea alatipes, Dioscorea nako y Dioscorea fandra* (Andriamparany & Buerkert, 2019); Las familias que reportaron dos estudios fueron Capparaceae con la especies *Capparis spinosa* (Pascual et al., 2004; Rinaldelli, 2000); Orchidaceae con las especies *Calanthe tricarinata* (Lee et al., 2007) y *Paphiopedilum sp.* (Fu et al., 2016);

Las familias con un solo estudio reportado 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 1).

Tabla 1.

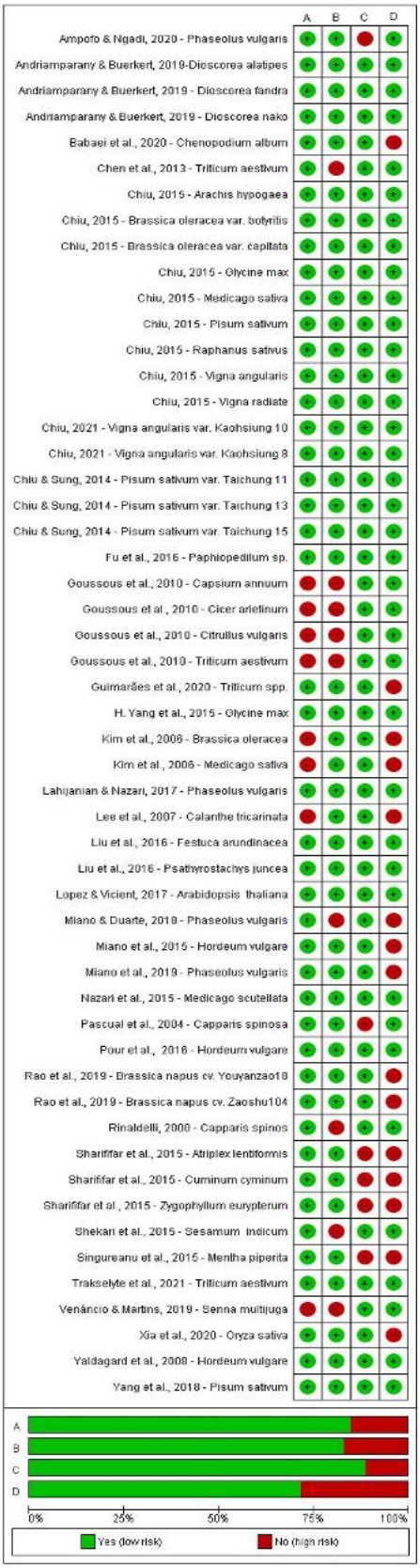
Características de los estudios en el metaanálisis

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

Evaluación de riesgo de sesgo

La evaluación de riesgo de sesgo de los aspectos cualitativos del proceso metodológico para los estudios individuales (Figura 2), indicó que el 84.90% de los estudios informaron uniformidad de semillas (sin defectos, malformaciones o daños por insectos), mientras que el 15.10% restantes no especificó. En la esterilización de semillas el 83.02% de los estudios indicaron que se realizó, mientras que el 16.98% no informó. Para la germinación de semillas el 88.68% de los estudios informaron que se realizó en condiciones controladas (temperatura, humedad y fotoperiodo), mientras que el 11.32% la germinación se realizó en condiciones ambientales. En cuanto a la claridad metodológica de la aplicación de técnicas de ultrasonido como tratamientos pre germinativos (frecuencia, temperatura del agua y tiempo de sonicación) el 71.70% describieron los valores utilizados para cada uno de los aspectos, mientras que el 28.30% no especificaron en al menos uno de ellos. En general, la evaluación de riesgo de sesgo evidenció que el 52,83% de los estudios cumplió con todos los criterios evaluados, mientras que el 47,17% no cumplió al menos uno de los criterios.

Figura 2.
Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios en el metaanálisis.



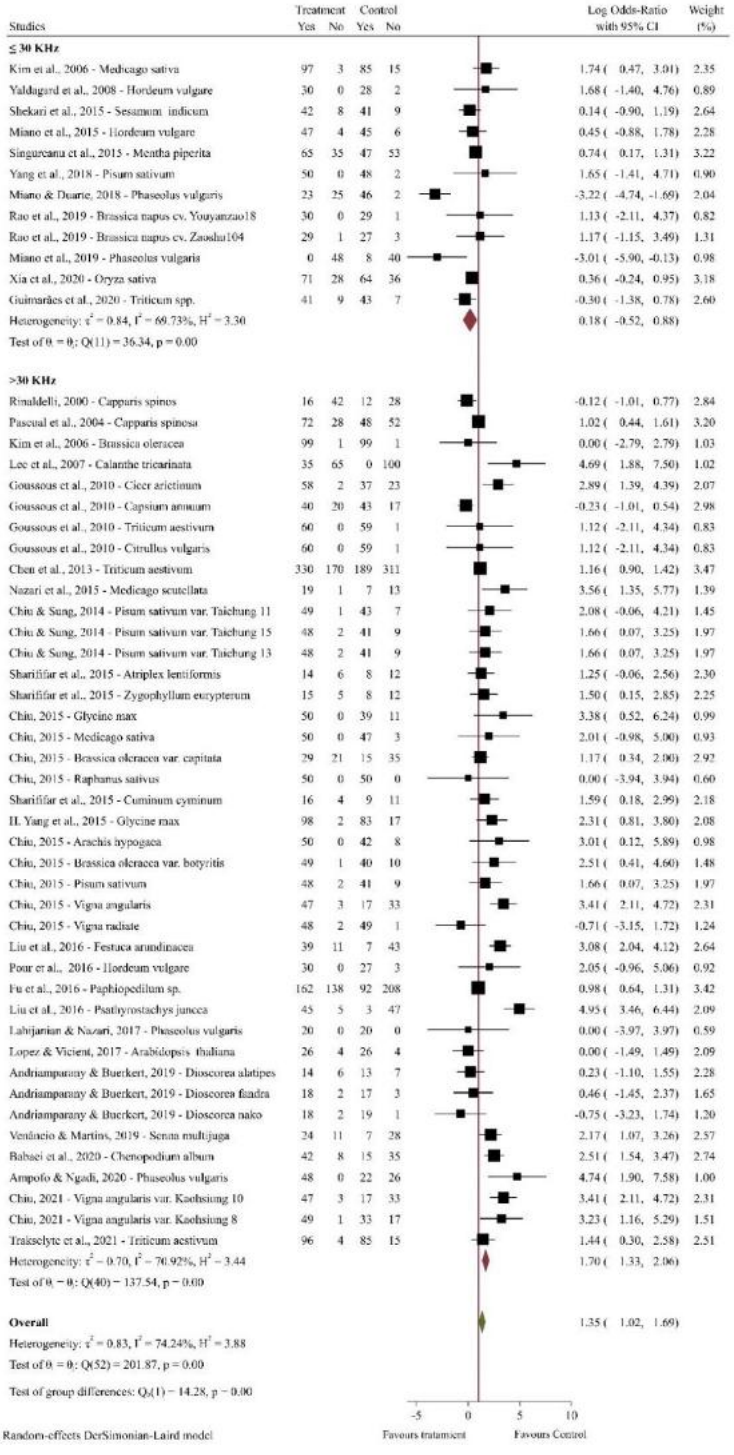
Leyenda: A: Uniformidad de las semillas; B: esterilización de las semillas; C: Germinación de las semillas en condiciones controladas; D: Claridad metodológica.

Análisis de resultados en conjunto

Según los resultados del Forest Plot de acuerdo a las frecuencias de ultrasonido utilizadas como tratamiento pre germinativo de semillas (Figura 3), el primer subgrupo presentó un total de 12 estudios que corresponden a frecuencias ≤ 30 KHz, el cual mostró un Odds-Ratio 0.18 y un IC de (-0.52, 0.88), Q (11) = 36.34, *p* 0.00, y un valor del test I^2 de 69.73%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. Mientras que el segundo subgrupo presentó un total de 41 estudios con frecuencias >30 KHz, en el cual se evidenció un Odds-Ratio de 1.70 y un IC de (1.33, 2.06), Q (40) = 137.54, *p* 0.00 y un valor del test I^2 de 70.92%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. El metaanálisis global analizó los 53 estudios y dio como resultado un Odds-Ratio de 1.35 y un IC de (1.02, 1.69), Q (52) = 201.87, *p* 0.00 y un valor del test I^2 de 74.24%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. El tamaño del efecto específico del grupo general presentó diferencia significativa (Q_b = (1) = 14.28, *p* =0.00).

Figura 3.

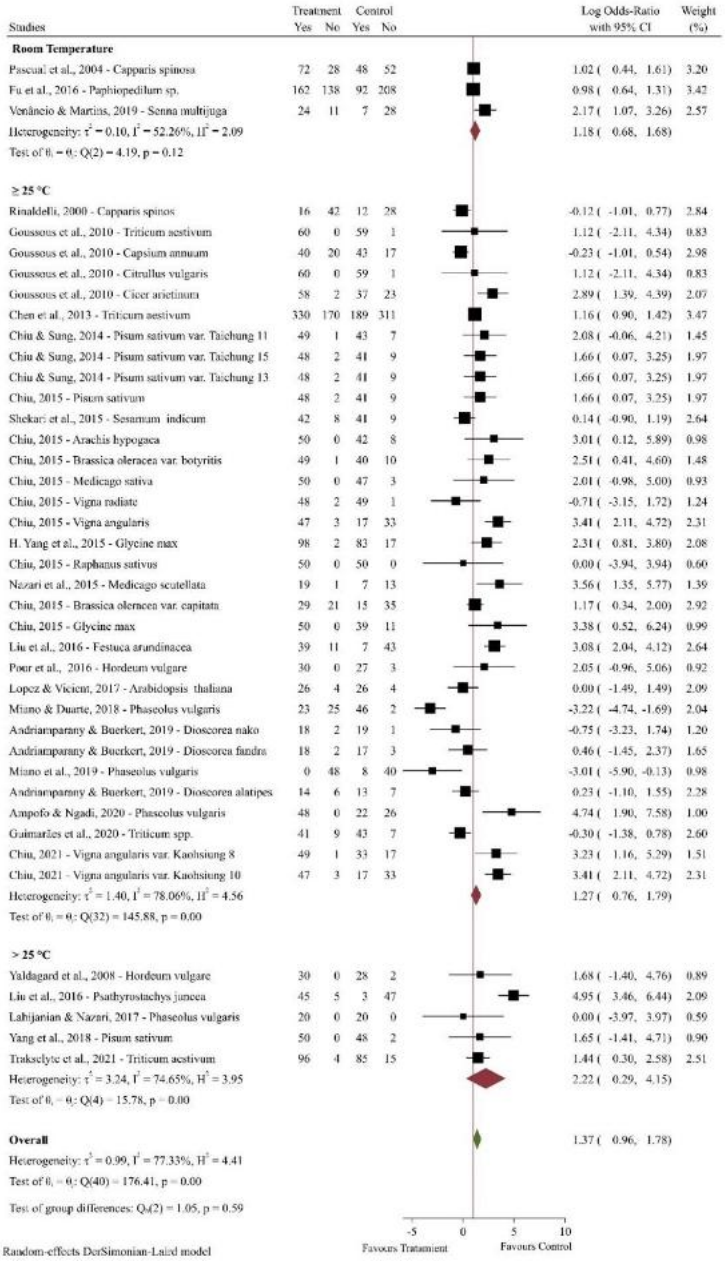
Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido a diferentes frecuencias.



Los resultados correspondientes al Forest Plot que analizó el efecto de la temperatura del agua como complemento al tratamiento pre germinativo de semillas con técnicas de ultrasonidos (Figura 4), El primer subgrupo presentó un total de tres estudios que correspondieron a temperatura ambiente, el cual mostró un Odds-Ratio de 1.18 y un IC de (0.68, 1.68), Q (2) = 4.19, *p* 0.12, y un valor del test I^2 de 52.26%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. El segundo subgrupo presentó 33 estudios que correspondieron a temperaturas ≤ 25 °C, el cual mostró un Odds-Ratio de 1.27 y un IC de (0.76, 1.79), Q (32) = 145.88, *p* 0.00, y un valor del test I^2 de 78.06%, que corresponde a una heterogeneidad alta. Mientras que el tercer subgrupo presentó cinco estudios que corresponden a temperaturas > 25 °C, mostrando un Odds-Ratio de 2.22 y un IC de (0.29, 4.15), Q (4) = 15.78, *p* 0.00, y un valor del test I^2 de 74.65%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. El metaanálisis global analizó los 41 estudios y dio como resultado un Odds-Ratio de 1.37 y un IC de (0.96, 1.78), Q (40) = 176.41, *p* 0.00 y un valor del test I^2 de 77.33%, que corresponde a una heterogeneidad alta. El tamaño del efecto específico del grupo general presentó diferencia significativa (Q_b = (2) = 1.05, *p* =0.59).

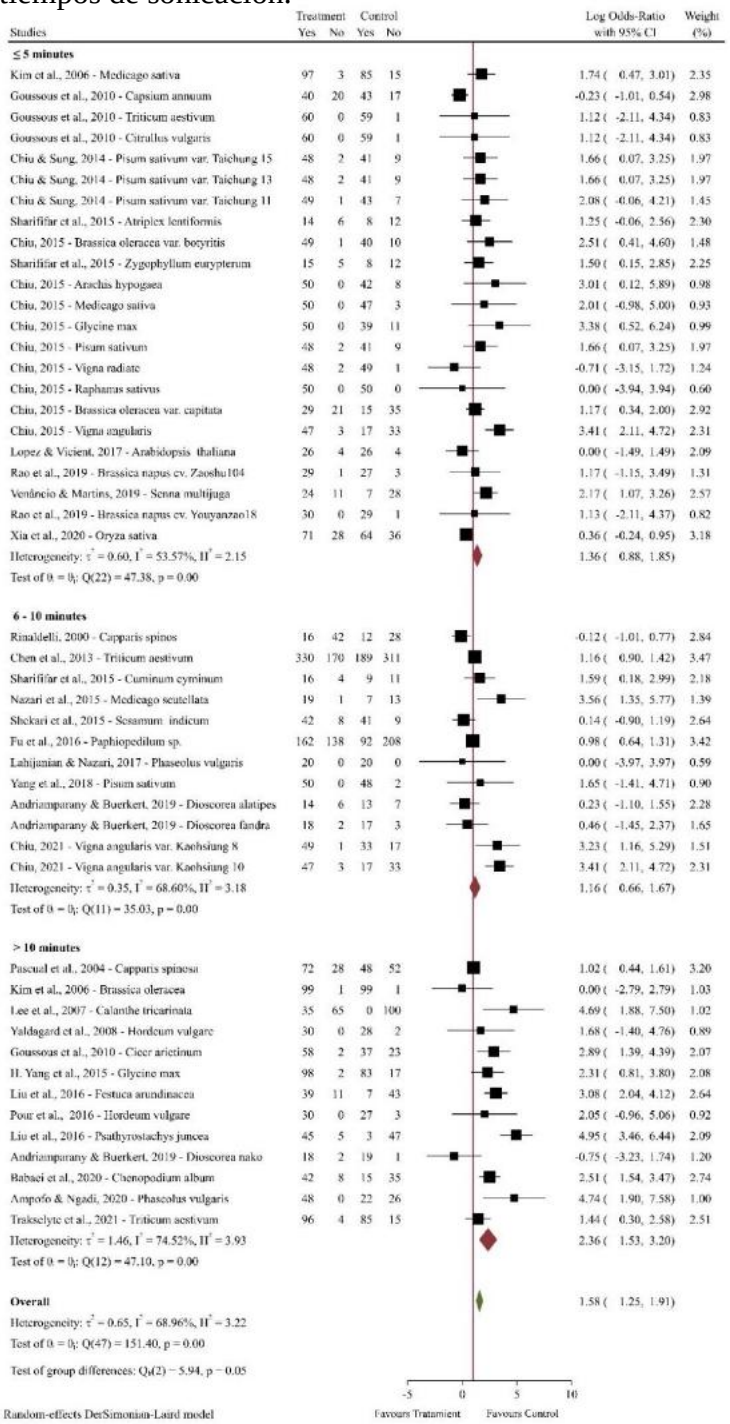
Figura 4.

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



El resultado del Forest Plot que se realizó para analizar el efecto del tratamiento pre germinativo de semillas de acuerdo a los tiempos de sonicación (Figura 5), el primer subgrupo presentó 23 estudios correspondiente con un tiempo ≤ 5 minutos, el cual mostró un Odds-Ratio de 1.36 y un IC de (0.88, 1.85), Q (22) = 47.38, *p* 0.00 y un valor del test I^2 de 53.57%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. El segundo subgrupo presentó 12 estudios correspondiente a tiempo de sonicación entre 6 a 10 minutos, el cual mostró un Odds-Ratio de 1.16 y un IC de (0.66, 1.67), Q (11) = 35.03, *p* 0.00 y un valor del test I^2 de 68.60%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. Mientras que el tercer subgrupo presentó 13 estudios correspondiente a un tiempo de sonicación > 10 minutos, mostrando un Odds-Ratio de 2.36 y un IC de (1.53, 3.20), Q (12) = 47.10, *p* 0.00 y un valor del test I^2 de 74.52%, que corresponde a una heterogeneidad moderada. El metaanálisis global analizó los 48 estudios y dio como resultado un Odds-Ratio de 1.58 y un IC de (1.25, 1.91), Q (47) = 151.40, *p* 0.00 y un valor del test I^2 de 77.33%, que corresponde a una

Figura 5. Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido en diferentes tiempos de sonicación.

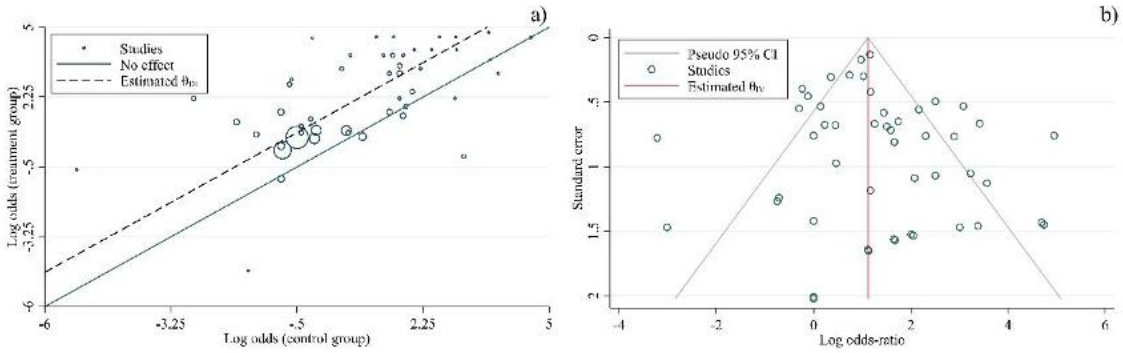


heterogeneidad alta. El tamaño del efecto específico del grupo general presentó diferencia significativa (Q_b = (2) = 5.94, p =0.05).

Se representó de forma gráfica la heterogeneidad de los estudios en el metaanálisis a través del L'Abbé Plot (Figura 6a) y mediante el Funnel Plot se evidenció una distribución simétrica de los estudios esparcidos a lo largo del eje x, pero aun centrado en las estimaciones de Odds-Ratio, lo que descarta sesgo de publicación como una amenaza en la valides de los resultados del metaanálisis (Figura 6b).

Figura 6.

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



Discusión

Se ha definido el ultrasonido como ondas sonoras que tienen una frecuencia que excede el límite auditivo para el oído humano (~ 20 kHz) (Awad et al., 2012; Chiu, 2021). La revisión actualizada de literatura, revela que las técnicas de ultrasonido como tratamiento pre germinativo de semillas, son una alternativa como métodos de estimulación física de alta eficiencia (Wang et al., 2019), además es respetuoso con el ambiente (Ding et al., 2018). Sin embargo, los resultados de la efectividad del tratamiento se ven limitados en las técnicas de ultrasonidos aplicada (frecuencia, duración de sonicación y temperatura del agua), ya que tienen diferentes grados de influencia en la germinación (Venâncio & Martins, 2019). Por lo tanto, se ha 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 pre germinativo de semillas (Liu et al., 2021; Rifna et al., 2019; Trakselyte et al., 2021; Wang et al., 2019). 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, mediante métodos

estadísticos que ayuden a sacar conclusiones más generales a partir de revisiones exhaustivas y metaanálisis.

Los resultados de la presente investigación demuestran evidencias que el tratamiento de semillas con técnicas de ultrasonido previo a la siembra, alteran los porcentajes de germinación. Este es el primer estudio metaanalítico sobre el efecto que presentan las técnicas de ultrasonido como tratamiento pre germinativo de semillas. Según los hallazgos estadísticos del Forest Plot, en el análisis de las frecuencias de ultrasonido que se aplicaron en los diferentes trabajos reportados (Figura 3), indicaron que los estudios con frecuencias de ultrasonido ≤ 30 KHz, aumentaron significativamente los porcentajes de germinación, mientras que los estudios cuyas frecuencias de sonicación fueron > 30 KHz el control presentó respuesta significativa, lo que evidencia un efecto negativo al tratamiento. Los resultados del segundo Forest Plot, en el cual se agrupó los estudios de acuerdo a la temperatura del agua (Figura 4), presentó que el agua en condiciones ambientales, no mostró diferencia significativa, lo que se evidencia un efecto nulo al tratamiento. En cuanto a los estudios que la temperatura del agua fue ≤ 25 °C, presentó un efecto significativo a favor del control. De igual manera los estudios con temperaturas > 25 °C que presentaron un comportamiento similar. Mientras que los hallazgos estadísticos del Forest Plot en el análisis de los estudios de acuerdo a los tiempos de sonicación (Figura 5), se pudo evidenciar que los tres subgrupos analizados (≤ 5, 6-10 y > 10 minutos) presentaron diferencias significativas a favor del control.

El metaanálisis global para cada variable analizada (frecuencia, temperatura y tiempo de sonicación) mostró diferencia significativa a favor del control. Por lo tanto, el efecto del uso de técnicas de ultrasonido como tratamiento pre germinativo de semillas, estadísticamente no resultó ser un método eficiente de acuerdo a los resultados de los metaanálisis de esta investigación, pero se debe considerar que las frecuencias ≤ 30 KHz ejercen un aumento significativo en los porcentajes de semillas germinadas, al que se le debe prestar atención y ser explorado.

Se ha reportado que la actividad de la α-amilasa de las semillas tratadas con ultrasonido, se ven influenciada por la frecuencia y tiempo de sonicación, evidenciándose un aumento en la actividad enzimática del 48.46% y 45.27% (Yaldagard et al., 2008a, 2008b), mejoran el crecimiento celular estimulando varios mecanismos fisiológicos (Liu et al., 2003; Pitt & Ross, 2003), presentan mayor absorción del agua durante la hidratación, debido a que las ondas ultrasónicas aumentan la porosidad de la pared de la semilla (Patero & Augusto, 2015; Yildirim et al., 2010), mejora la movilidad de los nutrientes del

endospermo por la ruptura de la membrana celular (Miano et al., 2015). También se ha reportado que con la frecuencia, tiempo de sonicación y temperatura adecuada, se produce un aumento significativo en los porcentajes de semillas germinadas, en comparación con semillas no tratadas (Ampofo & Ngadi, 2020; Chiu, 2021; Liu et al., 2016; Sharififar et al., 2015; Trakselyte et al., 2021; Yang et al., 2015).

Se destaca que los hallazgos encontrados en la evaluación de la calidad metodológica de los estudios individuales mediante el análisis de riesgo de sesgo, el 84.90% reportaron que hubo uniformidad de semillas (sin defectos, malformaciones o daños por insectos), el 83.02% indicaron que se esterilizó las semillas, el 88.68% de los estudios informaron que la germinación de las semillas se la realizó en condiciones controladas (temperatura, humedad y fotoperiodo) y el 71.70% reportaron claridad metodológica en la aplicación de las técnicas de ultrasonido como tratamientos pre germinativos (frecuencia, temperatura del agua y tiempo de sonicación). Por lo tanto, estos resultados indican un bajo riego de sesgo y alta calidad en los resultados presentes en este estudio.

La evaluación del riego de sesgo es la valoración critica de la validez interna de un estudio incluido en una revisión sistemática (Boutron et al., 2019). De manera que, es fundamental que se siga un proceso de evaluación critica para garantizar la confianza en sus hallazgos al interpretar los tamaños del efecto de un metaanálisis (Abraha et al., 2015; Bo et al., 2021). Se ha reportado un estudio que evalúa la calidad metodológica de los estudios incluidos en el metaanálisis mediante el análisis de riesgo de sesgo para tratamientos pre germinativos de semillas con campos magnéticos (Ureta-Leones et al., 2021).

Conclusiones

Los hallazgos estadísticos de la presente investigación mediante el metaanálisis global que se realizó para las tres variables (frecuencia, temperatura del agua y tiempo de sonicación), el control presentó mejor respuesta, lo que evidencia un efecto negativo al tratamiento pre germinativo con técnicas de ultrasonido, pero se debe considerar que en el análisis de la frecuencia a través de sub grupos, los estudios cuya frecuencia ≤ 30 KHz presentaron un efecto significativo a favor del tratamiento.

Los resultados del análisis del riesgo de sesgo identificaron las particulares metodológicas en las que se sometieron los estudios individuales, dando como resultado general un bajo riego de sesgo, indicando una alta calidad en los resultados presentes en este estudio.

Se recomienda explorar tratamientos pre germinativos de semillas con técnicas de ultrasonido con frecuencias ≤ 30 KHz, debido a que se ha demostrado un aumento significativo del porcentaje de germinación con respecto al control y además se han reportado pocos estudios con estas frecuencias.

Referencias

Abraha, I., Cherubini, A., Cozzolino, F., De Florio, R., Luchetta, M. L., Rimland, J. M., Folletti, I., Marchesi, M., Germani, A., Orso, M., Eusebi, P., & Montedori, A. (2015). Deviation from intention to treat analysis in randomised trials and treatment effect estimates: Meta-epidemiological study. *BMJ (Online)*, *350*. https://doi.org/10.1136/bmj.h2445

Ampofo, J. O., & Ngadi, M. (2020). Ultrasonic assisted phenolic elicitation and antioxidant potential of common bean (Phaseolus vulgaris) sprouts. *Ultrasonics Sonochemistry*, *64*(January), 104974. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104974

Andriamparany, J. N., & 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*, *66*(6), 1167–1174. https://doi.org/10.1007/s10722-019-00779-5

Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., & Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, *48*(2), 410–427. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004

Babaei, A., Alebrahim, M. T., MacGregor, D. R., Khatami, S. A., & Hasani Nasab Farzaneh, R. (2020). Evaluation of ultrasound technology to break seed dormancy of common lambsquarters (Chenopodium album). *Food Science and Nutrition*, *8*(6), 2662–2669. https://doi.org/10.1002/fsn3.1547

Bo, A., Hai, A. H., Chen, D. G., & Hammock, K. (2021). Risk of bias assessments in systematic reviews and meta-analyses of behavioral interventions for substance use outcomes. In *Journal of Clinical Epidemiology* (Vol. 139, pp. 20–27). Pergamon. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.06.012

Boutron, I., Page, M. J., Higgins, J. P., Altman, D. G., Lundh, A., & Hróbjartsson, A. (2019). Considering bias and conflicts of interest among the included studies. In *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* (pp. 177–204). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119536604.ch7

Chen, Y. P., Liu, Q., Yue, X. Z., Meng, Z. W., & Liang, J. (2013). Ultrasonic vibration seeds showed improved resistance to cadmium and lead in wheat seedling. *Environmental Science and Pollution Research*, *20*(7), 4807–4816. https://doi.org/10.1007/s11356-012-1411-1

Chiu, K. Y. (2015). Ultrasonication-enhanced microbial safety of sprouts produced from selected crop species. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *88*, 120–126. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.017

Chiu, K. Y. (2021). Changes in microstructure, germination, sprout growth, phytochemical and microbial quality of ultrasonication treated adzuki bean seeds. *Agronomy*, *11*(6). https://doi.org/10.3390/agronomy11061093

Chiu, K. Y., & Sung, J. M. (2014). Use of ultrasonication to enhance pea seed germination and microbial quality of pea sprouts. *International Journal of Food Science and Technology*, *49*(7), 1699–1706. https://doi.org/10.1111/ijfs.12476

Ding, J., Hou, G. G., Dong, M., Xiong, S., Zhao, S., & Feng, H. (2018). Physicochemical properties of germinated dehulled rice flour and energy requirement in germination as affected by ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, *41*, 484–491. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.10.010

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*(2), 455–463. https://doi.org/10.1111/J.0006-341X.2000.00455.X

Dziwulska-Hunek, A., Szymanek, M., & Stadnik, J. (2020). Impact of pre-sowing red light treatment of sweet corn seeds on the quality and quantity of yield. *Agriculture (Switzerland)*, *10*(5), 165. https://doi.org/10.3390/agriculture10050165

Fu, Y. Y., Jiang, N., Wu, K. L., Zhang, J. X., Da Silva, J. A. T., Duan, J., Liu, H. T., & Zeng, S. J. (2016). Stimulatory effects of sodium hypochlorite and ultrasonic treatments on tetrazolium staining and seed germination in vitro of Paphiopedilum SCBG red jewel. *Seed Science and Technology*, *44*(1), 77–90. https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.1.13

García-Perdomo, H. A. (2015). Basic concepts on systematic review and meta-analysis. *Urologia Colombiana*, *24*(1), 28–34. https://doi.org/10.1016/j.uroco.2015.03.005

Goussous, S. J., Samarah, N. H., Alqudah, A. M., & Othman, M. O. (2010). Enhancing seed germination of four crop species using an ultrasonic technique. *Experimental Agriculture*, *46*(2), 231–242. https://doi.org/10.1017/S0014479709991062

Guimarães, B., Polachini, T. C., Augusto, P. E. D., & 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*, *155*. https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108045

Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. In *British Medical Journal* (Vol. 327, Issue 7414, pp. 557–560). British Medical Journal Publishing Group. https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557

Jak, S. (2015). *Meta-Analytic Structural Equation Modelling*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27174-3

Kim, H. J., Feng, H., Kushad, M. M., & Fan, X. (2006). Effects of ultrasound, irradiation, and acidic electrolyzed water on germination of alfalfa and broccoli seeds and Escherichia coli O157:H7. *Journal of Food Science*, *71*(6), 168–173. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00064.x

Lahijanian, S., & Nazari, M. (2017). Increasing Germination Speed of Common Bean (Phaseolus vulgaris) Seeds by Ultrasound Treatments. *Seed Technology Is an International Journal Serving Seed Science and Technology*, *38*(1), 49–55. https://www.jstor.org/stable/26625393

Leandro, G. (2007). Meta-Analysis in Medical Research: The Handbook for the Understanding and Practice of Meta-Analysis. In *Meta-Analysis in Medical Research: The Handbook for the Understanding and Practice of Meta-Analysis*. https://doi.org/10.1002/9780470994894

Lee, Y. I., Lu, C. F., Chung, M. C., Yeung, E. C., & 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*, *132*(2), 246–252. https://doi.org/10.21273/jashs.132.2.246

Liu, H. K., Li, Z. H., Zhang, X. W., Liu, Y. P., Hu, J. G., Yang, C. W., & Zhao, X. Y. (2021). The effects of ultrasound on the growth, nutritional quality and

microbiological quality of sprouts. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 111, pp. 292–300). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.065

Liu, J., Wang, Q., Dura, K., Liu, X., Cui, J., Gui, J., Gu, M., & 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*, *6*(March), 1–12. https://doi.org/10.1038/srep22403

Liu, Y., Takatsuki, H., Yoshikoshi, A., Wang, B., & Sakanishi, A. (2003). Effects of ultrasound on the growth and vacuolar H+-ATPase activity of aloe arborescens callus cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *32*(2), 105–116. https://doi.org/10.1016/S0927-7765(03)00150-4

López, I., & Vicient, C. M. (2017). Use of ultrasonication to increase germination rates of Arabidopsis seeds. *Plant Methods*, *13*(1), 1–6. https://doi.org/10.1186/s13007-017-0182-6

Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugia Espanola*, *91*(3), 149–155. https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2011.07.009

Matuoka, M. A., Benchimol, M., Almeida-Rocha, J. M. de, & Morante-Filho, J. C. (2020). Effects of anthropogenic disturbances on bird functional diversity: A global meta-analysis. *Ecological Indicators*, *116*, 106471. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106471

Mechanisms, P., Which, B. Y., & Seeds, W. A. (2016). *DOI: 10.1515/plass - 2016 - 0017*. *74*. https://doi.org/10.1515/plass

Miano, A. C., & Duarte, P. E. A. (2018). The ultrasound assisted hydration as an opportunity to incorporate nutrients into grains. *Food Research International*, *106*(January), 928–935. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.006

Miano, A. C., Forti, V. A., Abud, H. F., Gomes-Junior, F. G., Cicero, S. M., & Augusto, P. E. D. (2015). Effect of ultrasound technology on barley seed germination and vigour. *Seed Science and Technology*, *43*(2), 297–302. https://doi.org/10.15258/sst.2015.43.2.10

Miano, A. C., Sabadoti, V. D., & Augusto, P. E. D. (2019). Combining Ionizing Irradiation and Ultrasound Technologies: Effect on Beans Hydration and Germination. *Journal of Food Science*, *84*(11), 3179–3185. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14819

Miano, Alberto Claudio, & Augusto, P. E. D. (2018). The ultrasound assisted hydration as an opportunity to incorporate nutrients into grains. *Food Research International*, *106*(January), 928–935. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.006

Miano, Alberto Claudio, Sabadoti, V. D., & Augusto, P. E. D. (2019). Combining Ionizing Irradiation and Ultrasound Technologies: Effect on Beans Hydration and Germination. *Journal of Food Science*, *84*(11), 3179–3185. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14819

Molinero, L. M. (2008). Metaanálisis, una guía rápida para lectores y usuarios. *Hipertension*, *25*(3), 108–120. https://doi.org/10.1016/S0212-8241(08)70882-X

Nazari, M., Sharififar, A., & Asghari, H. R. (2015). Medicago Scutellata Seed Dormancy Breaking by Ultrasonic Waves. *Plant Breeding and Seed Science*, *69*(1), 15–24. https://doi.org/10.1515/plass-2015-0002

Pandiselvam, R., Mayookha, V. P., Kothakota, A., Sharmila, L., Ramesh, S. V., Bharathi, C. P., Gomathy, K., & Srikanth, V. (2020). Impact of Ozone Treatment on Seed Germination–A Systematic Review. In *Ozone: Science and Engineering* (Vol. 42, Issue 4, pp. 331–346). Taylor & Francis. https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1673697

Pascual, B., San Bautista, A., Imbernón, A., López-Galarza, S., Alagarda, J., & Maroto, J. V. (2004). Seed treatments for improved germination of caper (Capparis spinosa). *Seed Science and Technology*, *32*(2), 637–642. https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.2.33

Patero, T., & Augusto, P. E. D. (2015). Ultrasound (US) enhances the hydration of sorghum (Sorghum bicolor) grains. *Ultrasonics Sonochemistry*, *23*, 11–15. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.021

Pitt, W. G., & Ross, S. A. (2003). Ultrasound increases the rate of bacterial cell growth. *Biotechnology Progress*, *19*(3), 1038–1044. https://doi.org/10.1021/bp0340685

Pour, M. E., Hobbi, M., Ghasemi, H., & Nazari, M. (2016). Plausible Mechanisms by Which Ultrasonic Waves Affect Seeds. *Plant Breeding and Seed Science*, *74*(1), 85–92. https://doi.org/10.1515/plass-2016-0017

Rao, G., Huang, S., Ashraf, U., Mo, Z., Duan, M., Pan, S., & Tang, X. (2019). Ultrasonic seed treatment improved cadmium (Cd) tolerance in Brassica napus L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *185*(September), 109659. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109659

Rifna, E. J., Ratish Ramanan, K., & Mahendran, R. (2019). Emerging technology applications for improving seed germination. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 86, pp. 95–108). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.029

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*, *14*(4), 182–188. https://doi.org/10.1400/14062

Sharififar, A., Nazari, M., & 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*, *2*(3), 102–104. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.05.003

Shekari, F., Mustafavi, S. H., & Abbasi, A. (2015). Sonication of seeds increase germination performance of sesame under low temperature stress. *Acta Agriculturae Slovenica*, *105*(2), 203–212. https://doi.org/10.14720/aas.2015.105.2.03

Singureanu, V., Ungur, R., Onac, I., Kovacs, M. H., Moldovan, G., & Singureanu, V. (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*, *43*(1), 146–152. https://doi.org/10.15835/nbha4319973

Song, F. (1999). Exploring Heterogeneity in Meta-Analysis: Is the L'Abbé Plot Useful? *Journal of Clinical Epidemiology*, *52*(8), 725–730. https://doi.org/10.1016/S0895-4356(99)00066-9

Trakselyte, K., Juodeikiene, G., Cernauskas, D., Bartkiene, E., Klupsaite, D., Zadeike, D., Bendoraitiene, J., Damasius, J., & Ignatavicius, J. (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), 1–13. https://doi.org/Doi.org/10.3390/plants10071319

Ureta-Leones, D., García-Quintana, Y., Vega-Rosete, S., Pérez-Morell, L., Bravo-Medina, C. A., & Arteaga-Crespo, Y. (2021). Effect of pre-germination treatment with direct magnetic field exposure: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Forest Research*, 1–10. 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. In *Medicina Clínica* (Vol. 135, Issue 11, pp. 507–511). http://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/public/uploads/PRISMA_Spanish.pdf

Venâncio, R. S. da S., & Martins, A. C. G. (2019). Overcoming dormancy of Senna multijuga seeds with an ultrasonic probe the comparison with ultrasound and sulfuric acid baths. *Ciencia Rural*, *49*(9). 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 Science and Technology Research*, *25*(4), 489–497. https://doi.org/10.3136/fstr.25.489

Wu, Y., Li, W., Martin, G. J. O., & Ashokkumar, M. (2021). Mechanism of low-frequency and high-frequency ultrasound-induced inactivation of soy trypsin inhibitors. *Food Chemistry*, *360*, 130057. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130057

Xia, Q., Tao, H., Li, Y., Pan, D., Cao, J., Liu, L., Zhou, X., & 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*, *108*(June 2019), 106827. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106827

Yaldagard, M., Mortazavi, S. A., & Tabatabaie, F. (2008a). 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*, *114*(1), 14–21. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00300.x

Yaldagard, M., Mortazavi, S. A., & Tabatabaie, F. (2008b). Influence of ultrasonic stimulation on the germination of barley seed and its alpha-amylase activity. *African Journal of Biotechnology*, *7*(14), 2465–2471. https://doi.org/10.4314/ajb.v7i14.59035

Yang, H., Gao, J., Yang, A., & Chen, H. (2015). The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts. *Food Research International*, *77*, 704–710. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.011

Yang, Z., Li, X., Tao, Z., Luo, N., & Yu, F. (2018). Ultrasound-assisted heat pump drying of pea seed. *Drying Technology*, *36*(16), 1958–1969. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1430041

Yildirim, A., Öner, M. D., & Bayram, M. (2010). Modeling of water absorption of ultrasound applied chickpeas (Cicer arietinum L.) using Peleg's equation. *Tarim Bilimleri Dergisi*, *16*(4), 278–286. https://doi.org/10.1501/tarimbil_0000001148