UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR EN OBTENCION DEL TÌTULO DE INGENIERO FORESTAL

TEMA:

“EFECTO DEL TRATAMIENTO PRE GERMINATIVO CON EXPOSICIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO DIRECTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS”

AUTORA:

MARÍA DANIELA BARREZUETA ÁVILA

DIRECTOR DEL PROYECTO:

PhD. YASIEL ARTEAGA

PUYO-ECUADOR

JULIO 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.

Quien suscribe, María Daniela Barrezueta Ávila portador de la cédula de identidad N° 1721488417 , hago constar que soy el autor del Trabajo de Integración Curricular titulado: "EFECTO DEL TRATAMIENTO PRE GERMINATIVO CON EXPOSICIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO DIRECTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. Yasiel Arteaga Crespo. En el sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 21 días del mes de julio del 2021.



_____

María Daniela Barrezueta Ávila

C.I: 1721488417

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

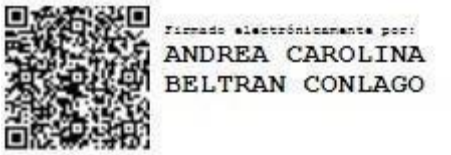
El tribunal de sustentación del Trabajo de Integración Curricular aprueba el proyecto de Investigación titulado : “EFECTO DEL TRATAMIENTO PRE GERMINATIVO CON EXPOSICIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO DIRECTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS”.



_____ Dr.

Luis Antonio Díaz Suntaxi PhD.

PPRESIDENTE DEL TRIBUNAL



_____

Dra. Andrea Carolina Beltrán Conlago

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



_____

Dra. María Catarina Elisabeth de Decker, PhD

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Certificado No. 219-SAU-UEA-2021

Puyo, 27 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a la estudiante: María Daniela Barrezueta Avila, con C.I. 1721488417, con el Tema: **"EFECTO DEL CAMPO MAGNÉTICO SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS EN VIVERO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META ANÁLISIS.",** de la carrera, Ingeniaría Forestal. Director de la investigación, Dr. Yasiel Arteaga Crespo, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 6%, Informe generado con fecha 22 de julio de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ITALO
MARCELO

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA PLAGIO

Quien suscribe el presente Dr. Yasiel Arteaga Crespo con cédula de identidad N° 1757016256 certifica que el Trabajo de Integración Curricular titulado: "EFECTO DEL TRATAMIENTO PRE GERMINATIVO CON EXPOSICIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO DIRECTO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS", ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 6 %.

En el cantón Pastaza, a los 21 días del mes de julio del 2021.



_____

Dr. Yasiel Arteaga Crespo, PhD.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, María Daniela Barrezueta Ávila , declaro que el presente trabajo de integración curricular , es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.



_____

María Daniela Barrezueta Ávila

C.I: 1721488417

DEDICATORIA

Dentro de mi recorrido por la vida me pude dar cuenta que hay muchas cosas para las que soy buena, encontré destrezas y habilidades que jamás pensé se desarrollasen en mí, es por eso que este proyecto de titulación se lo dedico a mis madres y seres de luz Bella Ávila y Katherine Barrezueta por estar siempre a mi lado, brindándome su mano amiga en cada instante, una palabra de aliento siempre salió de sus bocas para poder llegar a culminar mi profesión, a mi amado compañero de vida Jonathan Angulo y mi hija Janny Katherine quienes se convirtieron en un pilar fundamental para mi formación, a mis hermanos que son mi más grande orgullo a mis tíos, primos y familia en general, Dios le pague.

AGRADECIMIENTO

Durante nuestra vida estudiantil hemos recibido sabias enseñanzas, acrisolando el espíritu y cultivando la mente con la simiente de virtudes cívica y moral.

Primeramente, quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias en los momentos que más necesité y bendecirme con la posibilidad de caminar a su lado durante estos años, también agradezco a mis madres Bella Ávila y Katherine Barrezueta por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes a mis hermanos Doménica e Ian que con su apoyo hicieron posible conseguir esta meta; gracias a mi compañero de vida Jonathan Angulo por sus consejos, preocupación y sobre todo por ayudarme y permitirme alcanzar mi sueño, a la luz de mis ojos mi hija Janny Katherine por ser mi motivación para poder superarme cada día ya si poder tener un futuro mejor .

Además, expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Estatal Amazónica y docentes de carrera de Ingeniería forestal quienes han contribuido con sus conocimientos y criterios oportunos para mi formación profesional, a mi director de tesis el Dr. Yasiel Arteaga por las sugerencias y consejos para poder culminar mi tesis de grado. Finalmente, quiero agradecer a todos mis amigos, amigas y compañeros de clases que por motivos de espacio no constan en esta lista, pero un agradecimiento particular para mi mejor amigo de la Concordia Diego Ureta gracias por tanto mi querido amigo.

Daniela

RESUMEN

Hoy en día son muchos los esfuerzo en la búsqueda de tecnologías que favorezcan los procesos de germinación en semillas agrícolas y forestales, teniendo en cuenta cuales son las intensidades óptimas para aumentar el valor de semillas germinadas El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto del tratamiento pre germinativo con exposición de semillas a campo magnético directo, a partir de la revisión sistemática y metaanálisis. La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos de Scopus y Web of Sciences. El cálculo y la declaración del tamaño del efecto se realizó a través de comparación de resultados binarios aplicando el registro Odds-Radio con un intervalo de confianza (CI) del 95%. Se aplicó random-effects con el método DerSimonian and Laird. Se encontraron un total de 175 artículos de los cuales solo 26 fueron aceptados para la revisión sistemática y metaanálisis. Se realizaron tres subgrupos de acuerdo a las intensidades de exposición de semillas a campo magnético directo. El subgrupo correspondiente a intensidades entre 1 – 50 mT presento un Odds Radio de 0.49 con CI (0.19, 0.79), Q (14) = 24.77, p=0.04, indicando un efecto significativo al favor del tratamiento. En cuanto a los subgrupos restantes no mostraron efecto significativo. El metaanálisis global revelo un efecto significativo a favor del tratamiento, con un Odds Radio de 0.68, un CI (0.41, 0.94), Q (28) = 44.03, p= 0.03. A partir de los estudios incluidos en el metaanálisis se pudo comprobar la eficacia de tratamiento pre germinativo de semillas con exposición de campo magnéticos directo, demostrando que pueden ser empleados para incrementar los porcentajes de semillas germinadas.

Palabras claves: Forest plot, ·germinación, · Olds-ratio · semillas

ABSTRACT

The search for ecological technologies that favour germination processes in agricultural and forestry seeds is a topic of interest as an environmentally friendly option. This study was a systematic review and metaanalysis to examine whether magnetic field direct exposure of seeds has a specific effect on germination. Using Scopus (2000–2020) and Web of Science (2000–2020) databases, a bibliographic search was carried out using the following expressions (pre-sowing AND seed AND magnetic) to filter the references in the title, abstract and keywords of the articles published. The calculation and declaration of the effect size was performed by comparing binary results through applying the Odds-Ratio register with a 95% confidence interval (CI). The random effects model was applied with the DerSimonian and Laird method. A total of 175 articles were found, of which only 26 were accepted for systematic review and meta-analysis. Three subgroups were established according to the magnetic field strengths. The subgroup corresponding to intensities between 1 and 50 mT presented an Odds-Ratio of 0.49 with a CI of (0.19, 0.79), Q (14) = 24.77, p = 0.04, indicating that the treatment had a significant effect. The remaining subgroups showed no significant effect. Likewise, the global meta-analysis revealed a significant effect in favour of the treatment, with an Odds-Ratio of 0.68, a CI of (0.41, 0.94), Q (28) = 44.03, p = 0.03. From the studies included in the meta-analysis, the results show a significant effect of seed direct exposure to magnetic fields that can be used to increase seed germination
Keywords: Forest plot, · Germination, · Olds-ratio, · Seeds

Tabla de contenidos

CAPÍTULO I 14
1.1 Introducción 14
1.2 Planteamiento del problema 15
1.3 Problema científico 15
1.4 Objetivos 16
1.4.1 Objetivo general 16
1.4.2 Objetivos específicos 16
1.5 Justificación 17
CAPÍTULO II 18
2. Fundamentación teórica 18
2.1 Concepto Campos magnéticos 18
2.2 El magnetismo como posible tratamiento pre-germinativo 18
2.3 Efectos del magnetismo natural en las especies vegetales 19
2.4 Importancia de exposición de semillas a campos magnéticos 21
2.5 Campos Magnéticos sobre la germinación de semillas 22
2.6 Campos Magnéticos Directos 22
2.7 La revisión sistemática 22
2.8 Metaanálisis 23
2.9 Objetivo de un metaanálisis 23
2.10 Pasos para el metaanálisis 24
2.11 Sesgo de publicación 24
2.12 Declaración quórum 24
2.13 Declaración prisma 25
CAPÍTULO III 26
3. Metodología de la investigación 26
3.1 Tipo de investigación 26
3.2 Método de investigación 26
3.3 Metodología de la investigación 26
3.3.1 Búsqueda y selección de datos 26

3.3.2 Extracción de datos 27
3.3.3 Evaluación de riego de sesgo 27
3.3.4 Análisis de datos 27
CAPÍTULO VI 29
4. RESULTADOS Y RECOMENDACIONES 29
4.1.1 Búsqueda y selección de artículos 29
4.1.2 Revisión sistemática de los artículos encontrados 30
4.1.3. Evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos en el metaanálisis . 35
4.2 CONCLUSIONES 42
4.3 RECOMENDACIONES 43
CAPITULO V 44
5. Referencia bibliográfica 44

Tabla de Gráficos

Figura 1. Radiación electromagnética 18
Figuran 2. Campo Magnético de la Tierra 19
Figura 3. Diagrama de flujo de la búsqueda y selección estudios de metaanálisis en la base de datos Wed of Sciences y Scopus. 29
Figura 4. Evaluación de la calidad metodológica a través del análisis de riego de sesgo .. 36
Figura 5. Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con exposición a un campo magnético directo a diferentes intensidades 39
Figura 6. Representación gráfica de la heterogeneidad de los estudios en el metaanálisis utilizando L'Ábel Plot (a). Funnel Plot de los estudios incluidos en el metaanálisis (b). 40

Tabla 1. Características de los estudios de METANALISIS 34

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

En las últimas décadas se ha reportado un crecimiento exponencial acerca de la investigación y el conocimiento en las diferentes disciplinas científicas, además de la búsqueda de nuevas tecnologías ecológicas que aceleren el proceso de germinación de semillas es decir son cada vez más numerosas las investigaciones que abordan el tema de germinación a Campo magnético ya que se ha demostrado la relación causa y efecto entre los tratamientos campo magnético (MF) y como estos afectan el metabolismo y el crecimiento de las diferentes semillas de plantas dependiendo del tipo de intensidad MF, duración de la exposición y la polaridad, orientación (Teixeira da Silva & Dobránszki, 2016).

Los tratamientos químicos usualmente empleados para lograr el incremento en los porcentajes de semillas forestales germinadas, de manera general no son amigables con el medio ambiente ya que además de ser laboriosos y costosos, han demostrado un efecto positivo en la etapa de germinación. Usando los métodos de campo magnético el vigor influye en las propiedades de las semillas donde se determina el potencial y desarrollo rápido e uniforme de plántulas normales en una amplia gama de condiciones de campo en la cual los MF pueden servir tanto en la agricultura e silvicultura como pretratamiento físico para las semillas (Vasilevski2003).

Al exponer semillas de *Vigna radiate* a un campo magnético Reddy et al. (2012) encontraron un incremento de la enzima alfa-amilasa y consecuentemente un incremento en la germinación. Otros investigadores como por ejemplo Vashisth & Nagarajan (2010) han reportado que durante la germinación de semillas de *Helianthus annuus*, expuestas a un campo magnético estático se incrementó de manera significativa la actividad de las enzimas □-amilasa, deshidrogenasa y proteasa en contraste con las del control. En el caso de las semillas de *Allium cepa* (Angel De Souza et al., 2014), *Glycine max* (Asghar et al., 2017) y *Zinnia elegans* (Afzal et al., 2016a),se ha documentado efectos positivos en la aplicacioin de campos electromagnéticos ya que se incrementó su germinación además también se evidencio el efecto nulo sobre *Triticum durum* (Muszynski et al., 2009), y *Lupinus luteus* (A Sujak et al., 2013) o negativo en *Medicago sativa* (A Sujak et al., 2013) y *Spinacia oleracea* (Alpsoy & Unal, 2019).

Es por esto que el metaanálisis es un método analítico que permite la combinación de estudios y condiciones diferentes mostrando un único resultado común (Curtis & Wang, 1998; Jak, 2015; Leandro, 2008). Los resultados de esta investigación contribuirán a ampliar las evidencias del efecto del tratamiento con campos magnéticos sobre la germinación

1.2 Planteamiento del problema

Anteriormente no existía un gran número de estudios en metaanálisis que reporten el efecto que tiene un tratamiento pre germinativo con campos magnéticos directos sobre la germinación de semillas, sin embargo en la última década se ha reportado un crecimiento exponencial acerca de investigación y conocimiento en las diferentes disciplinas científicas, además de la búsqueda de nuevas tecnologías ecológicas que aceleren el proceso de germinación de semillas, ya que años atrás los estudios de metaanálisis eran mayormente utilizados para estudios en el área de salud basada en la evidencia, a pesar de las ventajas que presenta el metaanálisis para analizar información en grandes cantidades (GarcíaPerdomo, 2015).

Se ha reportado un sin número de estudios que evalúan los tratamientos de semillas con campos magnéticos directos en los cuales, cuyos resultados han sido contradictorios, se han mostrado efectos positivos en el que se ha logrado aumentar los porcentajes de semillas germinadas y efectos negativos inhibiendo la germinación de semillas. Dentro de la bibliografía reportada se evidencia una gran variedad de métodos en las aplicaciones de tratamientos de semillas con campos magnéticos, dichas variaciones se enmarcan en la intensidad de exposición y tiempo de exposición de las semillas tratadas, cuyas variables sus valores óptimos para lograr tener un criterio general de la estimulación de semillas y efectividad del tratamiento aun no queda claro, debido a múltiples contradicciones de la literatura reportada.

1.3 Problema científico

¿Qué efecto tiene la intensidad de un campo magnético directo, sobre la germinación de semillas agrícolas y forestales?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar el efecto del tratamiento pre germinativo con exposición de semillas a campo magnético directo, a partir de la revisión sistemática y metaanálisis.

1.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar artículos publicados en revistas de bases de datos (Scopus y Web of Sciences) que evalúen tratamientos pre germinativos con exposición de semillas a campo magnético directo.
- Evaluar la calidad metodológica de los tratamientos pre germinativo con exposición de semillas a campo magnético directo en los artículos seleccionados, a través de la evaluación de riego de sesgo.

1.5 Justificación

Hoy en día se realizan ingentes esfuerzos en la búsqueda de tecnologías de producciones limpias y ecológicamente compatibles con el ambiente que favorezcan los procesos de germinación de semillas agrícolas y forestales, así como un mejor posterior desarrollo y calidad de las plantas. Los tratamientos químicos, usualmente empleados para lograr incrementos en los porcentajes de semillas germinadas, de manera general, no son amigables con el ambiente, además de laboriosos y costosos (Agata Dziwulska-Hunek et al., 2020; Pandiselvam et al., 2020). Sin embargo, estos métodos han sido ampliamente usados, considerando sus demostrados efectos positivos sobre la germinación (Airi et al., 2009; M. S. Azad et al., 2010; S. Azad et al., 2011; Bian et al., 2013; Dashti et al., 2012; Rusdy, 2017) y en la actualidad se siguen empleando (Al Zoubi, 2020; Carruggio et al., 2020; Cho et al., 2020; Erfanzadeh et al., 2020), no obstante, se continúa en la búsqueda de inventivas menos contaminantes y más económicas.

La aplicación de métodos físicos es una alternativa que ha incentivado a la comunidad científica como opción a los tratamientos convencionales (A Dziwulska-Hunek et al., 2009; Perveen et al., 2010; Soliman & Harith, 2009), dentro de los que está cobrando importancia la aplicación de campos electromagnéticos (Antonova-Karacheva, 2020).

Algunos autores plantean que la aplicación de campos magnéticos altera algunos procesos fisiológicos y bioquímicos que ocurren en las semillas, tales como la actividad enzimática, producción celular, frecuencia respiratoria, biosíntesis de proteínas, actividad fotoquímica y contenido de ácidos nucleicos (Cakmak et al., 2010; Govindaraj et al., 2017; Stange et al., 2002), lo que favorece los procesos germinativos.

CAPÍTULO II

2. Fundamentación teórica

2.1 Concepto Campos magnéticos

El campo magnético está presente en la naturaleza y afecta al reino vegetal y animal. El bioelectromagnetismo es el estudio de los efectos de los campos electromagnéticos sobre los sistemas biológicos y sus interacciones con los campos magnéticos naturales y artificiales (Victoria et al., n.d.).

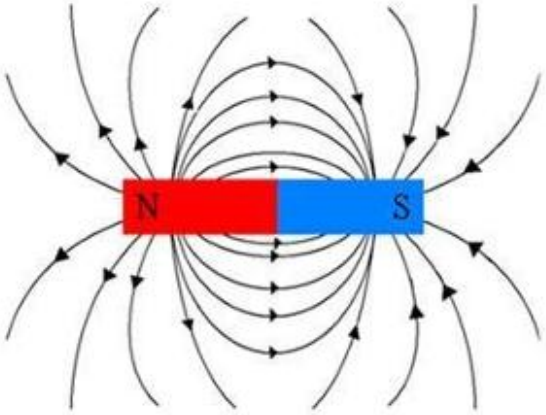


Figura 1. Radiación electromagnética

Los campos magnéticos pueden representarse por líneas de campo cuya dirección en cada punto puede representarse por un vector que recibe el nombre de campo magnético. El número de líneas de fuerza que atraviesan una superficie se denomina "flujo magnético a través de la superficie" y se representa por su valor será:

B es el campo magnético, S la superficie. El valor de ∅ en un punto de S es el ángulo entre los vectores B y ds en dicho punto. (M. V. Carbonell et al., 2017b)

$$\emptyset = \int B.ds = \int c\,os\emptyset.dS$$

2.2 El magnetismo como posible tratamiento pre germinativo

Uno de los retos de la humanidad es generar tecnologías respetuosas con el medio ambiente basados en tratamientos físicos y biológicos, los cuales permitan aumentar el poder germinativo de las semillas, vigor de las plántulas, entre otros. Actualmente, se ha demostrado que los campos magnéticos funcionan como un método pre germinativo, que

extiende cada vez más su popularidad, debido a que cumple con los requerimientos mencionados (M. V. Carbonell et al., 2017a).

Las plantas presentan respuesta a factores como la gravedad (Gravitropismo), las longitudes de onda de luz (Fototropismo), el contacto físico (Trigmotropismo), y al efecto geomagnético (Magnetotropismo) (Belyavskaya 2004; Maffei 2014); a su vez el campo geomagnético se conoce como un componente natural de nuestro entorno, el cual ha tenido incidencia durante todo el proceso de evolución de los organismos vivientes, de esta forma, se ha podido determinar que la Tierra cuenta con un campo magnético que se calcula dependiendo de la latitud, dicho campo oscila entre 0,4 y 0,6 mT (Victoria et al., n.d.).



Figuran 2. Campo Magnético de la Tierra

2.3 Efectos del magnetismo natural en las especies vegetales

Las fluctuaciones naturales de los campos magnéticos poseen un amplio espectro de efectos biológicos: ya que pueden influir en la velocidad de reacciones bioquímicas, en las condiciones fisiológicas de los organismos, en su tasa de crecimiento e incluso su muerte (M. V. Carbonell et al., 2017a). De hecho, para dichos autores el crecimiento está relacionado con la susceptibilidad magnética que presentan las semillas al campo magnético natural. Por otra parte, las fluctuaciones naturales del campo magnético han llevado a numerosos científicos a intentar simular esas condiciones en laboratorio y poder observar los resultados sobre determinadas especies vegetales.

Es'kov & Rodionov (2010) llevaron a cabo investigaciones con semillas de guisante y trigo de invierno; que tenían anomalías de campo magnético terrestre: el campo magnético

terrestre circundante a las semillas era fortalecido o debilitado con un imán permanente. Para fortalecer este campo, las semillas se colocaron entre polos distintos de un imán y la localización del imán era coincidente con el vector del campo magnético de la Tierra. Para debilitar la influencia del campo magnético terrestre, las semillas se dispusieron entre polos iguales de un imán en los que se incluía un control. La máxima longitud de plántulas y raíces se observó en semillas que germinaron en campos magnéticos fortalecidos. En el caso del guisante, las raíces y las plántulas llegaron a tener longitudes de un 10 % y un 39 % superiores al control, respectivamente. Las radículas solían mostrar magneto tropismo, como se aprecia al comprobar que estas radículas, que tienen la propiedad de tener un crecimiento inicial muy fuerte, se orientaron a lo largo del eje magnético de la Tierra; las adaptaciones de los organismos a los campos magnéticos están relacionadas con la presencia de cobalto, hierro y otros materiales (Kirschvink et al., 1985), pudiendo ser la causa de la susceptibilidad a los campos magnéticos que presentan algunas especies de plantas. Dayal y Singh (1986) observaron que algunas variedades de tomate que habían sido sometidas a campos magnéticos de 125 mT, durante diversos periodos de tiempo aumentaron su longitud, especialmente si el tratamiento se prolongaba durante 15 minutos.

Durante los años 60 y 70, muchos son los investigadores dedicados a aclarar los efectos producidos por los campos magnéticos en distintas especies vegetales; se destacan los trabajos desarrollados por: Mericle et al. (1964) con cebada; Pittman (1965) con judías y maíz; Shultz et al. (1966) con semillas de cebada, maíz, pepino, veza y rábano; Chao y Walker (1967) estudiaron la germinación de semillas de manzana, albaricoque y melocotón; Chauvasv (1967) comprobó que cuando las semillas de trigo y maíz se orientaban en la dirección norte-sur del campo geomagnético las plántulas mejoraban su crecimiento; Lebedev (1977) expuso la cebada durante tres semanas a campos magnéticos estacionarios de 10 nT y comprobó un decrecimiento de hasta un 12 % del peso fresco de los primeros brotes y de un 35 % de las raíces, así como de 19 y 48 % del peso seco respectivamente; y, Gusta et al. (1978) trataron semillas de trigo, avena y cebada a cinco intensidades de campo magnético de 0, 25, 50, 100 y 150 mT, las semillas de trigo tratadas con 150 mT mostraron mayor velocidad de germinación tras 48 horas, comparado con el control. Los estudios continuaron durante las siguientes décadas, poniendo en evidencia el efecto positivo de los

campos magnéticos estacionarios en la germinación y crecimiento de plantas. Pietruszewski (1993), trabajando con campos magnéticos de pequeña intensidad (comprendidos entre 10 y 30 mT), estudió el efecto en las propiedades biofísicas en cosechas de trigo. Phirke et al. (1996) estudiaron el efecto de la intensidad del campo magnético y tiempo de exposición en la producción de granos de soja, algodón y trigo. Se utilizó un rango de intensidades de campo magnético.

Con relación a incrementos en la germinación, se han obtenido resultados positivos: en semillas de arroz (Martínez et al., 1999) y cebada (Martínez et al., 2000), trabajando con intensidades de 150 mT y tiempos de exposición de 1, 10, 20, 60 min, 24 h y exposición crónica; en semillas de tabaco (Aladjadjiyan y Ylieva, 2003) y en maíz (Aladjadjiyan, 2002), trabajando con campos de 150 mT; en bellotas de alcornoque (Celestino et al., 2000); en semillas de mostaza, con incrementos en su producción (Edmiston, 1972). Igualmente, se han examinado otras variables fisiológicas para las etapas de crecimiento en distintos cultivos de interés agronómico y forestal (Pittman, 1963 y 1972; Pittman y Ormrod, 1971; Namba et al., 1995), para el crecimiento en plantas de tomate (Dayal y Shing, 1986) e incrementos en su producción (De Souza y Garci,1999; De Souza et al., 2006) y para el algodón (Leelapriya et al., 2003). Muraji et al. (1998) hablan sobre el crecimiento radicular en el maíz. Los efectos sobre frutos inmaduros de tomate han sido estudiados por Boe y Salunkhe (1963).

2.4 Importancia de exposición de semillas a campos magnéticos

De acuerdo con Shimazaki y Shikuoka (1986), las semillas afectadas por campos magnéticos germinan con mayor intensidad. Jristova (1986) y Savelev (1988) propusieron que el efecto biológico del tratamiento magnético en las semillas depende de varios factores, entre los que se mencionan el régimen del tratamiento y la humedad de las semillas a tratar. Por otra parte, otros autores opinan que el efecto estimulador del campo magnético sobre los objetos biológicos puede atribuirse a un incremento de la actividad enzimática (Ghole, 1986; Osipova, 1990) y al aumento de la eficiencia de los procesos relacionados con la división celular (Pittman, 1965); sin embargo, otras opiniones sugieren que es debido a cambios producidos en la permeabilidad de las membranas y a la sensibilidad de los mecanismos de transporte a través de ellas (Newman, 1987; Osipova, 1990).

2.5 Campos Magnéticos sobre la germinación de semillas

Los efectos de los campos magnéticos sobre la germinación de semillas dependen de su orientación con respecto al vector del campo magnético terrestre (Pittman, 1963; Gorya, 1969; Travkin, 1969). De hecho, el rendimiento de las plantas varía con ella (Vetrov et al., 1989). Al colgar semillas de un hilo orientado en la dirección del vector del campo magnético de la Tierra, las líneas de campo atraviesan las semillas perpendicularmente, y por tanto el flujo de campo magnético al que se ven expuestas es el máximo posible (M. V. Carbonell et al., 2017a).

2.6 Campos Magnéticos Directos

Los primeros estudios de la acción directa de los campos magnéticos sobre la planta se remontan a 1930. Donde P. V. Savostin observó aumentos en la elongación de plántulas de trigo bajo la influencia de dichos campos. Estudios posteriores muestran su influencia en germinación de semillas y desarrollo de plantas suele corroborarse un efecto estimulante del crecimiento y desarrollo de plantas sometidas a la acción de campos magnéticos estáticos e inhibitorio de los campos variables. En el caso de la acción de campos magnéticos estáticos, se han obtenido aumentos en la germinación de semillas de cebolla y arroz de baja viabilidad que habían sido expuestas a un campo magnético durante diferentes intervalos de tiempo. Se ha visto que la aplicación de un estímulo magnético externo, previo a la siembra, produce un aumento de germinación y vigor de las plántulas. En otros ensayos, aunque el porcentaje de germinación era el mismo, aumentaba la velocidad de germinación y como consecuencia se producían plantas más precoces; en algunos casos presentaban mayor pigmentación y contenido en hidratos de carbono.(M. Carbonell et al., 2003)

2.7 La revisión sistemática

Es la evaluación ordenada y explícita de la literatura a partir de una pregunta clara de investigación, junto a un análisis crítico de acuerdo a diferentes herramientas y un resumen cualitativo de la evidencia. Al existir datos claros y homogéneos es posible la realización de un análisis estadístico denominado metaanálisis. Las revisiones sistemáticas deben cubrir los siguientes aspectos: tener una pregunta de investigación clara y basada en la estrategia PICO que es una estrategia de búsqueda clara y reproducible además de la selección apropiada de estudios junto a la extracción de sus datos, la evaluación de la calidad de la evidencia con

alguna de las diferentes herramientas y, si existen datos robustos y homogéneos, se podrá realizar un metaanálisis (García-Perdomo, 2015).

2.8 Metaanálisis

Marcela & Brito Mancero (2018) definen al meta-análisis como un sistema o técnica estadística que fue introducido en el año 1979 por el estadístico e investigador estadounidense de la carrera de psicología educativa y ciencias sociales Gene V. Glass, en si un meta-análisis es una herramienta analítica además no es el hecho de una simple agrupación de datos formado de muchos estudios pequeños, que en muchas ocasiones ha causado errores de investigación esta combinación de datos de varios estudios pequeños suelen complicar los sesgos afectando a que se pueda detectar con facilidad las diferencia importantes que existe entre grupo de estudio individuales para dar una estimación global una vez analizada los resultados.

Según Molinero (2008) surge de la necesidad de recopilar, sintetizar y resumir conocimientos que han existido siempre en medicina, pero para evitar que la metodología de narración y resumen típica de una revisión tradicional se basase únicamente en una interpretación subjetiva de los resultados recopilados surgió el metaanálisis como un marco lógico y metodológico, tanto de elaboración de la búsqueda de estudios como del análisis y combinación de sus resultados mediante las técnicas estadísticas adecuadas, la presentación óptima de esos datos y la interpretación guiada de los mismos.

2.9 Objetivo de un metaanálisis

Es calcular una medida promedio del dato de interés que se está revisando. Aunque en los comienzos del metaanálisis era éste prácticamente el único objetivo, hoy día se acepta que puede incluso no ser lo más importante, sino el análisis de heterogeneidad que se comenta más adelante. El paso inicial consistirá en definir el resultado de interés y por tanto la variable o variables que se quieren cuantificar, que serán obtenidas de los diferentes estudios para calcular un resultado general combinado. Es muy importante que el parámetro seleccionado sea comparable entre los diferentes estudios que se incluyen. Para resultados discretos (variables cualitativas) se utilizará el *odds ratio* (OR), el riesgo relativo (RR) o la diferencia de riesgos (DR). El *odds ratio* es el preferido desde el punto de vista matemático (Molinero, 2008).

2.10 Pasos para el metaanálisis

Para la realización de una correcta RS se requiere cumplir

Con los siguientes pasos1-3:

•Pregunta de investigación; ha de ser clara y basada en la estrategia PICO (Población, Intervención, Control, Desenlace).

•Estrategia de búsqueda clara y reproducible (no limitada a una base de datos ni a un idioma).

• Localizar y seleccionar los estudios.

•Extracción de datos.

•Evaluación de calidad de evidencia (herramienta de riesgo de sesgo, GRADE, otras).

• Análisis y presentación de los resultados.

•Metaanálisis (efectos fijos y efectos aleatorios, meta regresión, evaluación de la heterogeneidad y sensibilidad).(García-Perdomo, 2015)

2.11 Sesgo de publicación

Los trabajos con resultados estadísticamente significativos tienen mayor probabilidad de ser publicados que los que no arrojan diferencias, y además una vez aceptados tardan menos en ser publicados. También son citados con más frecuencia, lo que aumenta considerablemente la probabilidad de que aparezcan en una búsqueda bibliográfica. Asimismo, los ensayos con gran número de pacientes tienen mayor probabilidad de ser publicados, aunque sean de tipo negativo, es decir, que no se hayan encontrado diferencias entre el grupo de estudio y el de control. De entre los trabajos que se publican, aquéllos con resultados estadísticamente significativos tienen una mayor probabilidad de aparecer en las revistas importantes. Por lo que no cabe duda, e incluso se han hecho estudios que lo confirman, que hay un sesgo favorecedor de determinado tipo de publicaciones, un importante sesgo de idiomas y un sesgo en el número de citas, lo que nos lleva a que la probabilidad de que determinados resultados intervengan o no en un metaanálisis esté muy probablemente sesgada(Valle, 2015).

2.12 Declaración quórum

Tiene como objetivo establecer unas normas para mejorar la calidad de la presentación de metaanálisis de ensayos clínicos aleatorizados, esta incluye una lista de comprobación estructural con 18 ítems que los autores de un metaanálisis y también los editores de revistas

deberían considerar a la hora de realizar una publicación en forma de artículo (Urrútia & Bonfill, 2010).

2.13 Declaración prisma

Es un documento en el cual se detallan y se justifica 27 ítems a tener en cuenta, así como el proceso de elaboración de estas directrices, además proporciona una explicación detallada de ciertos aspectos claves sobre la metodología y la conducción de revisiones sistemáticas (terminología, formulación de la pregunta de investigación, identificación de los estudios y extracción de datos, calidad de los estudios riesgo de sesgo (Urrútia & Bonfill, 2010).

CAPÍTULO III

3. Metodología de la investigación

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo documental, en donde se recopiló y analizó los artículos científicos de las bases de datos (Scopus y Web of Science), cuyos estudios evaluaron los tratamientos pre germinativos de semillas con campos magnético directo.

3.2 Método de investigación

Se aplicó el método sistémico ya que se siguió los lineamentos de la normativa internacional Preferred Reporting Items for Systematic Metaanalyses (PRISMA), recomendada para realizar estudios de metaanálisis y revisión sistemática (Urrútia & Bonfill, 2010). Además, paralelamente también se usó el método analítico, el cual una vez que se extrajeron los resultados de los artículos seleccionados, logrando así observar el efecto que presentan los tratamientos pre germinativos de semillas con campos magnéticos directos.

3.3 Metodología de la investigación

3.3.1 Búsqueda y selección de datos

La búsqueda electrónica se realizó en las bases de datos SCOPUS (www.scopus.com) y WEB OF SCIENCE (www.webofknowledge.com). Como estrategia de búsqueda para filtrar las referencias se utilizó las siguientes expresiones (pre-sowing AND seed AND magnetic) presentes en el título, resumen y palabras claves de los artículos publicados en los últimos 20 años (Matuoka et al., 2020). Se realizó un proceso de selección eliminando los 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 establecidos por los criterios de selección que debían de cumplir cada uno para ser aceptados en la revisión sistemática, dichos criterios fueron: Tamaño de muestra mayor o igual a 20 semillas con 3 o más réplicas tanto para el control como para el tratamiento, exposición de las semillas a campo magnético directo y porcentaje de germinación tanto para el control como para el tratamiento.

3.3.2 Extracción de datos

A partir de los estudios que reunieron los criterios de selección para el desarrollo del metaanálisis, se procedió a extraer datos generales como: autor y año de publicación. Las variables metodológicas consideradas fueron: intensidad de exposición a campo magnético (mT), nombre de la especie y tamaño de muestra. Para la extracción de variables en los resultados solo se consideró la media del porcentaje de germinación del control y del tratamiento que reflejó el mejor efecto, a partir del cual se estimó el número de semillas germinadas y no germinadas. En los estudios que se presentaron los resultados de manera gráfica se obtuvieron mediante la herramienta Digitizer imagen del software estadístico Origin 2019b.

3.3.3 Evaluación de riego de sesgo

Para la evaluación de riesgo de sesgo de los estudios individuales se consideraron los siguientes aspectos cualitativos del proceso metodológico: uniformidad de las semillas (sin defectos, malformaciones o daños por insectos), esterilización de las semillas, exposición de las semillas a campo magnético directo y germinación de las semillas en condiciones controladas (temperatura, humedad y fotoperiodo). Los resultados se presentan gráficamente, en la cual especifica si se cumple o no el criterio, (Verde: cumple el criterio, bajo riesgo de sesgo; Rojo: no se especifica en el estudio, alto riego de sesgo). La evaluación se realizará mediante el software Review Manager 5.4(Teixeira da Silva & Dobránszki, 2016).

3.3.4 Análisis de datos

El análisis de los datos se realizó mediante el software STATA 16 MP. El cálculo y la declaración del tamaño del efecto se efectuó a través de comparación de resultados binarios aplicando el registro de Odds-ratio con un intervalo de confianza (CI) del 95% (Manterola et al., 2011; Molinero, 2008). Se aplicó random-effects con el método DerSimonian and Laird recomendado para análisis que presentan variaciones entre estudios por diferentes razones (Valle, 2015). Para el análisis se establecieron tres subgrupos, de acuerdo a la intensidad de exposición de campo magnético que recibieron las semillas 1 - 50 mT, 51 - 150 mT y 151 - 300 mT. Mediante el Forest Plot se examinó el tamaño del efecto de los estudios, la Q Cochran con $p > 0,05$ y la heterogeneidad mediante el test I^2, el cual establece, que valores de

hasta 25% se denomina baja, entre 25 y 50% se considera moderada y valores por encima de 50% alta heterogeneidad (Higgins et al., 2003). Adicional se representó en forma gráfica la heterogeneidad de los estudios mediante Labbé Plot (Song, 1999). También se valoró el sesgo de publicación a través del Funnel Plot (Duval & Tweedie, 2000).

CAPÍTULO VI

4. RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Búsqueda y selección de artículos

Se encontraron un total de 175 artículos, de los cuales 66 fueron de la base de datos de Scopus y 106 en Web of Science. Se descartaron 149 durante todo el proceso de selección y revisión, quedando finalmente 26 artículos aceptados para la revisión sistemática y metaanálisis (Figura 3).

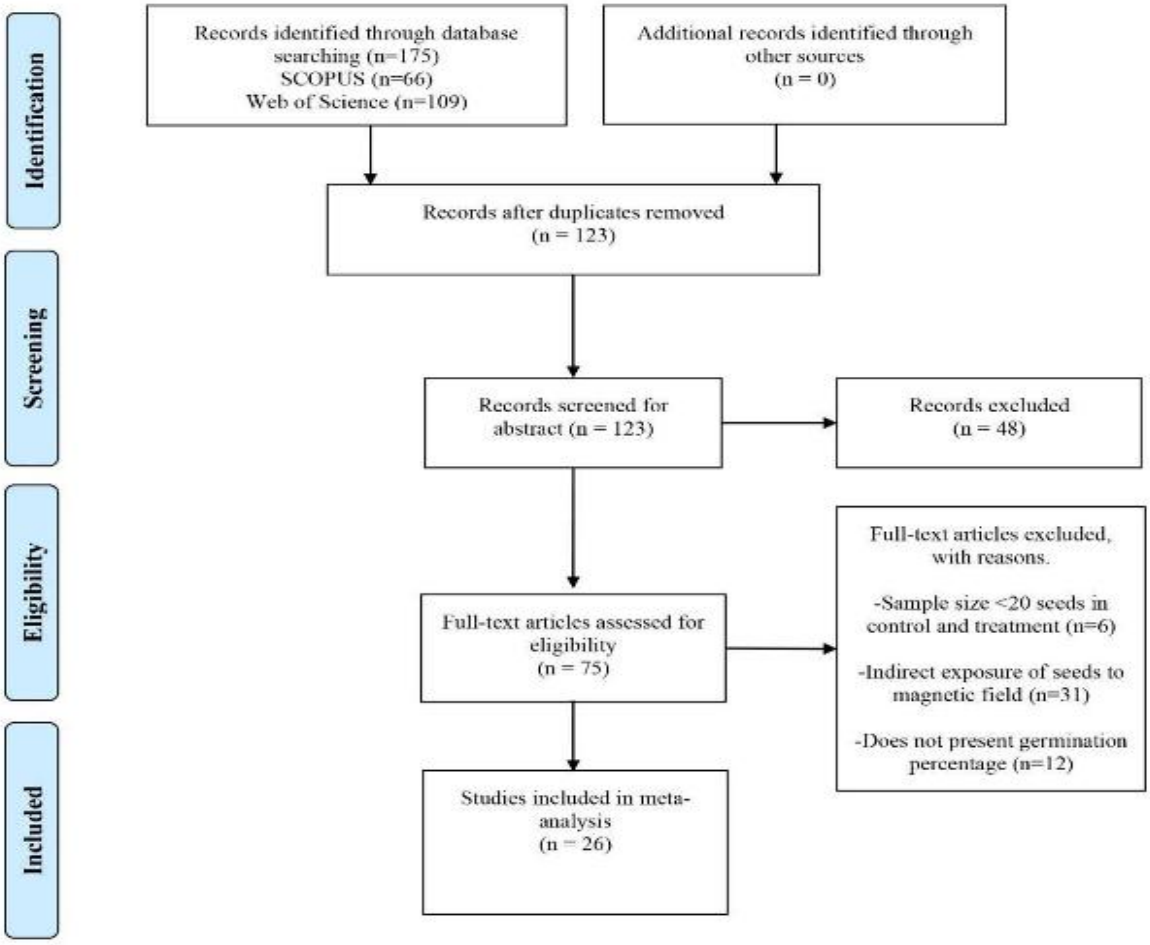


Figura 3. Diagrama de flujo de la búsqueda y selección estudios de metaanálisis en la base de datos Wed of Sciences y Scopus.

4.1.2 Revisión sistemática de los artículos encontrados

Las semillas de melón fueron expuestas a una fuerza de MF de 100 mT y 200 mT durante 520 min en condiciones de laboratorio y esto demostró que el tratamiento previo a la siembra mejoró la germinación de la semilla de melón (%) ya que se redujo en un 6,7% en respuesta al tratamiento de semillas previo a la siembra (Iqbal, ul Haq, Jamil, et al., 2016). En un tratamiento de Comparación de láser He \\ Ne y magnético no uniforme sinusoidal efecto del tratamiento previo a la siembra de semillas de campo en Glycine max (Var 90-I) revelaron que tanto láser como magnéticos en los tratamientos de semillas en el campo previos a la siembra afectan positivamente la germinación (Asghar et al., 2017). En el tratamiento de las semillas de girasol los campos magnéticos aumentaron la velocidad de germinación, la longitud de las plántulas y el peso seco de las plántulas en pruebas de germinación de laboratorio cabe recalcar que de los diversos tratamientos, 50 y 200 mT durante 2 h dieron el rendimiento máximo (Perveen et al., 2010).

En los tratamientos de semillas de cebolla en laboratorio mostraron que las semillas tratadas magnéticamente tenían un mayor porcentaje de germinación que las semillas de control. Se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos y el mejor resultado se encontró para 160mT durante 15 min (Angel De Souza et al., 2014), también en el caso del trigo se ha demostrado que el tratamiento de semillas con MF antes de la siembra influye en una variedad de procesos fisiológicos y bioquímicos, tanto en semillas como en plántulas (Balakhnina et al., 2015), además en el caso de las semillas de tomate bajo condiciones de laboratorio se pudo demostrar que la intensidad del campo magnético y tiempo de exposición mejoran significativamente el rendimiento de la semilla en términos de reducción del tiempo ya que para las primeras semillas pudieran completar su proceso de germinación debieron alcanzar el 50% de germinación, tiempo entre el 10 y el 90% de germinación con una tasa de germinación creciente. y aumento del porcentaje de germinación a los 4 y 7 (A. De Souza et al., 2006).

En el caso de las espinacas la especie que tuvo mejores resultados en tratamiento de campo magnético fue la de 150 mT-1 h, sin embargo, los valores obtenidos con este tratamiento estuvieron en el mismo grupo estadístico con los valores de control (Alpsoy & Unal, 2019). En la especie del guisante del jardín se demostró que su índice de vigor aumento significativamente además se encontró que la exposición de 5 min para intensidades de

campo magnético de 60 mT y 180 mT mejoró significativamente los parámetros de germinación del guisante y que estos tratamientos pueden usarse prácticamente para acelerar la germinación en guisantes de jardín (Iqbal et al., 2012). En el caso de Magnetopriming en semillas de pepino se demostró que con 200 mT (1 h) se aumenta el porcentaje de germinación, la tasa de germinación y el vigor de la plántula además que la absorción de agua en las semillas tratadas ayudó a una hidratación más rápida y activación de las enzimas de germinación y desencadenó los eventos metabólicos que conducen a un mayor vigor de las semillas tratadas (Bhardwaj et al., 2012).

En los diferentes tratamientos se puede decir que el tiempo medio de germinación (MGT) e índice de vigor I y II se registraron hasta 54,52%, 50,92%, 35,98%, 24,93% y 47,21%, es decir que los tratamientos MF previo a la siembra se puede usar para mejorar la productividad al mejorar la germinación y el crecimiento de las plántulas (Iqbal, ul Haq, Malik, et al., 2016). En el caso de las semillas de trigo el campo magnético no influyó en el proceso de germinación de la semilla ya que el peso fresco se vio afectado por los tratamientos aplicados en los primeros cuatro días 118% y 89% para el tratamiento de 15 y 30 segundos respectivamente (Muszyński et al., 2009).

En los tratamientos que se le aplicaron a la especie de picea de Noruega de semillas con plasma frío (CP), vacío y campo electromagnético (CEM) se puede decir las semillas bajo los tratamientos con PC afectaron negativamente a la germinación 'in vitro', pero para la germinación en casetes, CP (7 min) y EMF (5 min) aumentaron significativamente el rendimiento de germinación(Pauzaite et al., 2018), los efectos de la exposición corto de semillas de altramuz (Lupino L.) y alfalfa (Medicago sativa L.) bajo campo magnético de frecuencia (f = 50 Hz, B = 30 mT), la radiación de luz láser (λ = 632,8 nm) en tratamiento previo a la siembra a corto plazo se demostró que en la mayoría de los casos no influyen en los parámetros de germinación de las plantas examinadas es decir no hay diferencias estadísticas entre la mayoría de las muestras, ni produce efectos negativos (Agnieszka Sujak et al., 2013).

Las semillas de maíz y soja con pre tratamiento estática magnético de 200 mT durante 1 h para evaluar el efecto de la magneto sobre la germinación y las características de crecimiento temprano de las semillas en condiciones salinas) indicó que el magnetopriming era más eficaz para aliviar el estrés por salinidad en las primeras etapas de plántula tanto de maíz como de

soja en comparación con las semillas no tratadas (Kataria et al., 2017). En el tratamiento de semillas de maíz que solo recibieron tratamiento magnético de pre-germinación, hubo un aumento de peso fresco y peso seco de brotes de 39 y 43% respectivamente, en comparación con el control y los mejores resultados se obtuvieron de la inducción electromagnética al nivel de 4 μT a los 3 min de exposición (Isaac A et al., 2011) En el caso de los tratamientos en las diferentes especie de trigo se observaron los incrementos más altos cuando el grano se expuso a un campo magnético eléctrico débil con intensidades de 0.3 T a los 30 min y se sumergió en agua magnética en comparación con el control y el cultivar Sakha93 (especie de trigo) mostraron una disminución en el porcentaje de germinación (Almaghrabi & Elbeshehy, 2012).

En los tratamientos realizados en las semillas de amaranto en las cuales se combinaron la radiación de luz láser y campo magnético, se observó un aumento significativo de la energía de germinación para las pruebas de laboratorio mientras que se observó una disminución de este parámetro para la prueba de la maceta (Agata Dziwulska-Hunek et al., 2013). Para el tratamiento LFMF de 60 minutos, para los cultivares 'Octavia' y 'Eureka', la energía de germinación aumentó de 75,8% y 65% (control) a 88,3% y 87,5%, y la capacidad de germinación, para los mismos cultivares, aumentó de 85% y 76,3% (control) a 92% y 90%, respectivamente (Hołubowicz et al., 2014). Las semillas de zinnia con tratamiento magnético de fuerza 50, 100 y 150 mT cada uno durante 5, 10 y 15 minutos dio como resultado que la estimulación magnética redujo el tiempo de germinación al 50% pero aumentó el porcentaje de germinación final, la energía de germinación y el índice de germinación (Afzal et al., 2016b).

La especie de sorgo dio como resultado que el tratamiento MF 15 minutos ya sea con una fuerza de MF de 1 mT o 6 mT sugiere que el tratamiento MF previo a la siembra tiene el potencial de mejorar la productividad de los cultivos mediante la mejora de la germinación (Nurbaity et al., 2019). En la especie de trigo se realizaron 2 dos dosis de tratamientos magnéticos: D11 = D13 = 12,9 y D21 = D23 = 17,9 kJ m-. En ambos casos se observó la mejor germinación de semillas en comparación con las semillas de control, el rendimiento de trigo para las dosis de exposición D11 = D13 fue un 12,5% superior y para las dosis D21 = D23 fue un 14,5% superior al obtenido para el control (Pietruszewski & Kania, 2010).

En el caso de la remolacha azucarera los métodos de estimulación en las semillas antes de la siembra aumentaron significativamente los valores de energía de germinación y capacidad de germinación de los racimos de semillas además que la exposición al campo magnético mejoró significativamente el vigor, germinación y el tiempo de germinación (Szajsner et al., 2017). La germinación de la especie de cannabis sativa bajo campo electromagnético con valor de inducción de 0 y 70 mT no provoca cambios significativos en la energía y la capacidad de germinación de las semillas de cannabis relativo a la muestra de control (Sadowska et al., 2018). La exposición de semillas secas de maíz al campo magnético estático aumentó significativamente la germinación en el laboratorio, la velocidad de germinación, la longitud de las plántulas y el peso seco en comparación con el control no expuesto (Vashisth & Joshi, 2017). La especie de Soja bajo tratamiento con campos magnéticos mejoró los parámetros relacionados con la germinación como la absorción de agua, la velocidad de germinación, la longitud de la plántula, el peso fresco, el peso seco y los índices de vigor de las semillas de soja en condiciones de laboratorio (Shine et al., 2011).

En total, a partir de los artículos aceptados fueron incluidos 29 unidades básicas de estudio, debido a que dos de los artículos presentaron más de un estudio (Kataria et al., 2017; Agnieszka Sujak et al., 2013).

Tabla 1. Características de los estudios de METANALISIS

No.	Estudios	Especies	Familia Botanica	Descripcion de los tratamientos		Tamaño muestra	Tratamientos		Control	
				Campo Magnetico (mT)	Tiempo de exposicion (min or sec *)		Semillas germinadas	Semillas sin germianr	Semillas Germinadas	Semillas sin Germinar
1	Muszyński et al., 2009	*Triticum durum*	Poaceae	15	30*	100	86	14	85	15
2	Vashisth & Nagarajan, 2010	*Helianthus annuus*	Asteraceae	50	120	25	24	1	21	4
3	Pietruszewski & Kania, 2010	*Triticum aestivum*	Poaceae	30	8*	600	579	21	543	57
4	Isaac et al., 2011	*Zea mays*	Poaceae	4	3	100	75	25	72	28
5	Dziwulska et al., 2013	*Amaranthus sp*	Amaranthaceae	30	30*	100	69	31	67	33
6	Reddy et al., 2012	*Vigna radiate*	Fabaceae	5	45	25	16	9	7	18
7	Sujak et al., 2013	*Lupinus angustifolius*	Fabaceae	30	15*	100	46	54	40	60
8	Sujak et al., 2013	*Medicago sativa*	Fabaceae	30	15*	100	67	33	72	28
9	Sujak et al., 2013	*Lupinus leteus*	Fabaceae	30	15*	100	84	16	83	17
10	Hołubowicz et al., 2014	*Allium cepa*	Amaryllidaceae	20	60	100	92	8	85	15
11	Balakhnina et al., 2015	*Triticum aestivum*	Poaceae	30	30*	100	98	2	89	11
12	Pauzaite et al., 2018	*Picea abies*	Pinaceae	1	5	60	58	2	52	8
13	Szajsner et al., 2017	*Beta vulgaris*	Amaranthaceae	30	30*	50	50	0	48	2
14	Sadowska et al., 2018	*Cannabis sativa*	Cannabaceae	50	240	100	83	17	73	27
15	Nurbaity et al., 2019	*Sorghum bicolor*	Poaceae	1	15	30	30	0	29	1
16	De Souza et al., 2010	*Lycopersicon esculentum*	Solanaceae	80	30	100	100	0	90	10
17	Iqbal et al., 2012	*Pisum sativum*	Fabaceae	60	5	60	59	1	53	7
18	Iqbal et al., 2016	*Momordica charantia*	Cucurbitaceae	75	45	25	9	16	4	21
19	Afzal et al., 2016	*Zinnia elegans*	Asteraceae	100	15	25	17	8	8	17
20	Asghar et al., 2017	*Glycine max*	Fabaceae	100	3	25	23	2	15	10
21	Alpsoy & Unal, 2019	*Spinacia oleracea*	Amaranthaceae	150	60	90	82	8	83	7
22	Shine et al., 2011	*Glycine max*	Fabaceae	200	60	25	22	3	20	5
23	Almaghrabi & Elbeshehy, 2012	*Triticum aestivum*	Poaceae	3000	30	20	20	0	17	3
24	Bhardwaj et al., 2012	*Cucumis sativus*	Cucurbitaceae	200	120	25	17	8	14	11
25	De Souza et al., 2014	*Allium cepa*	Amaryllidaceae	160	20	25	24	1	21	4
26	Iqbal et al., 2016	*Cucumis melo*	Cucurbitaceae	200	20	25	23	2	20	5
27	Kataria et al., 2017	*Glycine max*	Fabaceae	200	60	25	24	1	22	3
28	Kataria et al., 2017	*Zea mays*	Poaceae	200	60	25	25	0	21	4
29	Vashisth & Joshi, 2017	*Zea mays*	Poaceae	200	60	25	24	1	20	5

4.1.3. Evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos en el metaanálisis

La evaluación de riesgo de sesgo (Figura 4) reflejó que el 73,08% de los estudios reportaron uniformidad en las semillas lo que representó bajo riesgo, mientras el 26,92% restante no especificó que hubiera uniformidad en las semillas, lo cual representa un alto riego (Asghar et al., 2017; Balakhnina et al., 2015; Agata Dziwulska-Hunek et al., 2013; Pauzaite et al., 2018; Pietruszewski & Kania, 2010; Sadowska et al., 2018; A Sujak et al., 2013). En cuanto a la estetización de las semillas, el 57,69% de los estudios reportaron que se realizó, lo que representó un bajo riesgo, mientras que el 42,31% no reportaron, significando un alto riesgo (Almaghrabi & Elbeshehy, 2012; Alpsoy & Unal, 2019; Balakhnina et al., 2015; Agata Dziwulska-Hunek et al., 2013; Isaac A et al., 2011; Muszyński et al., 2009; Nurbaity et al., 2019; Pauzaite et al., 2018; Pietruszewski & Kania, 2010; Sadowska et al., 2018; Agnieszka Sujak et al., 2013). En cuanto a la exposición directa de las semillas a campo magnético, se reportó un 100% en el cumplimiento de este criterio, lo que representa un bajo riesgo de sesgo en el metaanálisis. El 88,86% de los estudios reportaron que la germinación de las semillas se realizaron en condiciones controladas, mientras que el 11,54% en condiciones ambientales (Asghar et al., 2017; Hołubowicz et al., 2014; Pietruszewski & Kania, 2010). En la evaluación de riesgo de sesgo de manera general el 46.15% de los estudios cumplen con todos los criterios evaluados, mientras que el 53,85% no cumplen en al menos uno de los criterios.



Figura 4. Evaluación de la calidad metodológica a través del análisis de riego de sesgo

Leyenda: A: uniformidad de las semillas; B: esterilización de las semillas; C: Exposición de las semillas a un campo magnético directo; D: germinación de las semillas en condiciones controlada.

De acuerdo a los resultados del Forest Plot (Figura 5), el primer subgrupo de 1 – 50 mT presentó seis estudios con efecto significativo a favor del tratamiento, correspondiendo a las

especies Triticum durum con un Odds Radio (OR) de 0.08 y un CI (-0.71, 0.87) (Muszynski et al., 2009), Zea mays con OR de 0.15 y un CI (-0.47, 0.78) (Isaac A et al., 2011), Amaranthus sp con un OR de 0.09 y un CI (-0.50, 0,69) (Agata Dziwulska-Hunek et al., 2013), Lupinus angustifolius con un OR 0.25 y un CI (-0.32, 0,81), Lupinus leteus con un OR de 0.07 y un CI (-0.67, 0.82) y Medicago sativa con un OR de -0.24 y CI (-0.84, 037) (Agnieszka Sujak et al., 2013). Mientras que las especies de los estudios que no presentaron efecto significativo fueron Helianthus annuus (Vashisth & Nagarajan, 2010), Vigna radiate (Reddy et al., 2012), Triticum aestivum (Balakhnina et al., 2015), Picea abies (Pauzaite et al., 2018), Beta vulgaris (Szajsner et al., 2017), Triticum aestivum (Pietruszewski & Kania, 2010), Allium cepa (Hołubowicz et al., 2014), Cannabis sativa (Sadowska et al., 2018) y Sorghum bicolor (Nurbaity et al., 2019). El Análisis general para este subgrupo mostró un Odds Radio de 0.49 con CI (0.19, 0.79), Q (14) = 24.77, p=0.04 y un valor del test I^2 = 43.48%, correspondiente a una heterogeneidad moderada. Para el segundo subgrupo referidos a los estudios con intensidades de campo magnético que variaron entre 51 a 150 mT, solo un estudio mostró efecto significativo a favor de tratamiento en la especie Spinacia oleracea con un Odds Radio de -0.15 con CI (-1.20, 0.91) (Alpsoy & Unal, 2019). Los estudios que presentaron efecto no significativo correspondieron a las especies Momordica charantia (Iqbal, ul Haq, Malik, et al., 2016), Lycopersicon esculentum (A. De Souza et al., 2010), Pisum sativum (Iqbal et al., 2012), Zinnia elegans (Afzal et al., 2016a) y Glycine max (Asghar et al., 2017). El análisis general de este subgrupo presentó un Odds Radio de 1.30 con CI (0.43, 2.18), Q (5) = 9.75, p= 0.08 y un valor del test I^2 = 48.74%, correspondiente a una heterogeneidad moderada. Para el tercer subgrupo que correspondió a los estudios con intensidades de campo magnético entre 151 a 300 mT y cuyas especies fueron Cucumis mela (Iqbal, ul Haq, Jamil, et al., 2016) , Glycine max (Kataria et al., 2017), Zea mays (Vashisth & Joshi, 2017), Glycine max (Shine et al., 2011), Triticum aestivum (Almaghrabi & Elbeshehy, 2012), Cucumis sativus (Bhardwaj et al., 2012), Allium cepa (Angel De Souza et al., 2014) y Zea mays (Kataria et al., 2017) no mostraron efecto significativo al tratamiento. En cuanto al análisis general del subgrupo presentó un Odds Radio de 1.03 con CI (0.37, 1.69). Q (7) = 2.96, p = 0.89 y un valor del test I^2= 0.0% que corresponde a estudios homogéneos. El metaanálisis global reveló un efecto positivo a favor del tratamiento, con un Odds Radio de 0.68, un CI (0.41, 0.94), Q (28) = 44.03, p= 0.03. El valor del test I^2=

36.40% indicó heterogeneidad moderada. El tamaño del efecto general especifico del grupo no presentó diferencia significativa (Q (2) = 4.50, p= 0.11). Mediante el L'Abbé Plot se representó en forma gráfica la heterogeneidad de los estudios en el metaanálisis y a través del Fuñe Plot se descartó el sesgo de publicación como amenaza a la valides de los resultados del análisis

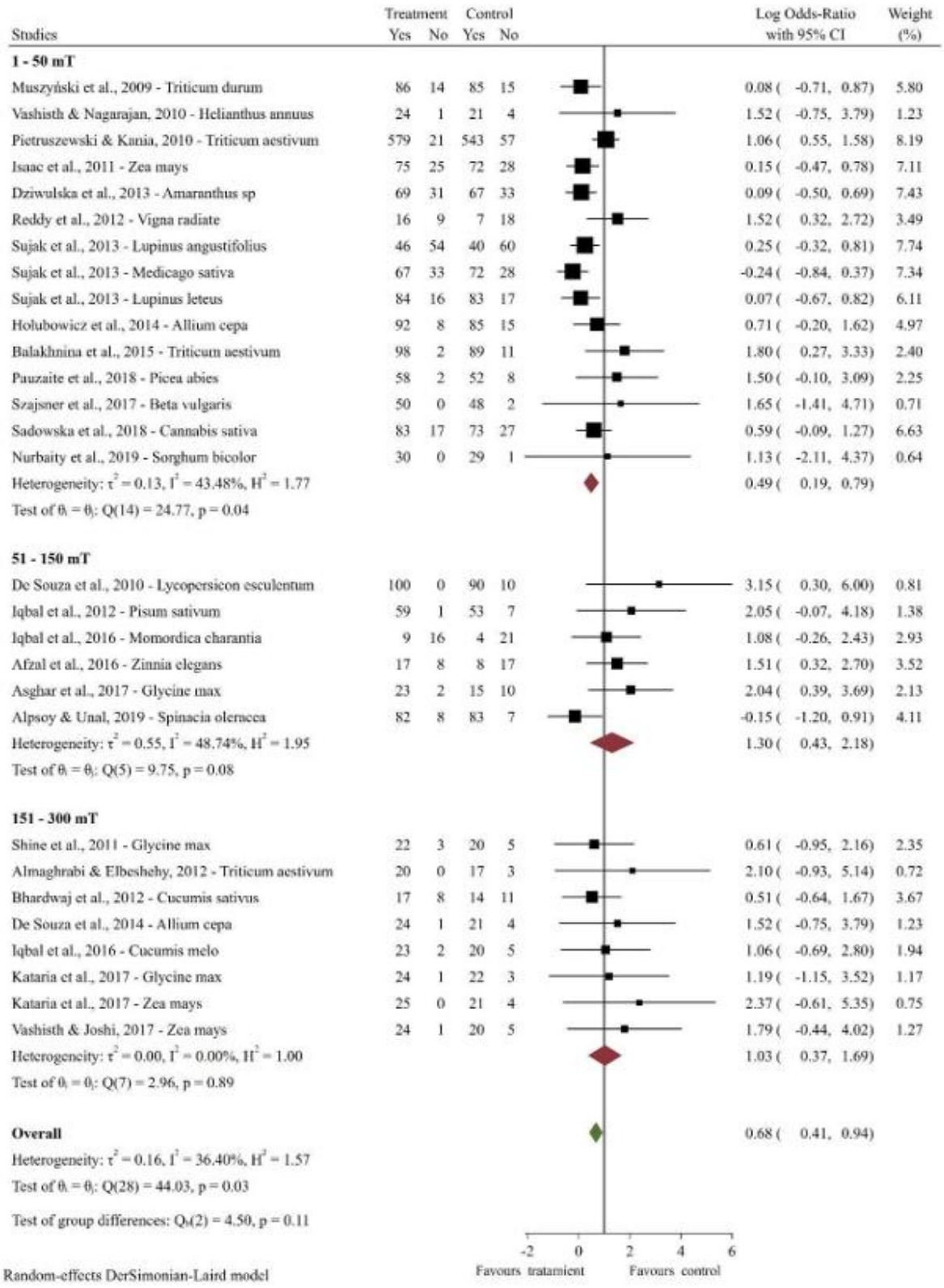


Figura 5. Forest Plot del efecto del tratamiento pre germinativo con exposición a un campo magnético directo a diferentes intensidades

Mediante el L'Abbé Plot se representó en forma gráfica la heterogeneidad de los estudios en el metaanálisis (Figura 6 a), a través del Funel Plot se descartó el sesgo de publicación como amenaza a la valides de los resultados del análisis (Figura 6 b).

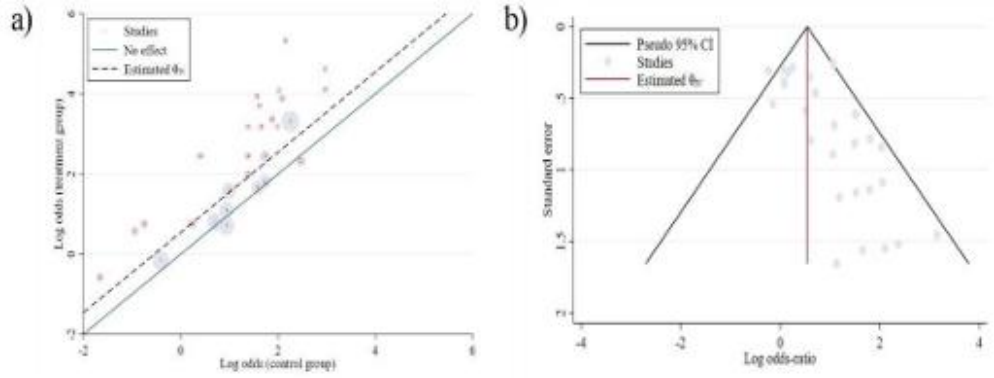


Figura 6. Representación gráfica de la heterogeneidad de los estudios en el metaanálisis utilizando L'Ábel Plot (a). Funnel Plot de los estudios incluidos en el metaanálisis (b).

El presente metaanálisis se realizó un metaanálisis para determinar la eficacia del tratamiento pre germinativo con exposición a campo magnético directo, en la germinación de semillas. Hasta el momento no se han reportado revisiones sistemáticas con metaanálisis para este tipo de estudios. Los hallazgos estadísticos encontrados, de acuerdo al análisis del forets plot, indicó que los estudios con exposición de semillas a campos magnéticos directos, con intensidades de 1 – 50 mT, incrementó significativamente el porcentaje de germinación. En cuanto al análisis de los subgrupos restantes (51 – 150 mT y 151 – 300 mT) se encontró efecto no significativo, lo que indicó repuesta nula al tratamiento de campo magnético. Se debe considerar que la respuesta al tratamiento pre germinativo con campo magnético depende de factores como: densidad del flujo magnético, frecuencia de campos alternos, exposición absoluta de polaridad (norte o sur), tiempo de exposición de la semilla, genotipo y especie (Teixeira da Silva & Dobránszki, 2016), lo que implica que no todas las especies responden de igual manera a la acción del campo magnético como tratamiento pre germinativo para incrementar los porcentajes de semillas germinadas.

El metaanálisis global mostró efecto significativo a favor del tratamiento, corroborando el efecto positivo que ejerce un campo magnético sobre la germinación. Varios estudios han

documentado que la acción del campo magnético incrementa el contenido de azúcares solubles, la actividad de las enzimas alfa amilasa (Afzal et al., 2016b), deshidrogenasa y proteasa, en comparación con semillas no tratadas (Vashisth & Nagarajan, 2010). Además, a una excitación energética de uno o más parámetros del sustrato celular (proteínas y carbohidratos), a la producción de hormonas y activación de procesos enzimáticos (A. De Souza et al., 2010), mejorando significativamente la germinación, rasgos de enraizamiento y vigor de las plantas (Araújo et al., 2016). Se ha sugerido que la percepción de campo magnético en las plantas se da por medio de los fotorreceptores de luz azul – criptocromo (Ahmad et al., 2007), aunque no se ha logrado comprender íntegramente el mecanismo a través del cual las plantas perciben y regulan la vía de transducción de campo magnético (Araújo et al., 2016). Varios autores han reportados otras características interesantes en sus estudios de aplicación de campo magnético en plantas, los cuales mencionan una superior respuesta de activación antioxidante provocando una mejor tolerancia a estrés abióticos (Anand et al., 2012; Javed et al., 2011) o bióticos (A. De Souza et al., 2006), mayor actividad enzimática antioxidante de catalasa, glutatión reductasa y superóxido dismutasa descritas en semillas de *Cucumis Sativus* con exposición magnéticas (Bhardwaj et al., 2012).

Se destaca que el 100% de los estudios incluidos en el metaanálisis, las semillas tratadas recibieron exposición de campo magnético directo, el 88,86% se germinaron en condiciones controladas (temperatura, humedad, fotoperiodo) y el 73,08% reportaron uniformidad en las semillas (sin defectos, malformaciones o daños por insectos), lo que indica un bajo riego de sesgo y alta calidad de los resultados presentes en este estudio. En cuento a las limitaciones de la presente revisión sistemática es que el 42,31% de los autores no realizaron o no reportaron esterilización de las semillas en sus estudios. Los estudios que se incluyeron en la revisión únicamente fueron aquellos que recibieron exposición de campo magnético directo en las semillas, por lo que la incorporación de estudios con otras variantes de tratamiento pre germinativos de exposición de semillas a campo magnético de forma indirecta, podrían ser analizados en futuros metaanálisis.

4.2 CONCLUSIONES

Durante todo el proceso de búsqueda, selección y revisión, solo 26 artículos cumplieron todos los requerimientos mínimos para ser incluidos en la revisión sistemática y metaanálisis

La evaluación de la calidad metodológica a través del riesgo de sesgo de manera general el 46,15% de los estudios cumple con todos los criterios evaluados, mientras que el 53,85% no cumplen en al menos uno de los criterios. Por lo tanto, los resultados de los estudios individuales podrían generar un riego sesgo que se debe considerar en la interpretación del análisis.

A partir de los estudios incluidos en el metaanálisis, se pudo determinar el efecto de tratamiento pre germinativo de semillas con exposición de campo magnéticos directo, demostrando que pueden ser empleados para incrementar los porcentajes de semillas germinadas. Siendo las exposiciones de bajas intensidades las que mostraron respuesta significativa al tratamiento, pero se debe considerar que la estimulación del tratamiento en las semillas varias de acuerdo a la intensidad, tiempo de exposición y especie, dado que no todos los subgrupos analizados mostraron el mismo comportamiento, al evidenciarse efectos no significativos para aquellos donde el campo magnético fue superior. Estos resultados sugieren que este método puede seguir siendo incursionado en el sector agrícola y forestal como alternativa viable y de bajo impacto para el ambiente.

4.3 RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en cuenta los resultados de la presente investigación y que se puedan desarrollar proyectos, cuyo objetivo este enfocado en la aplicación de campos magnéticos como tratamientos pre germinativos de semillas en especies forestales nativas de la Amazonía ecuatoriana, la aplicación de estos tratamientos ha reportado un aumento considerable en los porcentajes de germinación y crecimiento de las plantas. Por lo tanto, queda un campo abierto para seguir explorando dicha tecnología en dentro de las ciencias forestales, como contribución a las innovaciones ecológicas con el ambiente y al manejo silvícola de las especies forestales nativas de la Amazonía.

CAPITULO V

5. Referencia bibliográfica

Afzal, I., Abbasi, K. Y., Iqbal, A., Younis, A., Bakhtavar, M. A., & Rehman, H. U. (2016a). *Enhancement of zinnia seed germination and seedling emergence through magnetic seed stimulation*.

Afzal, I., Abbasi, K. Y., Iqbal, A., Younis, A., Bakhtavar, M. A., & Rehman, H. U. (2016b). Enhancement of zinnia seed germination and seedling emergence through magnetic seed stimulation. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, *15*(5), 173–184.

Ahmad, M., Galland, P., Ritz, T., Wiltschko, R., & Wiltschko, W. (2007). Magnetic intensity affects cryptochrome-dependent responses in Arabidopsis thaliana. *Planta*, *225*(3), 615–624. https://doi.org/10.1007/s00425-006-0383-0

Airi, S., Bhatt, I. D., Bhatt, A., Rawal, R. S., & Dhar, U. (2009). Variations in seed germination of Hippophae salicifolia with different presoaking treatments. *Journal of Forestry Research*, *20*(1), 27–30.

Al Zoubi, O. M. (2020). Effect of mechanical and chemical scarifications of date palm seeds (Phoenix dactylifera L.) on in vitro germination. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *26*(1), 105–113.

Almaghrabi, O. A., & Elbeshehy, E. K. F. (2012). Effect of weak electro magnetic field on grain germination and seedling growth of different wheat (Triticum aestivum L.) cultivars. *Life Science Journal*, *9*(4), 1615–1622.

Alpsoy, H. C., & Unal, H. (2019). Effect of stationary magnetic field on seed germination and crop yield in spinach (Spinacia oleracea L.). *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare Des Sciences*, *72*(5), 687–696. https://doi.org/10.7546/CRABS.2019.05.18

Anand, A., Nagarajan, S., Verma, A. P. S., Joshi, D. K., Pathak, P. C., & Bhardwaj, J. (2012). Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (Zea mays L.). *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, *49*(1), 63–70.

Antonova-Karacheva, G. M. (2020). Effect of Pre-Sowing Electromagnetic Processing on the Sowing and Morphological Characters of Bulgarian Pepper Varieties (Capsicum annuum). *Indian Journal of Agricultural Research*, *54*(2), 121–128.

Araújo, S. de S., Paparella, S., Dondi, D., Bentivoglio, A., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2016). Physical methods for seed invigoration: Advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*, *7*(MAY2016), 1–12. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646

Asghar, T., Iqbal, M., Jamil, Y., Nisar, J., & Shahid, M. (2017). Comparison of HeNe laser and sinusoidal non-uniform magnetic field seed pre-sowing treatment effect on Glycine max (Var 90-I) germination, growth and yield. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *166*, 212–219.

Azad, M. S., Zedan-Al-Musa, M., & Matin, M. A. (2010). Effects of pre-sowing treatments on seed germination of Melia azedarach. *Journal of Forestry Research*, *21*(2), 193–196.

Azad, S., Manik, M. R., Hasan, S., & Matin, A. (2011). Effect of different pre-sowing treatments on seed germination percentage and growth performance of Acacia auriculiformis. *Journal of Forestry Research*, *22*(2), 183.

Balakhnina, T., Bulak, P., Nosalewicz, M., Pietruszewski, S., & Włodarczyk, T. (2015). The influence of wheat Triticum aestivum L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. *Acta Physiologiae Plantarum*, *37*(3). https://doi.org/10.1007/s11738-015-1802-2

Bhardwaj, J., Anand, A., & Nagarajan, S. (2012). Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. *Plant Physiology and Biochemistry*, *57*, 67–73. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.05.008

Bian, L., Yang, L., Wang, J., & Shen, H. (2013). Effects of KNO3 pretreatment and temperature on seed germination of Sorbus pohuashanensis. *Journal of Forestry Research*, *24*(2), 309–316.

Bogotá DC. (2018). *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES INGENIERIA FORESTAL EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS MAGNÉTICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS SOBRE SEMILLAS Y PLÁNTULAS LAURA MARIA ACERO SOTTO UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCIS*.

Cakmak, T., Dumlupinar, R., & Erdal, S. (2010). Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, *31*(2), 120–129.

Carbonell, M. V., Flórez, M., Martínez, E., & Álvarez, J. (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. *Intropica*, *12*(2), 0–2. https://doi.org/10.21676/23897864.2282

Carruggio, F., Onofri, A., Impelluso, C., Giusso del Galdo, G., Scopece, G., & Cristaudo, A. (2020). Seed Dormancy Breaking and Germination in Bituminaria basaltica and B. bituminosa (Fabaceae). *Plants*, *9*(9), 1110.

Cho, J. S., Jang, B. K., & Lee, C. H. (2020). Breaking combinational dormancy of Rhus javanica L. seeds in South Korea: Effect of mechanical scarification and cold-moist stratification. *South African Journal of Botany*, *133*, 174–177.

Curtis, P. S., & Wang, X. (1998). A meta-analysis of elevated CO 2 effects on woody plant mass, form, and physiology. *Oecologia*, *113*(3), 299–313.

Dashti, F., Ghahremani-Majd, H., & Esna-Ashari, M. (2012). Overcoming seed dormancy of mooseer (Allium hirtifolium) through cold stratification, gibberellic acid, and acid scarification. *Journal of Forestry Research*, *23*(4), 707–710.

De Souza, A., Garcí, D., Sueiro, L., Gilart, F., Porras, E., & Licea, L. (2006). Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. *Bioelectromagnetics*, *27*(4), 247–257. https://doi.org/10.1002/bem.20206

De Souza, A., Sueiro, L., García, D., & Porras, E. (2010). Extremely low frequency nonuniform magnetic fields improve tomato seed germination and early seedling growth.
Seed Science and Technology, *38*(1), 61–72. https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.1.06

De Souza, Angel, García, D., Sueiro, L., & Gilart, F. (2014). Improvement of the seed germination, growth and yield of onion plants by extremely low frequency nonuniform magnetic fields. *Scientia Horticulturae*, *176*, 63–69.

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, Kornarzyński, K., Matwijczuk, A., Pietruszewski, S., & Szot, B. (2009). Effect of laser and variable magnetic field simulation on amaranth seeds germination. *International Agrophysics*, *23*(3), 229–235.

Dziwulska-Hunek, Agata, Sujak, A., & Kornarzyński, K. (2013). Short-term exposure to Pre-sowing electromagnetic radiation of amaranth seeds affects germination energy but not photosynthetic pigment content. *Polish Journal of Environmental Studies*, *22*(1), 93–98.

Dziwulska-Hunek, Agata, Szymanek, M., & Stadnik, J. (2020). Impact of Pre-Sowing Red Light Treatment of Sweet Corn Seeds on the Quality and Quantity of Yield. *Agriculture*, *10*(5), 165.

Erfanzadeh, R., Daneshgar, M., & Ghelichnia, H. (2020). Improvement of the seedling emergence method in soil seed bank studies using chemical treatments. *Community Ecology*, *21*(2), 183–190.

García-Perdomo, H. A. (2015). Conceptos fundamentales de las revisiones sistemáticas/metaanálisis. *Urología Colombiana*, *24*(1), 28–34. https://doi.org/10.1016/j.uroco.2015.03.005

Govindaraj, M., Masilamani, P., Albert, V. A., & Bhaskaran, M. (2017). Effect of physical seed treatment on yield and quality of crops: A review. *Agricultural Reviews*, *38*(1), 1–14.

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). https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557

Hołubowicz, R., Kubisz, L., Gauza, M., Tong, Y., & Hojan-Jezierska, D. (2014). Effect of low frequency magnetic field (LFMF) on the germination of seeds and selected useful characters of onion (Allium cepa L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici ClujNapoca*, *42*(1), 168–172. https://doi.org/10.15835/nbha4219131

Iqbal, M., Muhammad, D., Zia-ul-Haq, Jamil, Y., & Raza Ahmad, M. (2012). Effect of presowing magnetic field treatment to garden pea (Pisum sativum L.) seed on germination and seedling growth. *Pakistan Journal of Botany*, *44*(6), 1851–1856.

Iqbal, M., ul Haq, Z., Jamil, Y., & Nisar, J. (2016). Pre-sowing seed magnetic field treatment influence on germination, seedling growth and enzymatic activities of melon (Cucumis melo L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *6*, 176–183. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.04.001

Iqbal, M., ul Haq, Z., Malik, A., Ayoub, C. M., Jamil, Y., & Nisar, J. (2016). Pre-sowing seed magnetic field stimulation: A good option to enhance bitter gourd germination, seedling growth and yield characteristics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *5*, 30–37. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2015.12.002

Isaac A, E., Hernández A, C., Domínguez, A., & Cruz O, A. (2011). Effect of pre-sowing electromagnetic treatment on seed germination and seedling growth in maize (Zea mays L.). *Agronomía Colombiana*, *29*(2), 405–411.

Jak, S. (2015). *Meta-analytic structural equation modelling*. Springer.

Javed, N., Ashraf, M., Akram, N. A., & Al-Qurainy, F. (2011). Alleviation of adverse effects of drought stress on growth and some potential physiological attributes in

maize (Zea mays L.) by seed electromagnetic treatment. *Photochemistry and Photobiology*, *87*(6), 1354–1362. https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2011.00990.x

Kataria, S., Baghel, L., & Guruprasad, K. N. (2017). Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *10*(May 2016), 83–90. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.010

Leandro, G. (2008). *Meta-analysis in medical research: The handbook for the understanding and practice of meta-analysis*. John Wiley & Sons.

Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2011). Artículo especial Revisiones sistemá ticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Elsevier*. https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2011.07.009

Marcela, I., & Brito Mancero, Y. (2018). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO "META-ANÁLISIS SOBRE EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO PUBLICADO ACERCA DE PROCESOS DE EXTRACCIÓN Y FORMULACIÓN DE BIOINSECTICIDAS PROVENIENTES DE PLANTAS NEOTROPICALES" INGENIERA QUÍMICA AUTOR (A): PAULINA ANTONIA CUVI SAGÑAY*.

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 metaanalysis. *Ecological Indicators*, *116*(April), 106471. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106471

Molinero, L. . (2008). Metaanálisis, una guía rápida para lectores y usuarios. In *Elsevier*.

Muszynski, S., Gagos, M., & Pietruszewski, S. (2009). Short-term pre-germination exposure to ELF magnetic field does not influence seedling growth in durum wheat (Triticum durum). *Polish Journal of Environmental Studies*, *6*(18).

Muszyński, S., Gagoś, M., & Pietruszewski, S. (2009). Short-term pre-Germination exposure to ELF magnetic field does not influence seedling growth in durum wheat (Triticum durum). *Polish Journal of Environmental Studies*, *18*(6), 1065–1072.

Nurbaity, A., Nuraini, A., Agustine, E., Solihin, M. A., Setiawan, A., & Mbusango, A. (2019). Enhanced seedling germination and growth of sorghum through pre-sowing seed magnetic field treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *393*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/393/1/012101

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. *Ozone: Science & Engineering*, *42*(4), 331–346.

Pauzaite, G., Malakauskiene, A., Nauciene, Z., Zukiene, R., Filatova, I., Lyushkevich, V., Azarko, I., & Mildaziene, V. (2018). Changes in Norway spruce germination and growth induced by pre-sowing seed treatment with cold plasma and electromagnetic field: Short-term versus long-term effects. *Plasma Processes and Polymers*, *15*(2). https://doi.org/10.1002/ppap.201700068

Perveen, R., Ali, Q., Ashraf, M., Al-Qurainy, F., Jamil, Y., & Raza Ahmad, M. (2010). Effects of different doses of low power continuous wave He–Ne laser radiation on some seed thermodynamic and germination parameters, and potential enzymes involved in seed germination of sunflower (Helianthus annuus L.). *Photochemistry and Photobiology*, *86*(5), 1050–1055.

Pietruszewski, S., & Kania, K. (2010). Effect of magnetic field on germination and yield of wheat. *International Agrophysics*, *24*(3), 297–302.

Reddy, K. V, Reshma, S. R., Jareena, S., & Nagaraju, M. (2012). Exposure of greengram seeds (Vigna radiate var. radiata) to static magnetic fields: effects on germination and α-amylase activity. *Research Journal of Seed Science*, *5*(3), 106–114.

Rusdy, M. (2017). A review on hardseedness and breaking dormancy in tropical forage legumes. *Livestock Research for Rural Development*, *29*, 237.

Sadowska, U., Zabinski, A., & Tabor, S. (2018). Influence of variable electromagnetic field on the energy and germination capacity of Cannabis sativa L. subsp. culta Serebr. *2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine, PTZE 2018*, 252–255. https://doi.org/10.1109/PTZE.2018.8503152

Shine, M. B., Guruprasad, K. N., & Anand, A. (2011). Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. *Bioelectromagnetics*, *32*(6), 474–484. https://doi.org/10.1002/bem.20656

Soliman, A., & Harith, M. A. (2009). Effects of Laser Biostimulation on Germination of Acacia farnesiana (L.) Willd. *XIII International Conference on Medicinal and Aromatic Plants 854*, 41–50.

Song, F. (1999). Exploring heterogeneity in meta-analysis: Is the L'Abbe plot useful? *Journal of Clinical Epidemiology*, *52*(8), 725–730. https://doi.org/10.1016/S08954356(99)00066-9

Stange, B. C., Rowland, R. E., Rapley, B. I., & Podd, J. V. (2002). ELF magnetic fields increase amino acid uptake into Vicia faba L. roots and alter ion movement across the plasma membrane. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, *23*(5), 347–354.

Sujak, A, Dziwulska-Hunek, A., & Reszczynska, E. (2013). Effect of electromagnetic stimulation on selected fabaceae plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, *22*(3).

Sujak, Agnieszka, Dziwulska-Hunek, A., & Reszczyńska, E. (2013). Effect of electromagnetic stimulation on selected Fabaceae plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, *22*(3), 893–898.

Szajsner, H., Prośba-Białczyk, U., Sacała, E., Koszelnik-Leszek, A., Szubzda, B., Genetyki, K., Roślin Nasiennictwa, H., Szczegółowej Uprawy, K., Żywienia Roślin, K., & Botaniki Ekologii Roślin, K. (2017). the Effect of Pre-Sowing Seed Stimulation on the Germination and Pigment Content in Sugar Beet (Beta Vulgaris L.) Seedlings Leaves Wpływ Przedsiewnej Stymulacji Na Kiełkowanie I Zawartość Barwników W Liścieniach Buraka Cukrowego (Beta Vulgaris L.). *Abbrev.: Pol. J. Natur. Sc*, *32*(2), 2017.

Teixeira da Silva, J. A., & Dobránszki, J. (2016). Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? *Protoplasma*, *253*(2), 231–248. https://doi.org/10.1007/s00709-015-0820-7

Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, *135*(11), 507–511.

Valle, D. (2015). Conceptos fundamentales de las revisiones sistemáticas/metaanálisis Herney Andrés García-Perdomo. *Urol Colomb*, *24*(1), 28–34. https://doi.org/10.1016/j.uroco.2015.03.005

Vashisth, A., & Joshi, D. K. (2017). Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field. *Bioelectromagnetics*, *38*(2), 151–157. https://doi.org/10.1002/bem.22023

Vashisth, A., & Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (Helianthus annuus) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, *167*(2), 149–156.

Victoria, M., Padrino, C., Martínez Ramírez, E., & García, M. F. (n.d.). *TRATAMIENTO MAGNÉTICO COMO TÉCNICA ESTIMULANTE DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE SOJA MAGNETIC TREATMENT TECHNIQUE AS STIMULATING SOYBEAN SEED GERMINATION*.