

**Evaluación en la germinación de semillas de 2 especies arbóreas tropicales,  
por estimulación ultrasónica y electromagnética, con fines de conservación de  
las especies**

Investigadores autores:  
Natalia Jurado Alzate  
Giovanny Blandón Marín

Universidad Católica de Manizales  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Ambiental  
Manizales, Caldas  
2021

**Evaluación en la germinación de semillas de 2 especies arbóreas tropicales,  
por estimulación ultrasónica y electromagnética, con fines de conservación de  
las especies**

Investigadores

Asesor de proyecto de investigación:  
Giovanny Blandón Marín

Estudiante investigador:  
Natalia Jurado Alzate

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Modalidad:  
Proyecto de investigación articulado a semillero de investigación – Grupo de  
Estudios Ecológicos GEECO

Universidad Católica de Manizales  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Ambiental  
Manizales, Caldas  
2021

## **Contenido**

<b>Agradecimientos</b>	3
<b>Resumen</b>	4
<b>Descripción del proyecto</b>	5
<b>Planteamiento del problema</b>	5
<b>Justificación</b>	7
<b>Política pública a la que se da respuesta con el desarrollo del proyecto</b>	7
<b>Objetivos</b>	10
<b>Objetivo general</b>	10
<b>Objetivo específicos</b>	10
<b>Marco teórico</b>	11
<b>Antecedentes</b>	11
<b>Marco conceptual</b>	12
<i>Caoba (S. macrophylla)</i>	12
<i>Acacia roja (D. regia)</i>	13
<i>Fisiología de la Germinación</i>	15
<i>Electromagnetismo y Ultrasonido</i>	15
<b>Marco normativo</b>	16
<b>Métodos y resultados</b>	17
<b>Resultados y discusión</b>	19
<b>Resultados</b>	19
<i>Análisis descriptivo: Germinación</i>	19
<i>Análisis estadístico</i>	20
<i>Discusión</i>	23
<b>Recomendaciones</b>	27
<b>Bibliografía</b>	28
<b>Anexos</b>	35

## **Agradecimientos**

En primer lugar quiero agradecer a mi asesor de proyecto Giovanni Blandón, quien con sus conocimientos y experiencia me guio a través de cada una de las etapas de este proyecto para cumplir los objetivos y alcanzar los resultados esperados; agradeciendo igualmente a los docentes, Vladimir Henao y Yeison Garcés, por los aportes, el apoyo y el acompañamiento en la realización de este proyecto.

También quiero agradecer a la Universidad Católica de Manizales por ofrecerme y brindarme una formación integral en el proceso de investigación, y por educar profesionales de ingeniería ambiental que puedan desarrollar y mejorar continuamente el contexto ambiental del país.

Por último, quiero agradecer a mi familia, por apoyarme incondicionalmente en mi proceso formativo y en mi vida profesional, y por siempre darme aliento y ánimo para seguir adelante.

Muchas gracias a todos.

## Resumen

Colombia es un país con alta riqueza biológica, en donde varias especies de fauna y flora, entre ellas *Swietenia macrophylla* y *Delonix regia*, se encuentran categorizadas como especies amenazadas; problemática que da inicio y desarrollo a las investigaciones tendientes a la conservación y protección de la biodiversidad nacional. Por esta razón, el presente proyecto tiene por objeto, estimular semillas de *S. macrophylla* (caoba) y *D. regia* (acacia roja) para determinar la influencia del ultrasonido y el electromagnetismo en el período de germinación de estas dos especies arbóreas tropicales en estado de amenaza en Colombia. El procedimiento se hizo a través de una intensidad fija para ambos estimulantes (32900 Hz electromagnetismo y 40000 Hz ultrasonido) y tiempos variables de exposición (10 y 45 min), siendo comparados con un grupo control de semillas, las cuales no fueron sometidas a ningún estimulante; resultando 5 tratamientos con 12 réplicas cada uno, para un total de 60 semillas sembradas por cada especie. Los resultados arrojaron un éxito de germinación de 92% para *D. regia*, siendo el tratamiento de ultrasonido con tiempo de exposición de 45 min el de mejores resultados, con tiempos de germinación de 40 días de iniciado el experimento. Esta misma especie, y para el caso de electromagnetismo, tuvo mejores tiempos de germinación (54-59 días) el tiempo de exposición de 45 min en comparación al tiempo de 10 min, el cual obtuvo germinación de semillas en los mismos tiempos que el grupo control (63-74 días). Por su parte, *S. macrophylla* tuvo un éxito de germinación del 0%, resultado que está condicionado por la fisiología de la germinación y los factores ambientales, como lo son, la humedad, la luz, la sombra, la temperatura y el oxígeno, que pueden influir y limitar el proceso de germinación de las semillas.

## Descripción del proyecto

### Planteamiento del problema

En todo el mundo se encuentran especies vegetales y animales que se han visto amenazadas a lo largo de los años debido a factores ambientales, como el clima, la evolución y las interacciones entre especies, además de antrópicos, como la urbanización, el aprovechamiento de los recursos naturales y el cambio del uso del suelo. Colombia no es la excepción, y es por ello, que en 2001 se crea en el país la Estrategia Nacional para la Conservación de Plantas (ENCP), en donde instituciones académicas y gubernamentales aportan conocimientos científicos y políticos para la gestión integral de la biodiversidad en todo el territorio (Instituto Humboldt).

*Swietenia macrophylla*, comúnmente conocida como caoba, hace parte de la familia Meliaceae, especie que se distribuye en la zona intertropical americana, desde México hasta Brasil y Bolivia. En Colombia, las poblaciones de esta especie se registran en la costa atlántica, el valle medio del río Magdalena y el Chocó biogeográfico, además de otros departamento como lo son Bolívar, Chocó, La Guajira, Magdalena, Santander y Sucre, en altitudes entre los 0 y 1100 m.s.n.m. *S. macrophylla* se comporta como especie pionera y debido a su longevidad puede encontrarse en claros de bosques, bosques secundarios tardíos o bosques maduros; creciendo en sitios planos, de pendientes moderadas, suelos medianamente fértiles y precipitaciones anuales de 1500-3500 mm. La caoba es mayormente usada para el aprovechamiento comercial de madera en la fabricación de muebles, ebanistería, artesanías, decoraciones de interiores, instrumentos musicales, embarcaciones, entre otros. A su vez, *S. macrophylla* al ser nativa de Colombia, cuenta con una atracción media para la fauna, aspecto importante para el mantenimiento de los ecosistemas (CAR, 2019; Cárdenas & Salinas (eds.), 2007; Universidad EIA a).

*Delonix regia*, conocida como acacia roja, es una de las especies de la familia Fabaceae, originaria de la selva de Madagascar, África; sin embargo, su distribución se extiende gracias a la propagación de ejemplares a lo largo del globo terráqueo, especialmente en el continente americano. En Colombia, la acacia roja se ubica en la Amazonía, los Andes, las Islas Caribeñas, las Llanuras del Caribe, la Orinoquía, el Pacífico, el Valle del Cauca y el Valle del Magdalena, en altitudes entre los 0 y los 1540 m.s.n.m. Sus árboles son de porte alto, encontrados mayormente en bosques secos, con suelos ricos en cal. La acacia roja se usa en espacios públicos de forma ornamental, mientras que cultivado sirve de árbol de sombra para otros cultivos, así como de especie forrajera para el alimento de ganado. Su madera se usa en el sector construcción, su corteza es usada para la extracción de taninos, una

sustancia orgánica implementada en el proceso del cuero, y sus semillas se emplean en la elaboración de artesanías. Por su parte, a pesar de que su atracción a la fauna no está medida, si es conocido que el color de sus flores atrae animales polinizadores como lo son las aves, las abejas y los insectos (Bernal, Gradstein & M. Celis (eds.), 2015; Rivers, 2014; UFM; Universidad EIA b).

A pesar de las distribuciones poblacionales, *S. macrophylla* y *D. regia*, son dos especies reportadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN como especies en estado de amenaza a nivel global en The ICUN Red List of Threatened Species. *S. macrophylla*, tiene un grado de amenaza Vulnerable (VU) a nivel global (World Conservation Monitoring Centre, 1998; Cárdenas & Salinas (eds.), 2007) y un grado de amenaza En Peligro Crítico (CR) a nivel nacional (Cárdenas & Salinas (eds.), 2007; Universidad EIA a). Por su parte, *D. regia* no cuenta a nivel nacional con un estado de conservación evaluado (Universidad EIA b); sin embargo, cabe resaltar, que a nivel global presenta un grado de amenaza Preocupación menor (LC) (Rivers, 2014).

En consecuencia, el Decreto 1791 de 1996, compilado en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente 1076 de 2015, declara el régimen de aprovechamiento forestal; teniendo por objeto regular las actividades de la administración pública y de los particulares respecto al uso, manejo, aprovechamiento y conservación de los bosques y la flora silvestre con el fin de lograr un desarrollo sostenible.

Teniendo en cuenta lo anterior, la estimulación de semillas por medio de campos electromagnéticos y por ondas ultrasónicas con el fin de mejorar su periodo germinativo y en otros casos su crecimiento, puede ser una gran alternativa para contribuir al establecimiento de nuevas poblaciones de especies vegetales. Sin embargo, la mayoría de antecedentes se ven enfocados al estudio y análisis de los efectos de estos estimulantes sobre especies mayormente agrícolas y con fines de aprovechamiento y producción. Por lo cual, se vuelve necesario comenzar a realizar investigaciones sobre especies que tengan potencial de conservación y que requieran de una reintroducción debido a sus condiciones de amenaza; como lo son las dos especies forestales endémicas expuestas en el presente trabajo.

Dado lo anterior, el proyecto busca responder el siguiente interrogante:

¿Cómo influyen los estimulantes electromagnéticos y ultrasónicos, en el tiempo de germinación de semillas de *Swietenia macrophylla* y *Delonix regia*?

## Justificación

Debido a las condiciones de riesgo y con base en las características poblacionales de *S. macrophylla* y *D. regia* en el país es preciso lograr la estimulación de semillas de caoba y de acacia roja a través de electromagnetismo y ultrasonido; con el fin de reducir su estancia en el vivero y su tiempo de germinación, ya que debido a las condiciones de riesgo de ambas especies, es necesario incrementar y recuperar los ejemplares que proveen las semillas y que reestablecen las poblaciones que se han perdido; teniendo en cuenta que esto toma tiempo y requiere de monitoreo constante, manejo y control. La alta transformación de los ecosistemas, producto principalmente de la actividad humana, genera muchos impactos sobre la biodiversidad, como es el cambio en la estructura de los paisajes continentales y costeros. Por ello, de acuerdo a lo planteado por Etter et al (2006b), citado por MADS (2012), la deforestación es una causa de la transformación descompensada de los ecosistemas dejando detrás de sí, fragmentos de bosque maduro y parches de vegetación secundaria.

A partir de este trabajo se busca contribuir a la mejora en la germinación de las semillas por medio de la estimulación por electromagnetismo y ultrasonido con el fin de implementar nuevas estrategias que promuevan la recuperación de especies en estado de riesgo dentro del país. Teniendo en cuenta que es decisión del mismo ser humano velar por la conservación y protección de estas especies a lo largo de los años y, es deber del mismo encontrar soluciones a las pérdidas y alteraciones de las mismas.

## Política pública a la que se da respuesta con el desarrollo del proyecto

De acuerdo al Informe de seguimiento Políticas públicas ambientales presentado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, la política nacional que trata acerca de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos tiene por objetivo principal velar por que se mantenga y se mejore la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos a nivel nacional, regional y local, las cuales traigan consigo escenarios de cambio tanto para el sector productivo como para la sociedad civil (MADS, 2018). La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos – PNGIBSE de la República de Colombia esboza el cambio que la gestión de la biodiversidad ha tenido en sus marcos conceptual y estratégico para construir la integralidad de la gestión de los sistemas ecológicos y sociales relacionados a la conservación de la biodiversidad, en donde se expone la interacción entre sistemas de preservación, restauración, uso sostenible y construcción de conocimiento e información (MADS, 2012).

Así mismo, esta política pública de orden nacional considera las especies y poblaciones dentro de los componentes de la biodiversidad colombiana. Dentro de este componente, las especies endémicas son una fracción muy significativa para el país, ya que, de acuerdo a Gleich et al (2000) & Franco et al (2006), citados por el MADS (2012), cerca de una tercera parte de las especies de plantas son endémicas exclusivas de Colombia. Sin embargo, la parte restante, aun siendo endémica, no solo se encuentra en Colombia, sino que se distribuye en otros países con características ambientales similares o condiciones que propicien su adaptación, como lo es el caso de la caoba (*S. macrophylla*). Por su parte, las especies introducidas, al igual que las endémicas, tienen una distribución heterogénea en el territorio colombiano, la cual ha ido cambiando de forma significativa con el paso del tiempo debido a factores tanto naturales como antrópicos; por lo que muchas de estas especies no nativas, como lo es la acacia roja (*D. regia*), se convierten en especies de gran valor ecosistémico, presentando grandes atributos para el sostenimiento socio-ecológico de los territorios.

De esta manera, en el Motor 2. Disminución, Pérdida o Degradación de Elementos de los Ecosistemas Nativos y Agroecosistemas de la PNGIBSE, indica que la tala ilegal es un problema que amenaza las poblaciones de especies endémicas para el aprovechamiento de maderas finas como la caoba (*S. macrophylla*); mientras que para las especies introducidas y con valor comercial, se han otorgado un gran número de permisos de aprovechamiento, caso que aplica para las acacias (*Acacia sp.*), encontrando dentro de sus especies a *D. regia*, acacia roja. Igualmente, tanto para las especies endémicas como para las introducidas, hay una gran cantidad de especies catalogadas bajo alguna categoría de amenaza debido principalmente, y como ya se mencionó, a la tala masiva de los ejemplares distribuidos en el territorio nacional (MADS, 2012)

La promoción y el fortalecimiento de las actividades para recuperar, proteger y conservar *in situ* y *ex situ* las variedades autóctonas de plantas cultivadas o silvestres se convierten en un eje temático y en una línea estratégica dentro de la política pública de orden nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (MADS, 2012).

Por consiguiente, las especies de plantas, y más aún las endémicas, son un pilar en el sostenimiento de la biodiversidad colombiana, ya que, como parte del amplio conjunto biodiverso, prestan servicios ecosistémicos irremplazables y de alto impacto para la vida humana. Servicios de aprovisionamiento, de regulación, de soporte y culturales son aquellos que una especie representa y brinda a diario (MADS, 2012); por lo que se vuelve actualmente necesario proteger y conservar la diversidad de plantas, tomando como prioridad aquellas que se encuentran

amenazadas. La caoba y la acacia roja son solo dos ejemplos de especies que sufren los efectos de la presión humana sobre la biodiversidad del país, las cuales, sino se actúa al respecto, pueden perder sus poblaciones y finalmente extinguirse.

## Objetivos

### Objetivo general

Determinar la influencia del ultrasonido y el electromagnetismo en la germinación de *S. macrophylla* y *D. regia*.

### Objetivo específicos

- Evaluar si existen diferencias entre el ultrasonido y el electromagnetismo como medio de estimulación, para la germinación de semillas de *S. macrophylla* y *D. regia*.
- Establecer si el tiempo de exposición de las semillas a los estimulantes influye en el periodo de germinación de las especies evaluadas.
- Estimar si el tamaño de las plántulas de *S. macrophylla* y *D. regia* está influenciado por el método de estimulación.

## Marco teórico

### Antecedentes

Las investigaciones acerca de los efectos de los campos magnéticos sobre los organismos se han intensificado los últimos años. Ya sean campos estáticos (imanes) o variables (bobinas y electroimanes), la influencia que tienen es bastante positiva, más aun en la agricultura. En donde la variación de las intensidades y los tiempos de exposición se consideran las variables más influyentes en el éxito de los campos; aplicándolo así en el análisis y estudio de la velocidad y porcentaje de germinación, la longitud y peso de las plantas, la coloración de los frutos, la actividad enzimática y fotosintética, respiración y pérdida de calor, contenidos de algunas proteínas, entre muchas otras cosas (Carbonell, Flórez & Martínez, 2003).

En un estudio realizado por Soja et al. (2003), citado por Balmori (2004), bajo una línea de alta tensión que discurre entre Austria y la República Checa, se evaluó su efecto sobre cultivos de trigo y maíz, los resultados indicaron una reducción media de la producción de trigo de un 7% en los campos más próximos a la línea eléctrica durante los 5 años que duró la investigación. En general suele corroborarse un efecto estimulante del crecimiento y desarrollo de plantas sometidas a la acción de campos magnéticos estáticos, pero inhibitorio en el caso de campos variables (Carbonell, Flórez & Martínez, 2003).

Por ejemplo, la estimulación de semillas de ají por medio de campos electromagnéticos estudia el tiempo y el porcentaje de germinación. El estudio se desarrolló con bobinas de dos campos, continuos (DC) y alternos (AC), a dos intensidades de 30 y 60 mT (militeslas) y tiempos de exposición de 30, 60 y 120 min; en donde se pudo demostrar que al incrementar la intensidad y el tiempo de exposición a los campos electromagnéticos, se pudo reducir el tiempo de germinación (Jiménez et al., 2013). También, una investigación sobre *Leucaena leucocephala* señala que se evaluó el número de semillas germinadas, la longitud de la raíz y el porcentaje de nitrógeno en las plántulas a los 16 días de siembra, para semillas que fueron expuestas a campos magnéticos de 125 y 250 mT durante 10, 30 y 60 minutos; en donde se demostró la influencia del electromagnetismo sobre las semillas a través de las mediciones ya mencionadas (Hincapié, Torres & Bueno, 2010).

Uno de los tratamientos para evitar la dormancia de las semillas, especialmente en especies forrajeras, a partir de energía, es el ultrasonido (Díaz & Mérola, 2012). Pero también es un tratamiento asociado a al mejoramiento de imprimación de sustancias que aceleran el proceso de germinación; mejorando la transferencia y absorción de la solución aplicada en la semilla (Hielscher Tecnología de

Ultrasonido). En otros casos es usado para el procesamiento de alimentos, ya que las ondas ultrasónicas reducen los tiempos de proceso y mejoran los atributos de calidad; igualmente vista para potencializar y optimizar los procesos de secado, congelado, descongelado, extracción, entre otros. Lo que hacen las ondas es generar microburbujas con alto contenido energético, las cuales estallan y aumentan la temperatura del medio para producir cambios ya sea físicos, químicos o bioquímicos (Robles & Ochoa, 2012).

Por otro lado, un estudio enuncia el uso de varios tratamientos de estimulación para el establecimiento de semillas y la producción del cultivo de trigo. En este se evaluaron algunos tratamientos físicos, entre ellos el ultrasonido, para la estimulación de la semilla y su posterior establecimiento. Todos los tratamientos tuvieron un tiempo de exposición de 3,5 y 5 minutos y las semillas se sembraron en 2 fechas diferentes; las cuales tuvieron un periodo de análisis entre 2013 y 2014. En los resultados del estudio se pudo verificar que todas las semillas tratadas presentaron un mejoramiento en el coeficiente de uniformidad y un aumento en el vigor de las plántulas; siendo el ultrasonido uno de los tratamientos con mejor resultado en una exposición de 3,5 minutos para mejorar el rendimiento del cultivo de trigo (Mirshekari, 2015).

## Marco conceptual

### *Caoba (S. macrophylla)*

La caoba (*S. macrophylla*) es una de las tres especies del género *Swietenia*, género que hace parte de la familia Meliaceae; conocida comúnmente también como palosanto cedro caoba en Colombia (CAR, 2019). *S. macrophylla* cuenta con ejemplare de hasta 50 m de altura y hasta 3 m de diámetro, presentando copa amplia entre los 7 y 14 m, y con una densidad de follaje alta. Su fuste es recto y cilíndrico, de corteza interna de colores rosados y rojos, de textura fibrosa, amarga y astringente. Las hojas pueden medir hasta 30 cm de largo, presentando color verde oscuro, son compuestas, parapinnadas, alternas, sin exudado, con base redondeada, borde entero, y de persistencia caducifolia. La floración de la caoba es estacional, variando entre los colores blanco y verde, presentando vellos, cáliz en forma de copa, 5 pétalos libres y estambres amarillos. Tiene frutos que miden 22 cm de largo, con aspecto de cápsula alargada y ovalada, de color pardo grisáceo; los cuales una vez maduros se abren por si solos, de abajo hacia arriba, tomando una forma de paraguas. Cada fruto puede llegar a contener entre 45 y 70 semillas en total, las cuales miden 9 cm de largo, de color café claro, aladas y livianas (CAR, 2019; Universidad EIA a).

*S. macrophylla* es una especie nativa de Colombia, sin embargo no es exclusiva del país, ya que cuenta con una amplia distribución en la zona intertropical americana, desde México hasta Brasil y Bolivia. En Colombia, las poblaciones de esta especie se registran en la costa atlántica, el valle medio del río Magdalena y el Chocó biogeográfico, así como en otros departamentos; Bolívar, Chocó, La Guajira, Magdalena, Santander y Sucre, en altitudes entre los 0 y 1100 m.s.n.m. La caoba se comporta como especie pionera y debido a su longevidad alta (60 años); encontrándose en claros de bosques, bosques secundarios tardíos o bosques maduros. La caoba es mayormente usada para el aprovechamiento comercial de madera en la fabricación de muebles, ebanistería, artesanías, decoraciones de interiores, instrumentos musicales, embarcaciones, entre otros (CAR, 2019; Cárdenas & Salinas (eds.), 2007; Universidad EIA a). Esta especie de *Swietenia* se encuentra en la categoría Vulnerable (VU) a nivel global (World Conservation Monitoring Centre, 1998; Cárdenas & Salinas (eds.), 2007) y un grado de amenaza En Peligro Crítico (CR) a nivel nacional (Cárdenas & Salinas (eds.), 2007; Universidad EIA a); debido principalmente a que es una de las maderas de mayor valor comercial y de explotación intensa y masiva en los países tropicales en los que se distribuye, incluyendo a Colombia (CAR, 2019).

*S. macrophylla* al ser nativa de Colombia, cuenta con una atracción media para la fauna, aspecto importante para el mantenimiento de los ecosistemas. Su polinización se da gracias a los insectos, mientras que su sistema de dispersión es principalmente anemócora, es decir, por acción del viento (CAR, 2019; Cárdenas & Salinas (eds.), 2007; Universidad EIA a). Las medidas de conservación propuestas para esta especie se dirigen a la exploración de santuarios de fauna y flora en busca de poblaciones naturales de la especie, como la Ciénaga de Santa Marta y Jorge Hernández Camacho y el Parque Nacional Natural Katíos (Cárdenas & Salinas (eds.), 2007). Se considera una especie de crecimiento rápido, cuando las condiciones ambientales son de buena humedad y sombra en sus etapas juveniles; bajo esas condiciones, la germinación de las semillas puede darse entre 10 y 20 días (CAR, 2019).

### ***Acacia roja (D. regia)***

*D. regia*, conocida comúnmente como acacia roja, acacio, flamboyán, tabachín o árbol de fuego, es una de las 11 especies aceptadas para el género *Delonix* de la familia Fabaceae (Naturalista). Los ejemplares de acacia roja pueden alcanzar alturas entre los 8 y 15 m, con diámetros hasta los 60 cm, y copas amplias achatadas de más de 14 m con densidad media en su follaje. Su tronco es grueso con nudos, de corteza parda-grisácea, delgada y generalmente lisa; del mismo salen ramas largas y anchas. *D. regia* presenta una persistencia caducifolia en sus hojas; éstas son compuestas, alternas, con 10 a 25 pares de pinnas opuesta de 5 a

12 cm de largo, y cada pinna con 12 a 40 pares de pares de foliolos. Sus flores tienen colores entre rojos y anaranjados, con un total de cuatro pétalos, y racimos que crecen lateralmente en las ramillas con longitudes entre los 15 y 25 cm. Presenta frutos de vaina alargada y leñosa, de color café oscuro, con un largo de 35 a 60 cm y un ancho de 5 cm aproximadamente; estos frutos cuelgan de los árboles durante todo un año antes de abrirse y esparcir sus semillas, las cuales poseen colores marrones y una longitud de 1 cm o menos (Arreola et al.; Gilman et al., 2019; Missouri Botanical Garden; UFM; Uninorte; Universidad EIA b).

La acacia roja no es una especie nativa de Colombia, esta fue introducida desde Madagascar, África; sin embargo, puede ser encontrada en varios países del mundo, como Estados Unidos, Puerto Rico, México, Cuba, Centro América y el Caribe, Venezuela, Perú, Brasil, entre otros. En el territorio colombiano, sus poblaciones se encuentran principalmente en los Valles de los ríos Cauca y Magdalena, extendiéndose a lo largo de las demás regiones, entre los 0 y los 2000 m.s.n.m. La longevidad que presenta esta especie, de 36 a 60 años, le ha permitido a sus ejemplares la permanencia en los ecosistemas por largos periodos teniendo, alcanzando incluso poblaciones nativas en el territorio colombiano. Sus árboles son de porte alto, encontrados mayormente en bosques secos, con suelos ricos en cal. Es una especie usada en espacios públicos de forma ornamental, también se usa como árbol de sombra para otros cultivos, y como especie forrajera para el alimento de ganado. Su madera se usa en el sector construcción, su corteza es usada para la extracción de taninos, una sustancia orgánica implementada en el proceso del cuero, y sus semillas se emplean en la elaboración de artesanías. (Bernal, Gradstein & M. Celis (eds.), 2015; Rivers, 2014; UFM; UNAL; Universidad EIA b). *D. regia* no cuenta a nivel nacional con un estado de conservación evaluado (Universidad EIA b); sin embargo, cabe resaltar, que a nivel global presenta un grado de amenaza Preocupación menor (LC) (Rivers, 2014).

Por su parte, para la acacia roja su nivel de atracción a la fauna no está medido; pero si es conocido que el color de sus flores atrae animales polinizadores como aves, abejas y otros insectos; igualmente cumple una función de aprovisionamiento de alimento para la fauna (Universidad EIA b). Al ser una especie categorizada en estado de amenaza en el territorio nacional, las estrategias de conservación y protección de la especie se rige bajo el marco normativo, los planes y programas, desarrollados por las autoridades y entidades ambientales pertinentes. Se considera una especie de crecimiento rápido, cuando las condiciones ambientales son las óptimas; bajo esas condiciones, la germinación de las semillas puede darse entre 12 y 349 días (Succulent Avenue).

### ***Fisiología de la Germinación***

La germinación inicia desde que se da la absorción de agua por la semilla seca y termina cuando el eje embrionario se presenta una elongación, es decir, concluye cuando la radícula penetra y atraviesa las estructuras que rodean al embrión. El periodo de germinación se divide en 3 fases principales: 1) La imbibición es la absorción de agua necesaria para que ocurran las reacciones hidrolíticas y la rehidratación de proteínas y organelos celulares. 2) La activación del metabolismo es donde se da la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas; además del desarrollo de actividades enzimáticas. 3) La emergencia de la radícula, considerado un crecimiento visible, concluye el proceso germinativo. Para poder llevar a cabo este proceso, es necesario considerar la disponibilidad de agua, la presencia de oxígeno, la estabilidad de la temperatura, y el fotoperiodo (luz y sombra); los cuales son requerimientos ambientales fundamentales para la germinación de la semilla y que, a su vez, pueden ser factores detonantes en la dormancia de las semillas si no se controlan y estudian adecuadamente; anotaciones realizadas por Evenari (1957), Côme, (1982), citado por Herrera et al. (2006), y Courtis (2013).

### ***Electromagnetismo y Ultrasonido***

La radiación electromagnética se considera la energía transmitida a través del espacio en forma de ondas, compuestas de campos eléctrico y magnético, los cuales se comportan oscilantemente, y son perpendiculares entre sí y con la dirección de propagación de la onda (González, 2009). Ambas son magnitudes físicas de tipo vectorial, producidas por la electricidad y con efecto en el movimiento de los electrones. Los campos eléctricos siempre están presentes, sin necesidad de tener una fuente de emisión, siendo debilitados por obstáculos físicos; los campos magnéticos no siempre están presentes, debido a que requieren de una fuente de emisión, pero su efecto sobre los objetos es mayor al de los campos eléctricos, ya que puede traspasar a través de los objetos. Las ondas electromagnéticas se dividen en tres tipos: a) Efecto electromagnético, frecuencias en las que se da la radiación electromagnética, b) Ondas de baja intensidad o frecuencia, producidas por centros de transformación y líneas de alta tensión, y c) Ondas de alta intensidad, las cuales transportan gran cantidad de energía capaz de romper enlaces moleculares, como lo son los rayos gamma, los rayos X y los rayos cósmicos (Acero, 2018).

Las ondas ultrasónicas, también llamadas ultrasonidos, son vibraciones sonoras que sobrepasan el nivel máximo audible (20000 Hz) (Burbano, Burbano & García, 2003). También, las ondas por ultrasonido se pueden entender como la deformación elástica de los materiales ferroeléctricos, dentro de estos campos eléctricos de alta frecuencia; teniendo como origen la mutua atracción de las moléculas polarizadas en el entorno. Los efectos de estas ondas son muchos, siendo uno de ellos el

fenómeno de cavitación gaseosa, comprendida como la generación y evolución de microburbujas en las regiones de un medio líquido que se someten a presiones de alta amplitud y que se cambian rápidamente entre un esfuerzo tensional y de compresión; condición que provoca la implosión violenta de las microburbujas, aumentando la temperatura de las moléculas del entorno y produciendo choques mecánicos entre las mismas (Robles & Ochoa, 2012).

### **Marco normativo**

A partir de lo establecido en el Decreto 2811 de 1974, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, surge el Decreto 877 de 1976, el cual se encuentra compilado en la Parte 2, Título 2, Capítulo 1, Sección 17 del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente 1076 de 2015, expedido por el Ministerio de Agricultura, señala prioridades referentes a los diversos usos del recurso forestal, a su aprovechamiento y al otorgamiento de permisos y concesiones que se requieren con respecto a este recurso. Dentro de este decreto, se hacen las especificaciones sobre las áreas protectoras, áreas protectoras-productoras y áreas productoras, y las consideraciones para clasificar las áreas boscosas en alguna de estas. A partir del anterior decreto, se crea el CONPES 2834 de 1996, en donde se establece la búsqueda de la sostenibilidad de los bosques para mejorar la economía y el empleo de la nación a partir del sector forestal. En este se comprenden entonces los ecosistemas boscosos y áreas de aptitud forestal, los factores sociales que generan interacciones con éstos, las actividades relacionadas con la conservación, el uso, el manejo y el aprovechamiento de los bosques, y los aspectos institucionales que influyen de manera directa o indirecta en los factores ya mencionados. A través de este CONPES, se pretende entonces definir y establecer estrategias que propicien el uso sostenible, la conservación y la recuperación de los ecosistemas boscosos.

Por su parte, el Decreto 1791 de 1996, compilado en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente 1076 de 2015 en la Parte 2, Título 2, Capítulo 1, Secciones 1 a 15, declara el régimen de aprovechamiento forestal; teniendo por objeto regular las actividades de la administración pública y de los particulares respecto al uso, manejo, aprovechamiento y conservación de los bosques y la flora silvestre con el fin de lograr un desarrollo sostenible. Y, la Ley 299 de 1996 protege la flora y la fauna colombiana a través de los jardines botánicos, con el fin de conservar, propagar, investigar y usar sosteniblemente la riqueza biológica del país; cuestión con la cual se relaciona directamente este proyecto. Así mismo, la Ley 1021 de 2006, fija el Régimen Forestal Nacional, en donde se enmarcan las pautas y requerimientos de las actividades sobre el recurso forestal a nivel nacional tanto en bosques plantados como bosques naturales, con el objetivo de mantener el desarrollo sostenible de este recurso.

## Métodos y resultados

Se trataron muestras de semillas certificadas de caoba (*S. macrophylla*) y acacia roja (*D. regia*) obtenidas de un vivero comercial, en la ciudad de Manizales, Caldas. Las semillas de cada especie se seleccionaron aleatoriamente utilizando un total de cinco tratamientos con 12 repeticiones; teniendo como resultado un total de 60 semillas evaluadas por especie. Para cada tratamiento, electromagnetismo y ultrasonido, se contó con una intensidad no variable de 32900 Hz y 40000 Hz respectivamente, y con tiempos de exposición variable, en ambos casos de 10 y 45 min; y un grupo control, es decir, sin exposición a estimulación electromagnética o ultrasónica. En la Tabla 1 se muestra el diseño experimental usado en el presente proyecto.

Tiempo de exposición	Estimulantes	
	Electromagnetismo (EM)	Ultrasonido (US)
0	Control (T <sub>5</sub> )	
10	EM10 (T <sub>1</sub> )	US10 (T <sub>3</sub> )
45	EM45 (T <sub>2</sub> )	US45 (T <sub>4</sub> )

**Tabla 1.** Diseño experimental para estimulación de semillas de caoba (*S. macrophylla*) y acacia roja (*D. regia*)

La estimulación electromagnética se realizó por medio de una antena de emisión y un amplificador, conectados a una fuente generadora de señales de radiofrecuencia; mientras que la estimulación ultrasónica se realizó con un sonicador o baño de ultrasonido digital con calentador de la marca Branson; ambos montajes instalados en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Católica de Manizales. Una vez se efectuó la estimulación, se procedió a colocar las semillas de *S. macrophylla* y *D. regia* en vasos plásticos de 12-16 onzas, con tierra negra como sustrato. El vivero transitorio consistió se ubicó en un espacio de la Universidad Católica de Manizales, el cual se seleccionó considerando la presencia de las condiciones ambientales (luz, temperatura, humedad) necesarias para la germinación de las semillas.

Finalmente, los datos fueron registrados en un formato Excel, y posteriormente adaptados y analizados en el entorno de programación RStudio, el cual arrojó como resultados un diagrama de cajas o Box plot, y pruebas estadísticas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, un Análisis de Varianza (ANOVA I), y una prueba de Tukey; las cuales comprobaron estadísticamente los datos experimentales del estudio, y definieron la viabilidad del experimento y su respectiva significancia. También, y para complementar y sustentar los resultados obtenidos, se desarrolló una discusión con base en el efecto de los medios de estimulación sobre las

semillas, la fisiología vegetal y los límites de la misma, en la germinación, y en resultados de otras investigaciones.

## Resultados y discusión

### Resultados

#### *Análisis descriptivo: Germinación*

Los resultados obtenidos para los tratamientos aplicados en *D. regia*, como se observa en la Tabla 2, señalaron que la variable de respuesta tenida en cuenta, tiempo de germinación, con respecto al medio de estimulación aplicado, presentó el mejor resultado en el US45 (T<sub>4</sub>), debido a la germinación de 11 de sus semillas en los primeros 40 días de iniciado el experimento. Para las semillas del grupo de EM10 (T<sub>1</sub>) y las semillas del Grupo control (T<sub>5</sub>), es decir, sin estimulación, tuvieron en ambos casos la germinación de 10 semillas entre los 63 y 74 días de iniciado el experimento; mientras que la totalidad de las semillas (12) de los tratamientos EM45 (T<sub>2</sub>) y US10 (T<sub>3</sub>) germinaron entre los 54 y 59 días.

	Acacia Roja ( <i>Delonix regia</i> )				
	EM10	EM45	US10	US45	Control
Semilla 1	63	54	54	40	63
Semilla 2	63	54	54	40	63
Semilla 3	63	54	54	40	63
Semilla 4	66	54	54	40	63
Semilla 5	66	54	59	40	66
Semilla 6	70	54	59	40	70
Semilla 7	70	59	59	41	74
Semilla 8	74	59	59	41	74
Semilla 9	74	59	59	41	74
Semilla 10	74	59	59	41	74
Semilla 11	0	59	59	41	0
Semilla 12	0	59	59	0	0

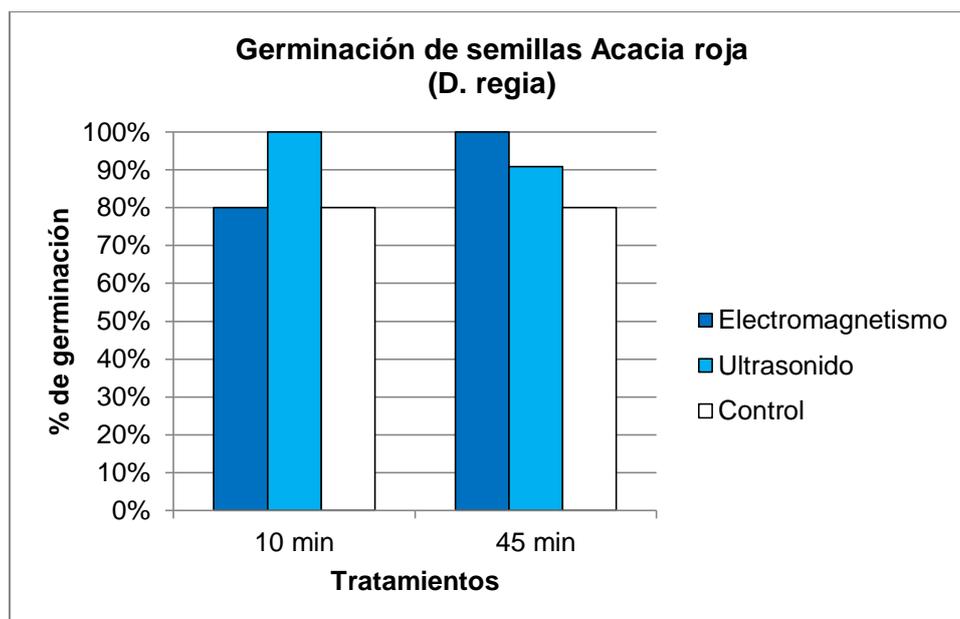
**Tabla 2.** Relación del tiempo de germinación (días) de cada grupo de semillas con respecto al tratamiento aplicado

Con la información anterior, también se logra obtener el éxito de germinación de cada tratamiento, expresado en porcentaje, atendiendo al total de semillas germinadas y no germinadas. De esta manera, todos los tratamientos presentaron porcentajes de germinación superiores al 80%, teniendo en cuenta que T<sub>2</sub> (EM45) y T<sub>3</sub> (US10), fueron las que obtuvieron una germinación del 100%, como se muestra en la Tabla 3 y en la Gráfica 1. Así mismo, el éxito de germinación global del experimento es de 92%, considerando la germinación de 55 de 60 semillas usadas para acacia roja (*D. regia*). Por otro lado, en el caso de caoba (*S. macrophylla*), el

éxito de germinación fue de 0%, ya que ninguno de los grupos de semillas logró germinar.

Acacia Roja ( <i>Delonix regia</i> )					
	EM10	EM45	US10	US45	Control
Proporción	80%	100%	100%	91%	80%
Gemina	10	12	12	11	10
No germina	2	0	0	1	2

**Tabla 3.** Éxito de germinación (%) para cada grupo de semillas según el tratamiento aplicado



**Gráfica 1.** Éxito de germinación (%) para cada grupo de semillas según el tratamiento aplicado

### **Análisis estadístico**

Luego de realizar un análisis descriptivo, se procedió a realizar un análisis estadístico, con el fin de demostrar la significancia de los resultados y del estudio realizado.

Se inició con el planteamiento de las siguientes hipótesis:

$$H_0 : \text{datos normales}$$

$$H_A : \text{datos no normales}$$

Las anteriores hipótesis se comprobaron mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov en RStudio a través del paquete “nortest”, la cual se aplica para matrices de datos mayores a 50. Como resultado de la prueba corrida, se obtuvo que el valor de probabilidad de evidencia en contra de la hipótesis nula (valor p) fue mayor al grado de significancia usada ( $0.05 = 5\%$ ); como se indica a continuación:

```
data: DATOS$Germinación  
D = 0.16362, p-value = 0.08407
```

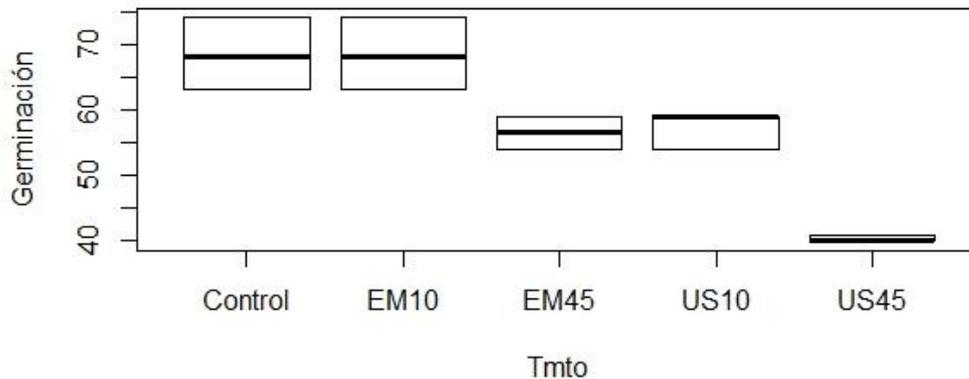
El valor p de 0.08407 es mayor a 0.05, lo cual mostró que el comportamiento de los datos cumplió con las condiciones de normalidad, aceptando  $H_0$  y rechazando  $H_A$ ; condición que permitió aplicar un ANOVA para el análisis estadístico de los datos. Luego de que se confirmó el comportamiento normal de los datos, para comenzar el ANOVA y la prueba de Tukey, se establecieron dos nuevas hipótesis.

$$H_0 : EM10 = EM45 = US10 = US45 = Control$$

$$H_A : EM10 \neq EM45 \neq US10 \neq US45 \neq Control$$

La hipótesis nula ( $H_0$ ), indica que todos los tratamientos son iguales, es decir, que tanto la estimulación con electromagnetismo como la estimulación con ultrasonido, a 10 min y 45 min, y el grupo control, no presentan diferencias significativas entre ellos. La hipótesis alternativa ( $H_A$ ), por el contrario, plantea que al menos uno de los tratamientos es diferente a los demás.

Sabiendo lo anterior, se procedió a elaborar una observación gráfica a través de un Box plot, también conocido como diagrama de cajas. El Gráfico 2, muestra las diferencias entre los tratamientos aplicados para la germinación de *D. regia*. Visualmente se dedujo que  $T_1$  (EM10) y  $T_5$  (Control) no tienen una diferencia significativa entre ellos, es decir, que sus datos presentan una distribución similar y no hay diferencias entre sus promedios; igual caso se presentó para  $T_2$  (EM45) y  $T_3$  (US10). Así mismo, gráficamente,  $T_4$  (US45), es el tratamiento que mayor diferencia presentó con respecto a los demás; condición que permite suponer que  $T_4$  fue el tratamiento con mejores resultados, ya que indicó que todas las muestras trabajadas en este grupo de semillas germinaron en los primeros 40 días de iniciado el experimento. Por su parte,  $T_1$  y  $T_5$  presentaron tiempos de germinación entre 63 y 74 días, mientras que entre los días 53 y 59, las semillas de  $T_2$  y  $T_3$  lograron su germinación.



**Gráfica 2.** Diagrama de cajas para tiempo de germinación (días) de semillas de *D. regia* para cada tratamiento aplicado

Así, gráficamente, se rechazó  $H_0$ , diciendo que hay diferencias significativas entre varios de los tratamientos aplicados;  $T_1$  y  $T_5$  con  $T_2$  y  $T_3$ ,  $T_1$  y  $T_5$  con  $T_4$ , y  $T_2$  y  $T_3$  con  $T_4$ .

Con base en el resultado gráfico, y con la finalidad de evaluar matemáticamente su veracidad, se llevó a cabo un Análisis estadístico de Varianza de un solo factor. Tomando los datos de la Tabla 2, se corrieron en RStudio, a través de la herramienta “rapportools” y “anovatest”; arrojando los siguientes resultados (Tabla 4):

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tmto	4	5558	1389.6	117.2	<2e-16 ***
Residuals	50	593	11.9		

**Tabla 4.** ANOVA de un solo factor para datos de germinación de semillas de *D. regia*

A través de este ANOVA, se comprobó estadísticamente que al menos uno de los tratamientos estudiados presentó diferencias significativas en sus datos, planteando el siguiente enunciado:

*Se rechaza  $H_0$  si  $Pr > 0.05$ , situación que pasa si  $F > F_c$*

En la Tabla 4, el valor de Pr fue menor al nivel de significancia 0.05 (<2e-16); situación que permitió rechazar  $H_0$ . Igualmente, el valor crítico de F (2.55717915), extraído de Excel, fue un valor menor al valor calculado de F (117.18976); aceptando en su totalidad el enunciado planteado anteriormente.

El análisis ANOVA, por medio de los valores indicados en el párrafo previo, facilitó comprobar que existe una relación significativa entre las variables analizadas,

tiempo de germinación con respecto a la variación de tiempos de exposición a los medios de estimulación, y que al menos uno de los tratamientos es diferente.

Finalmente, se decidió desarrollar una prueba de Tukey, por medio de la cual se determina cuáles tratamientos presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos; por lo que se planteó:

$$H_0 \text{ se acepta si } p > 0.05$$

$$H_0 \text{ se rechaza si } p < 0.05$$

Seguidamente, en RStudio, usando el comando “rapportools”, se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias; obteniendo los siguientes resultados (Tabla 5).

```
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Germinación ~ Tmto)

$Tmto
diff      lwr      upr      p adj
EM10-Control -0.1000000 -4.457881  4.257881 0.9999958
EM45-Control -11.9000000 -16.072353 -7.727647 0.0000000
US10-Control -11.0666667 -15.239020 -6.894313 0.0000000
US45-Control -27.9454545 -32.203141 -23.687768 0.0000000
EM45-EM10    -11.8000000 -15.972353 -7.627647 0.0000000
US10-EM10    -10.9666667 -15.139020 -6.794313 0.0000000
US45-EM10    -27.8454545 -32.103141 -23.587768 0.0000000
US10-EM45     0.8333333  -3.144849  4.811516 0.9755535
US45-EM45    -16.0454545 -20.113046 -11.977863 0.0000000
US45-US10    -16.8787879 -20.946379 -12.811197 0.0000000
```

**Tabla 5.** Resultados de la prueba de Tukey en la germinación de semillas de *D. regia*

Con base en los resultados de la Tabla 5, se verificó que los tratamientos T<sub>1</sub> (EM10) y T<sub>5</sub> (Control) no fueron diferentes entre sí, ya que, su valor 0.9999958 es mayor a 0.05; caso que sucedió nuevamente para T<sub>2</sub> (EM45) y T<sub>3</sub> (US10), con un valor mayor a 0.05 de 0.9755535; mientras que las diferencias calculadas por RStudio para T<sub>2</sub> (EM45) y T<sub>5</sub> (Control), T<sub>3</sub> (US10) y T<sub>5</sub> (Control), T<sub>4</sub> (US45) y T<sub>5</sub> (Control), T<sub>2</sub> (EM45) y T<sub>1</sub> (EM10), T<sub>3</sub> (US10) y T<sub>1</sub> (EM10), T<sub>4</sub> (US45) y T<sub>1</sub> (EM10), T<sub>4</sub> (US45) y T<sub>2</sub> (EM45), y T<sub>4</sub> (US45) y T<sub>3</sub> (US10), obtuvieron valores muy por debajo del nivel de significancia 0.05; reafirmando el análisis realizado previamente en la Gráfica 2.

### Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, los tratamientos EM10 y el grupo Control no presentaron diferencias entre sí, lo que quiere decir que a la intensidad manejada (32900 Hz), en un tiempo de 10 min, no es viable al momento de evaluar la

reducción del tiempo de germinación de las semillas de *D. regia*; esto ya que se obtuvo un porcentaje de germinación igual al grupo control, 80%; además, el tiempo de germinación de ambos tratamientos se dio entre los días 63 y 74 de iniciado el experimento, siendo los últimos grupos en presentar germinación en sus semillas. Por su parte, los tratamientos EM45 y US10 contaron con un éxito de germinación del 100%, existiendo una diferencia significativa en el tiempo de germinación con respecto al grupo control, entre los días 54 y 59. Sin embargo, y en comparación con el tratamiento US45, los resultados de EM45 y US10 en términos de tiempo de germinación fueron menores, ya que las semillas de US45 tuvieron un éxito de germinación de 91% en un tiempo menos, 40 días; condición que indica que el mejor tratamiento de estimulación para reducir el tiempo de germinación de semillas de *D. regia* es el ultrasonido a una intensidad de 40000 Hz, con un tiempo de exposición para las muestras de 45 minutos.

Lo anterior correspondió a que la estimulación por ultrasonido se basa en la cavitación gaseosa, fenómeno que consiste en la generación de microburbujas con alto contenido energético, las cuales estallan una vez alcanzan tamaños críticos; aumentando la temperatura del medio, y provocando choques mecánicos entre las células y partículas del entorno, condición que al mismo tiempo produce cambios ya sea físicos, químicos o bioquímicos. El ultrasonido se considera una tecnología de gran potencial en la industria, como lo es la de procesamiento de alimentos, ya que el efecto que produce logra mejorar los tiempos y formas de mezclado, y la transferencia de energía y masa, para la reducción de tiempos de extracción y el incremento de la producción y elaboración de alimentos (Robles & Ochoa, 2012). Otras investigaciones se enfocan en los efectos del ultrasonido para mejorar la extracción de compuestos fenólicos y antioxidantes encontrados en las semillas de chía (*Salvia hispánica L.*) (Corona et al, 2016); así como la extracción y nanoencapsulación de polifenoles de limón persa (*Citrus latifolia*), encontrados en semillas y cascaras del fruto (Medina, 2017). Así mismo, se han evaluado los efectos del ultrasonido en la despolimerización de taninos procedente de semillas de uva *Vitis vinífera* (Muñoz, 2015), y también en los efectos sobre las propiedades funcionales del almidón procedente de especies con altos contenidos de almidón (Ríos, Ochoa & Morales, 2016). Sin embargo, no hay investigaciones enfocadas los efectos del ultrasonido sobre el proceso germinativo o sobre las semillas. Por eso, en la presente investigación se encontró que el ultrasonido tiene un efecto positivo sobre el tiempo de germinación de las semillas de acacia roja (*D. regia*), efecto que se generó debido a la micro-fracturación de la testa o cubierta exterior de las semillas durante un periodo de tiempo largo, 45 min con una intensidad de 40000 Hz; efecto que permite una mejor interacción de la semilla con la humedad y los nutrientes, y que promueve el proceso germinativo.

Por su parte, el mejor resultado en este estudio para la estimulación electromagnética fue para un tiempo de 45 min a una intensidad de 32900 Hz, lo cual promovió el movimiento de partículas internas de agua de las semillas de *D. regia*, ablandando la testa de las mismas y, posteriormente, la fijación de moléculas de agua. En otras investigaciones, como la realizada por Méndez (2013), se evaluó el efecto de los campos electromagnéticos en varios aspectos de las semillas y plantas de ají (*Capsicum frutescens L.*), revelando que el tipo de corriente (AC y DC) y la intensidad obtienen (30 mT y 60 mT) a un tiempo de exposición de 120 min, obtienen los mejores porcentajes de germinación. Otro estudio, indica que el uso de campos electromagnéticos depende mayormente de la intensidad, ya que las condiciones usadas de 2.0 mT y 60 Hz de intensidad durante 24-96 h no afectaron significativamente la tasa de germinación de semillas de tabaco (*Nicotina tabacum L.*) (Freeze, 2017). Igualmente, los campos magnéticos son usados para evaluar la germinación de semillas, como es el caso de Torres et al. (2008), donde se encontró que las intensidades trabajadas, 5 mT y 10 mT tuvieron resultados positivos en tiempos de exposición de 1 min y 48 h, y 10 min y 48 h, para semillas de arroz (*Oryza sativa L.*) y semillas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*), respectivamente. Al mismo tiempo, Hincapié, Torres & Bueno (2010), usaron campos magnéticos para evaluar el número de semillas germinadas de *Leucaena Leucocephala*, la longitud de la raíz de las semillas y el contenido de nitrógeno, demostrando mejores resultados con inducción magnética de 125 mT durante 60 min.

De esta misma manera, y dando respuesta a la pregunta problema planteada, ¿cómo influyen los estimulantes electromagnéticos y ultrasónicos, en el tiempo de germinación de semillas de *S. macrophylla* y *D. regia*?, se concluyó que sí existe un efecto de los medios estimulantes sobre el tiempo de germinación de las semillas estimuladas, ya que en ambos casos, para electromagnetismo y ultrasonido, se encontró una reducción del tiempo de germinación de semillas de *D. regia*. Para esta especie, se presentaron mejores resultados en el mayor tiempo de exposición, 45 min; determinando que ambos tratamientos, a las intensidades trabajadas, presentan mejores efectos en la germinación de semillas, reduciendo el tiempo de germinación, cuando hay mayores tiempos de exposición.

Con base en lo anterior, la investigación logró determinar la influencia del ultrasonido y el electromagnetismo en la germinación de semillas de *D. regia*, evaluando las diferencias y la viabilidad entre ambos medios de estimulación, y el efecto que el tiempo de exposición a los medios de estimulación tiene en el tiempo de germinación de las semillas de acacia roja. En el caso de la caoba, *S. macrophylla*, no se obtuvieron datos experimentales, ya que no lograron germinar las semillas de ninguno de los tratamientos evaluados; situación que pudo presentarse debido a diversos factores externos como el agua (humedad), el

intercambio gaseoso ( $O_2$ - $CO_2$ ), la temperatura y la luz. La más influyente es la temperatura, contando con un rango óptimo de 25 a 31 °C para obtener los porcentajes máximos de germinación, siendo la temperatura promedio de Manizales de 18 °C (Universidad La Gran Colombia), también puede afectar considerablemente la acción de enzimas que degradan sustancias de reserva; y que su efecto depende del desarrollo fisiológico de las semillas, ya que pueden existir embriones inmaduros que presenten dormancia debido a una inhibición en la actividad enzimática (Courtis, 2013).

Igualmente, cabe resaltar, que no se lograron resultados para la estimación del tamaño de las plántulas de *S. macrophylla* y *D. regia*, debido a que las semillas de caoba no lograron germinar en los 77 días de duración del experimento, y las semillas de acacia roja una vez germinaban, no lograban sobrepasar los primeros 5 días de germinación, debido a un requerimiento más exigente de condiciones ambientales de luz y humedad; por lo que no se lograron muestras del tamaño de plántula para la toma de datos.

Finalmente, desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS a), se cuenta con planes y programas para la conservación de especies y ecosistemas, instrumentos que promueven la conservación de la biodiversidad; contando con un diagnóstico, planificación, formulación, ejecución y seguimiento, igualmente con planes de acción, los cuales reflejan los retos de la educación y cultura ambiental y sostenible, y de las actividades de conservación *in situ* y *ex situ*. La conservación de especies y ecosistemas está integrada directamente a la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos – PNGIBSE, así como al marco normativo que regula las especies amenazadas e invasoras; en donde se indica que desde 2002 hasta 2019 se han generado regulaciones normativas para los listados y la conservación de especies amenazadas en Colombia, como lo es, por ejemplo, la Resolución 1912 de 2017, “*Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones*” (MADS, b). En suma, las especies arbóreas que tienen una clasificación de amenaza en el territorio nacional, requieren de medidas de conservación y protección, ya que muchas de ellas, incluyendo la caoba y la acacia roja, prestan servicios socio-ecológicos fundamentales para el funcionamiento de las sociedades y los ecosistemas. Por esta razón, y como se ha expresado y comprobado a lo largo de este documento, la aplicación de estrategias para la recuperación y reintroducción de especies a través de la estimulación de semillas por electromagnetismo y ultrasonido, es una práctica viable y que mejora el proceso germinativo; reduciendo el tiempo de estancia de las semillas en el vivero, así como su tiempo de germinación.

## Recomendaciones

Extender los estudios expuestos en este proyecto a la investigación de la estimulación de semillas a través de electromagnetismo y ultrasonido, variando las intensidades y tiempos de exposición, con el fin de ampliar el análisis y evaluación de los efectos que tienen estas variables y tratamientos sobre la germinación de semillas. También, estudiar y aplicar los medios de estimulación sobre elementos relacionados a la germinación, como lo es el sustrato y el agua de riego. Así mismo, trabajar en la estimulación de semillas de otras especies arbóreas tropicales que se encuentren incluidas y clasificadas en las listas de especies amenazadas, con el fin de establecer nuevas estrategias de conservación para estas especies, recuperar sus poblaciones y reintroducirlas a los ecosistemas naturales.

Adaptar y mejorar las condiciones ambientales del sitio de establecimiento de las semillas para su posterior estudio. Conjuntamente, indagar con mayor detenimiento y profundidad las exigencias ambientales de las especies trabajadas, ya que cada una de ellas requiere distintas condiciones de humedad, oxígeno, sombra, luz y temperatura, para catalizar y comenzar su proceso germinativo.

Invitar a la Universidad Católica de Manizales, desde su Programa de Ingeniería Ambiental, a la incorporación de espacios para el desarrollo de estudios e investigaciones enfocadas a la Ecología, considerando que esta disciplina posee un valor agregado fundamental para el aprendizaje y formación de los ingenieros ambientales, en concordancia con la integralidad e interdisciplinariedad del perfil de los mismos; buscando potenciar e incentivar la investigación a través de ejercicios prácticos y contextualizados en el área de estudio de la Ecología.

## Bibliografía

Acero L. M. 2018. Efectos de los tratamientos magnéticos y electromagnéticos sobre semillas y plántulas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. Tesis de grado. Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15448/EFFECTOS%20DE%20LOS%20TRATAMIENTOS%20MAGN%C9TICOS%20Y%20ELECTROMAGN%C9TICOS%20SOBRE%20SEMILLAS%20Y%20PL%C1NTULAS.pdf;jsessionid=62A1039D5A9DF15E72B59CB6A842CADC?sequence=1>

Arreola J. A., Pimintel L., Rodriguez D. A., Arteaga B., Guízar E. & Aguilera A. 2021. Delonix regia (Bojer) Raf. (Fabaceae). Semillas de Especies Forestales Rodríguez-Trejo D. A. (Coordinador).

Balmori, A. 2004. ¿Pueden afectar las microondas pulsadas emitidas por las antenas de telefonía a los árboles y otros vegetales? Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. vol. 13, (3) 79-87. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/26594949\\_Pueden\\_afectar\\_las\\_microondas\\_pulsadas\\_emitidas\\_por\\_las\\_antenas\\_de\\_telefonia\\_a\\_los\\_arboles\\_y\\_otros\\_vegetales](https://www.researchgate.net/publication/26594949_Pueden_afectar_las_microondas_pulsadas_emitidas_por_las_antenas_de_telefonia_a_los_arboles_y_otros_vegetales)

Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de: <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/resultados/especie/Delonix%20regia/>

Burbano S., Burbano M. & García C. 2003. Física General, 32ª Edición. Editorial Tébar. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=BWgSWTYofilC&pg=PA395&dq=ultrasonido+fisica&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwirzfbboO31AhWAnGoFHZyXC7gQ6AF6BAgGEAI#v=onepage&q=electromag&f=false>

Carbonell, M. V., Flórez, M. & Martínez, E. 2003. Estimulación de la germinación y el crecimiento por exposición a campos magnéticos. Universidad Politécnica de Madrid. Investigación y Ciencia, (324), 24-28, pp.24-25. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/285810755\\_Estimulacion\\_de\\_la\\_germinacion\\_y\\_el\\_crecimiento\\_por\\_exposicion\\_a\\_campos\\_magneticos](https://www.researchgate.net/publication/285810755_Estimulacion_de_la_germinacion_y_el_crecimiento_por_exposicion_a_campos_magneticos)

Cárdenas L., D. & N.R. Salinas (eds.). 2007. Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, pp.154, 204-205 Recuperado de: [https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/LR\\_MADERABLES.pdf](https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/LR_MADERABLES.pdf)

CONPES 2834 Política de Bosques. Minambiente DPN: UPA. Santafé de Bogotá, Enero de 1996. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Politicasy555\\_politica\\_de\\_bosques.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Politicasy555_politica_de_bosques.pdf)

Corona E., Martínez N., Ruíz H. & Carranza J. 2016. Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chíá (*Salvia hispánica* L.) y su actividad antioxidante. *AGROCIENCIA* 50: 403-412. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n4/1405-3195-agro-50-04-403.pdf>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 2019. Plan de Manejo y Conservación de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. Dirección de Recursos Naturales DRN. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/60d378f29c4ac.pdf>

Courtis A. C. 2013. Guías de Estudio: Germinación de Semillas – Cátedra de Fisiología Vegetal. Universidad Nacional del Nordeste – UNNE, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura FaCENA. Argentina. Recuperado de: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/GuiadeestudioGerminacion.pdf>

Decreto 877. Ministerio de Agricultura. Bogotá, Colombia. 10 de Mayo de 1976. Recuperado de: [https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto\\_0877\\_1976.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_0877_1976.htm)

Decreto 1076. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia. 26 de Mayo de 2015. Recuperado de: [http://www.fedebiocombustibles.com/files/Dec\\_1076\\_2015.pdf](http://www.fedebiocombustibles.com/files/Dec_1076_2015.pdf)

Decreto 1791. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. 04 de Octubre de 1996. Recuperado de: [http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/decreto1791\\_1996.pdf/](http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/decreto1791_1996.pdf/)

Decreto 2811 de 1974. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Bogotá Colombia. 18 de Diciembre de 1974. Recuperado de: <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-Ley-2811-de-1974.pdf>

Díaz, S. & Mérola, R. 2012. Métodos, técnicas y tratamientos para inhibir la dormancia en semillas de plantas forrajeras. Trabajo de post-grado. Universidad de la Empresa. Montevideo, pp.23. Recuperado de: <http://www.pasturasdeamerica.com/articulos-interes/notas-tecnicas/inhibir-dormancia-semillas-plantas-forrajeras/inhibir-dormancia-semillas-plantas-forrajeras.pdf>

Freeze E. E. 2017. Efecto de campos electromagnéticos de 60 Hz en la germinación, crecimiento y actividad enzimática antioxidante de Nicotina tabacum L. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Tesis de grado.

Gilman E. F., Watson D. G., Klein R. W., Koeser A. K., Hilbert D. R. & McLean D. C. 2019. Delonix regia: Royal Poinciana. Recuperado de: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/ST228>

González A. 2009. Descubrimiento de las ondas de Radio: la conformación de la Teoría Electromagnética. Investigación y Ciencia. Recuperado de: <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/10/posts/descubrimiento-de-las-ondas-de-radio-la-confirmacin-de-la-teora-electromagntica-10186>

Herrera, J., Alizaga, R., Guevara, E. & Jiménez, V. 2006. Germinación y Crecimiento de la Planta. Editorial Universidad de Costa Rica. vol.4, pp.18. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=oheEQYJFq0QC&printsec=frontcover&dq=germinacion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj6qNiXpPXoAhVKJt8KHccmDb8Q6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false>

Hielscher Tecnología de Ultrasonido. (s.f.). Imprimación y germinación ultrasónica. Recuperado de: <https://www.hielscher.com/es/ultrasonic-priming-and-sprouting.htm>

Hincapié, E. A., Torres, J. & Bueno, L. 2010. Efecto del Campo Magnético sobre la Germinación de la Leucaena leucocephala. Scientia et Technica Año XVI. (44), pp. 337-341. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/319147641\\_Estudio\\_del\\_efecto\\_de\\_la\\_estimulacion\\_magnetica\\_de\\_semillas\\_de\\_leucaena\\_Leucocephala\\_Lam\\_de\\_Wit](https://www.researchgate.net/publication/319147641_Estudio_del_efecto_de_la_estimulacion_magnetica_de_semillas_de_leucaena_Leucocephala_Lam_de_Wit)

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – Instituto Humboldt. (s.f.). Estrategia Nacional para la Conservación de Plantas. Recuperado de: <http://www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/305-estrategia-nacional-para-la-conservacion-de-plantas?highlight=YTo1OntpOjA7czo1OiJsaWJybyl7aToxO3M6NjoibGlicm9zljtpOjI7czo0OiJyb2pvljtpOjM7czo1OiJyb2pvcyl7aTo0O3M6MTA6ImxpYnJvIHJvam8iO30=>

Jiménez, C., Méndez, M., Daza, M. C. & Zuñiga, O. 2013. Germinación de semillas de ají (*Capsicum sinense*) estimuladas electromagnéticamente. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. vol. 7, (1) 46-54, pp. 26. Recuperado de: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\\_hortícolas/article/view/2034/2029](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/2034/2029)

Ley 299. Congreso de la República de Colombia. Bogotá, Colombia, 26 de Julio de 1996. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1996/ley\\_0299\\_1996.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1996/ley_0299_1996.pdf)

Ley 1021. Congreso de la República de Colombia. Bogotá, Colombia, 20 de Agosto de 2006. Recuperado de: <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2007/5202.pdf>

Medina N. C. 2017. Efecto del ultrasonido en la extracción y nanoencapsulación de polifenoles de limón persa (*Citrus latifolia*). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Tesis de Maestría. Recuperado de: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/447/1/Nelly%20Carolina%20Medina.pdf>

Méndez M. 2013. Aplicación de campos electromagnéticos en semillas de Ají [*Capsicum frutescens*]. Universidad del Valle. Tesis de grado.  
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a. (s.f.). Planes y Programas de Conservación. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/planes-y-programas-de-conservacion-2/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible b. (s.f.). Normatividad de Especies Amenazadas e Invasoras. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/normatividad-de-especies-amenazadas-e-invasoras-2/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2012. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos. Instituto Humboldt, pp.3-85. Recuperado de:

<http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/documentos/pngibse-espaol-web.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2018. Informe de seguimiento Políticas públicas ambientales. Oficina Asesora de Planeación, pp.12. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/planeacion-y-seguimiento/pdf/Informes de Gesti%C3%B3n/Informes de Seguimiento Pol%C3%ADticas Prioritarias Ambientales/Informe integral de seguimiento Politicas 2017.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/planeacion-y-seguimiento/pdf/Informes%20de%20Gesti%C3%B3n/Informes%20de%20Seguimiento%20Pol%C3%ADticas%20Prioritarias%20Ambientales/Informe%20integral%20de%20seguimiento%20Pol%C3%ADticas%202017.pdf)

Mirshekari, B. 2015. Efectos de los tratamientos físicos en semillas de trigo sobre el establecimiento y producción del cultivo. IDESIA (Chile). vol. 33, (3) 39-54, pp. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v33n3/art08.pdf>

Missouri Botanical Garden. (s.f.). Delonix regia. Recuperado de: <https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?taxonid=280567>

Muñoz A. M. 2015. Efecto de los ultrasonidos de potencia en la despolimerización de taninos procedentes de semillas de uva Vitis vinífera. Universidad Autónoma de Madrid. Tesis de grado.

Naturalista. (s.f.). Flamboyán de Madagascar género Delonix). Recuperado de: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/62852-Delonix>

Resolución 1912. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia, 15 de Septiembre de 2017. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-1912-de-2017.pdf>

Ríos E. A., Ochoa L. A. & Morales J. 2016. Efecto del tratamiento con ultrasonido sobre las propiedades funcionales y estructurales de almidón procedente de diversas fuentes: Una revisión. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, Biotecnia. XVIII (2): 16-23.

Rivers, M. 2014. Delonix regia. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T32947A2828337. Recuperado de: <https://www.iucnredlist.org/species/32947/2828337>

Robles, L. E. & Ochoa, L. A. 2012. Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha.

vol. 13, (2) 109-122, pp.110. Recuperado de:  
<https://www.redalyc.org/pdf/813/81325441002.pdf>

Serrano, R. 2003. Introducción al análisis de datos experimentales: tratamientos de datos en bioensayos. Publicaciones de la Universitat Jaume I, pp.74. Recuperado de:

<https://books.google.com.co/books?id=NLUVJTK7EIoC&pg=PA79&dq=anova+de+una+via+y+dos+vias&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiQnOGnIYTpAhUMh-AKHcNXCcoQ6AEIMjAB#v=onepage&q&f=false>

Succulent Avenue. (s.f.). Flamboyán – Cultivom ciudades y propagación. Recuperado de: <https://succulentavenue.com/flamboyan-delonix-regia-cultivo-cuidados/>

Torres C., Díaz J. E. & Cabal P. A. 2008. Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Agronomía Colombiana, vol. 26, núm. 2, pp. 177-185.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – IUCN. (s.f.). Red List of Threatened Species. Recuperado de: <https://www.iucnredlist.org/>

Universidad del Norte – Uninorte. (s.f.). Acacia roja (*Deonix regia*). Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/web/ecocampus/acacia-roja>

Universidad de Barcelona. (s.f.). Análisis de la varianza con un solo factor (ANOVA). Recuperado de: [http://www.ub.edu/aplica\\_infor/spss/cap4-7.htm](http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm)

Universidad EIA a. (s.f.). Caoba, palo santo (*Swietenia macrophylla*). Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá. Recuperado de: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/144>

Universidad EIA b. (s.f.). Acacia roja, Flamboyán (*Delonix regia*). Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá. Recuperado de: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/144>

Universidad Francisco Marroquín – UFM. (s.f.). *Delonix regia*. Recuperado de: <https://arboretum.ufm.edu/plantas/delonix-regia/>

Universidad La Gran Colombia. (s.f.). Manizales. Centro Grancolombiano del Paisaje Cultural Cafetero. Recuperado de: <https://www.cgpc.edu.co/assets/manizales.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM. (s.f.). Prueba de Tukey. Estadística en Biología (PAPIME 215519). Recuperado de: <https://blogceta.zaragoza.unam.mx/estabio/prueba-de-tukey/>

World Conservation Monitoring Centre. 1998. *Swietenia macrophylla*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32293A9688025. Recuperado de: <https://www.iucnredlist.org/species/32293/9688025>

## Anexos



**Anexo 1.** Semillas de *Swietenia macrophylla* y *Delonix regia*



**Anexo 2.** Montaje y estimulación electromagnética en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Católica de Manizales



**Anexo 3.** Montaje y estimulación ultrasónica a través de un sonicador digital con calentador en la Universidad Católica de Manizales



**Anexo 4.** Siembra de semillas estimuladas y grupo control para *S. macrophylla* y *D. regia*



**Anexo 5.** Vivero estacionario ubicado en la Universidad Católica de Manizales



**Anexo 6.** Embriones germinados de semillas de *D. regia*



**Anexo 7.** Semillas estimuladas y con embrión germinado de *D. regia*



**Anexo 8.** Semilla en estado de pudrición de *D. regia*



**Anexo 9.** Embriones en estado de pudrición de *D. regia* 5 días posteriores a la germinación