


	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1

Neiva, 10 noviembre de 2016

Señores
CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

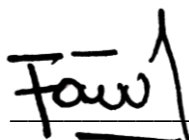
Ciudad





El (Los) suscrito(s): Faiber Soto Vargas, con C.C. No. 17685188, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o tesis de grado titulado influencia de los campos electromagnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza Sativa L.*) presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de ingeniero agrícola; autorizo al centro de información y documentación de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Influencia de los campos electromagnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.)

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Soto Vargas	Faiber

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Castro Camacho Henao Cuellar	Jennifer Katusca José Duban

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Nelson Neisar	Gutiérrez Guzmán Salazar Ramírez

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería





PROGRAMA O POSGRADO:

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2016 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 69

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general X
 Grabados ___ Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___
 Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: PDF

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

español	inglés	español	inglés
1. Semillas de arroz	rice seeds	6. Bobina Helmholtz	Helmholtz coil
2. Bioestimulación	Bio stimulation		
3. Germinación	Germination		
4. Electromagnetismo	Electromagnetism		
5. Magnetobiología	Magnetobiology		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En esta investigación se evaluó el efecto de los campos electromagnéticos de baja frecuencia(ELF) 60Hz, generados por una bobina en configuración Helmholtz, sobre la etapa de germinación de la semilla de arroz (*Oryza Sativa L*) variedad COPROCEN 304, producida y comercializada por la empresa Semillas del Huila S.A. Se compararon mediante métodos de la estadística descriptiva aplicada a 5 tratamientos el factor tiempo de exposición, CTR15, CTR30, CTR45, CTR60 y CTR0 (15, 30, 45, 60 y 0 min) con una intensidad de 3,6 mT, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones para un solo factor, empleando las pruebas de Fisher de diferencias mínimas significativas (LSD) y el método de Dunnet para las comparaciones múltiples entre las medias de cada tratamiento y el control. Hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para un valor-P $\leq 0,05$ en el porcentaje de germinación de 17 a 20% a las 48 y 72 horas después de haber iniciado el proceso de germinación en una cámara de germinación a 23 °C, se detectó bioestimulación inhibitora de las semillas en todos los tratamientos, excepto para el CTR30 (30 min – 3,6 mT).

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This research was focused to evaluated the effect of electromagnetic field of low intensity (60Hz), generated of Helmholtz coil configuration over the germination stage of rice seed (*Oryza Sativa L*) variety COPROCEN 304, It was provided for Semillas del Huila S.A. company. In this study was applied 5 treatment of time exposition of electromagnetic field with 3,6 mT of intensity; CTR15, CTR30, CTR45, CTR60 y CTR0; (15, 30, 45, 60 and time



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

cero) respectively. In an experimental design of randomized complete blocks with five repetitions. The effect was compared through descriptive statistics. The results show the exist statistic significant differences into the treatments (P value $\leq 0,05$) in the germinations percent (17 – 20 %) at time of 48 and 72 h after initiating the germination process. Was observed Inhibitory bio stimulation of seeds was detected in all treatments, except for CTR30 and the control.

APROBACION DE LA TESIS

Jennifer Katiusca Castro C

Firma del Director

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO

Msc en Ingeniería y Gestión Ambiental

Firma del Codirector

JOSÉ DUBAN HENAO CUELLAR

Dr. En Ingeniería Agrícola

Firma del Jurado

NELSON GUTIÉRREZ GUZMÁN

Dr. Tecnología de alimentos

Firma del Jurado

NEISAR SALAZAR RAMIREZ

Ingeniero Electrónico

**INFLUENCIA DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LA GERMINACION DE
SEMILLAS DE ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.)**

FAIBER SOTO VARGAS



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2016**

**INFLUENCIA DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LA GERMINACIÓN DE
SEMILLAS DE ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.)**

FAIBER SOTO VARGAS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Agrícola

Director:

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO

Msc en Ingeniería y Gestión Ambiental

Codirector

JOSE DUBAN HENAO CUELLAR

Dr. En Ingeniería Agrícola

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA

NEIVA

2016

Nota de aceptación

Firma del Director

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO

Msc en Ingeniería y Gestión Ambiental

Firma del Codirector

JOSE DUBAN HENAO CUELLAR

Dr. En Ingeniería Agrícola

Firma del Jurado

NELSON GUTIÉRREZ GUZMÁN

Dr. Tecnología de alimentos

Firma del Jurado

NEISAR SALAZAR RAMIREZ

Ingeniero Electrónico

Neiva, Octubre 2016

DEDICATORIA

A Dios especialmente, por permitirme encontrar en el camino de la vida, las manos amigas que nunca me faltaron para seguir y concluir con esta meta.

A mi madre **Luz Estella Vargas** por darme la vida y su amor.

A mi hermana y amiga en espíritu **Yanet Lozano** por su incondicionalidad y apoyo moral.

A mi esposa **Derly García** y a mi hijo **Allan Samuel Soto**, quien en esta existencia forman mi familia unidos por los lazos del espíritu.

AGRADECIMIENTOS

Yo, Faiber Soto Vargas, agradezco a la Universidad Surcolombiana por los conocimientos brindados que me permitieron adquirir experiencia en investigación y optar al título de ingeniero agrícola. En general, agradezco a cada una de las personas que hicieron parte de este proyecto, y a las que colaboraron de alguna forma para su realización:

Al **Dr. José Duban Henao** como Director de Tesis.

Al **Dr. Cristóbal Aguilar** de Saltillo (México), por su apoyo intelectual e incondicionalidad como amigo en la constitución de este trabajo.

Al **Dr. José Luis** de Saltillo (México), por su apoyo intelectual e incondicionalidad como amigo en la constitución de este trabajo.

A la empresa **Semillas del Huila S.A** quien permitió la realización de los ensayos de germinación.

A todas las personas que pusieron su granito de arena en la ejecución del proyecto, muchas gracias y Dios los bendiga.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 RESUMEN.....	1
2 INTRODUCCION.....	3
3 OBJETIVOS	5
3.1 Objetivo general.....	5
3.2 Objetivos específicos	5
4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
4.1 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	6
4.1.1 FORMULACIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMA	6
5 JUSTIFICACIÓN	7
6 MARCO TEÓRICO	8
6.1 Taxonomía del Arroz Genero (<i>Oryza Sativa L</i>)	8
6.2 Factores Ambientales del Arroz (<i>Oryza Sativa L</i>)	9
6.2.1 Suelo.....	9
6.2.2 Temperatura	9
6.2.3 Radiación Solar.....	10
6.2.4 Requerimientos de agua	10
6.2.5 Germinación	10
6.3 Campos Electromagnéticos e Inducción electromagnética.....	11
6.4 Fuentes de campos magnéticos	11
6.5 Campo magnético de una espira	12
6.6 Campo Magnético entre Bobinas en configuración Helmholtz	15
6.7 Magnetobiología	17
7 ESTADO DEL ARTE	18
7.1 Efectos de Campos Magnéticos Estáticos en Sistemas Vivos	18

7.1.1	Efecto del Tratamiento Magnético de semillas de tomate (<i>Lycopersicon Esculentum Mill</i>) sobre la Germinación y el crecimiento de las Plántulas	20
7.1.2	Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (<i>Oryza sativa L.</i>) y tomate (<i>Solanum lycopersicum L.</i>)	20
7.1.3	Efectos de campos magnéticos en material orgánico	22
7.1.4	Germinación y crecimiento inicial de semillas de triticale en tratamiento magnético estacionario.	22
7.1.5	Estimulación de la germinación en arroz (<i>Oryza sativa L.</i>) por campos magnéticos estáticos.	24
7.1.6	Influencia de campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT en la germinación de semillas de girasol.	25
7.2	Efectos de Campos Eléctricos y Magnéticos en Sistemas Vivos	26
7.2.1	Aceleración de la germinación de las semillas de tomate mediante la aplicación de campos eléctricos y magnéticos de corriente alterna (AC).	26
7.2.2	Efecto de diferentes campos electromagnéticos estáticos en la velocidad de germinación del Frijol Mungo (<i>Vigna Radiata Var. Radiata</i>)	26
7.2.3	Efecto pre-siembra del tratamiento electromagnético sobre la germinación y crecimiento de las semillas de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	27
7.3	Teorías sobre las modificaciones de sistemas biológicos generados por los campos Electromagnéticos en sistemas vivos.	28
8	MATERIALES Y METODOS	30
8.1.1	Localización y ubicación del ensayo experimental	30
8.1.2	Diseño experimental	31
8.1.3	Variables de respuesta	32
8.1.4	Montaje del Experimento.....	33
8.1.4.1	Construcción de bobinas Helmholtz.....	33

8.1.5	Aplicación del campo electromagnético sobre las semillas de arroz (Oriza Sativa).	34
8.1.6	Selección y clasificación de las semillas.	34
8.1.7	Electromagnetización de las semillas	36
8.1.8	Fuente de alimentación (AC) de las bobinas.	37
8.1.9	Ubicación de las semillas en la cámara de germinación	39
8.1.10	Análisis estadístico	40
9	ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA	40
10	RESULTADOS Y DISCUSION	41
10.1	Efecto de la aplicación del campo electromagnético en las semillas de arroz (Oryza Sativa) Variedad Coprocen 304.	41
10.1.1	Porcentaje de germinación y tiempo de emergencia.	41
11	CONCLUSIONES.	53
12	RECOMENDACIONES	54
13	BIBLIOGRAFIA.	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 - Taxonomía del arroz.	8
Tabla 2 - Respuesta del arroz a la variación de temperatura en diferentes estados de desarrollo, Fuente: Andrade. 2007. (-1) Se refiere a la temperatura media diaria, excepto para la germinación.	9
Tabla 3 - Codificación de los tratamientos magnéticos y tiempo de exposición - Flórez (2014)	23
Tabla 4 - Diseño experimental	31
Tabla 5 - Variables de respuesta consideradas en el experimento, métodos y frecuencia de medición.....	32
Tabla 6 - Dimensiones y carga máxima del alambre de cobre esmaltado 10WAG33	
Tabla 7 - Análisis de Varianza (ANOVA) para variable de respuesta porcentaje (%) de Germinación.....	49
Tabla 8 - Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para la variable porcentaje (%) de Germinación con intervalos de confianza del 95,0%	49
Tabla 9 - Prueba de Múltiple Rangos para la variable porcentaje (%) de Germinación por Tiempo de Exposición (min) - Método: LSD - 95,0 %	50
Tabla 10 - Diferencias estimadas entre cada par de medias de todos los tratamientos	50

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica No 1 - Exposición de las semillas al campo electromagnético durante 15 minutos (CTR15)	41
Grafica No 2 - Exposición de las semillas al campo electromagnético durante 30 minutos (CTR30)	42
Grafica No 3 - Exposición de las semillas al campo electromagnético durante 45 minutos (CTR45)	42
Grafica No 4 - Exposición de las semillas al campo electromagnético durante 60 minutos (CTR60)	43
Grafica No 5 - Tratamiento control o testigo.....	43
Grafica No 6 - Gráfica comparativa de las medias del número de semillas germinadas de los cinco bloques para cada tratamiento en los tres tiempos de evaluación, 48, 72 y 96 horas.	44
Gráfica No 7 - Número de semillas germinadas (%) durante el estudio.	46
Grafica No 8 - Comparativa del porcentaje de germinacion a las 72 y 96 horas. .	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No 1 - Campo magnético de un alambre recto que conduce corriente. (Tomada de Física Universitaria Sears - Zemansky, 2009 ,12 Ed. Vol. II)	12
Figura No 2 - Vista perfil de una espira Circular de radio R. (Tomada de Fundamentos de Física Vol. 3: Electromagnetismo / Halliday, Resnick – 2009 ,8 Ed. Vol. II)	13
Figura No 3 - Vista 2D Geometría Helmholtz – Fuente (CASAÑA, 2012)	15
Figura No 4 - Ubicación de la empresa Semillas del Huila S.A	30
Figura No 5 - Construcción Bobina Helmholtz como fuente del campo electromagnético.	34
Figura No 6 - Selección de Semillas variedad Coprosem 304	35
Figura No 7 - Auxiliar de laboratorio empresa Semillas del Huila S.A en la selección, conteo y descarte de semillas anómalas en el laboratorio de germinación.	35
Figura No 8 - Bobina Helmholtz para la aplicación del campo electromagnético en semillas de arroz variedad Coprosem 304.....	36
Figura No 9 - Tipo de transformador empleado en la fuente de alimentación (AC)	37
Figura No 10 - Instrumento para la medición de amperios (Amperímetro) en escala de 0 - 20 A.	38
Figura No 11 - Montaje final de la fuente de alimentación para la bobina Helmholtz.	38
Figura No 12 - Cámara de Germinación empresa Semillas del Huila S.A	39
Figura No 13 - Bandeja de Germinación y ubicación de las semillas por bloques .	39

Figura No 14 - Media para cada tratamiento mediante mínimas diferencias (LSD) significativas de Fisher48

Figura No 15 - Anova gráfico para la variable % de Germinación.51

1 RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto de los campos electromagnéticos de baja frecuencia 60Hz, generados por una bobina en configuración Helmholtz, sobre la etapa de germinación de la semilla de arroz (*Oryza Sativa L*) variedad COPROGEN 304 de la empresa Semillas del Huila S.A. Se compararon mediante métodos de la estadística descriptiva aplicada a 5 tratamientos el factor tiempo de exposición, CTR15, CTR30, CTR45, CTR60 y CTR0 (15, 30, 45, 60 y 0 min) con una intensidad de 3,6 mT, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para un valor- $P \leq 0,05$ en el porcentaje de germinación de 17 a 20% a las 48 y 72 horas después de haber iniciado el proceso de germinación en una cámara de germinación a 23 °C, se detectó bioestimulación inhibitoria de las semillas en todos los tratamientos, excepto para el CTR30 (30 min – 3,6 mT).

Palabras clave: Semillas de arroz, bioestimulación, Germinación, electromagnetismo, Magnetobiología, Bobina Helmholtz.

ABSTRACT

This research was focused to evaluate the effect of electromagnetic field of low intensity (60Hz), generated of Helmholtz coil configuration over the germination stage of rice seed (*Oryza Sativa L*) variety COPROCEN 304, It was provided for Semillas del Huila S.A. company. In this study was applied 5 treatment of time exposition of electromagnetic field with 3,6 mT of intensity; CTR15, CTR30, CTR45, CTR60 y CTR0; (15, 30, 45, 60 and time cero) respectively. In an experimental design of randomized complete blocks with five repetitions. The effect was compared through descriptive statistics. The results show the exist statistic significant differences into the treatments ($Pvalue \leq 0,05$) in the germinations percent (17 – 20 %) at time of 48 and 72 h after initiating the germination process. Was observed inhibitory biostimulation of seeds was detected in all treatments, except for CTR30 and the control.

Keywords: rice seeds, biostimulation, germination, electromagnetism, Magnetobiology, Helmholtz coil.

2 INTRODUCCION

Estudios relacionados con los efectos biológicos de los campos electromagnéticos son una nueva y dinámica área de la investigación científica, con la participación tanto de la biología como de la física. Inicialmente se presumía que las interacciones de los campos Electromagnéticos (CEM) aumentaban la temperatura de las células a través del efecto de calentamiento y en consecuencia afectaba a los organismos vivos, pero ahora se sabe que las interacciones son diferentes.

En este momento se postula que los campos electromagnéticos alteran las señales internas dentro de una célula para causar algún efecto, esto es evidente si se considera que la germinación de semillas está vinculada a los campos magnéticos y eléctricos propios de la tierra.

Igualmente, la germinación de semillas y el crecimiento de las plantas son factores afectados que necesitan una estrecha observación y vigilancia. A pesar de que las interacciones no se entienden completamente, los campos electromagnéticos se han conocido como estimuladores biológicos para el crecimiento de muchos tipos de plantas y semillas, Gyawali (2008).

Agregando a lo anterior las fuentes de campos electromagnéticos puede ser tanto naturales como provocados por el hombre. Los ejemplos de las aplicaciones de los campos electromagnéticos, incluyen tecnología como los teléfonos móviles, la televisión, la radio, hornos de microondas, líneas de transmisión eléctrica, etc.

Avanzando un poco más, los campos eléctricos y magnéticos que llevan la energía electromagnética pueden ser de diferentes formas. Pueden ser en forma de estado estacionario o estático, como los polos Norte y Sur de un imán, o pueden oscilar en cualquier frecuencia dada. Las frecuencias tienen una amplia gama o espectro electromagnético iniciando con las frecuencias de los rayos gamma, frecuencias extremadamente bajas (ELF), tales como las que porta las líneas de alta tensión que oscilan a 50 o 60 Hz, las frecuencias de radio y las microondas etc.

A esto se añade que la influencia del campo geomagnético en el crecimiento de las plantas se estableció científicamente por primera vez en 1862 por el químico francés Louis Pasteur (1822-1895), durante sus experimentos sobre la fermentación, cuando descubrió que el campo magnético de la Tierra tenía un efecto estimulante en ese proceso.

Por lo anterior la experimentación con campos magnéticos de frecuencia débiles y extremadamente bajos ha existido por casi 50 años, esta influencia está determinada por variables como la intensidad del campo, el tiempo de exposición, la forma de la señal de la frecuencia, y la densidad de flujo magnético.

Así mismo algunas especies de plantas se ven afectadas por la exposición de campo electromagnético de cierta intensidad mientras que otras no lo son. Del mismo modo, la presencia de un fuerte campo eléctrico afecta al comportamiento fisiológico y químico de las células de las plantas, Gyawali (2008).

Para realizar éste trabajo de investigación, se comenzó con una revisión de literatura, en la cual se evidencian los esfuerzos de muchos investigadores por comprobar si existe o no una influencia de los campos electromagnéticos en los objetos orgánicos. También, se observa la aplicación de diferentes métodos para tal propósito, estos métodos van desde la utilización de campos eléctricos, campos magnéticos estáticos o la conjugación de los dos (campos electromagnéticos), si bien algunos investigadores han obtenido buenos resultados positivos, no se conoce a ciencia cierta la bondad de estos procesos requiriendo aún más comprobación e investigación.

Como prólogo a lo anterior, se presentan los objetivos y la justificación del trabajo, incluyendo dentro del marco de referencia, los conceptos teóricos básicos, con el fin de orientar en algunas bases conceptuales que permitan entender el desarrollo y perspectiva del trabajo. Posteriormente, se describe la metodología empleada, así como el análisis de resultados.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Examinar el efecto de los campos electromagnéticos para diferentes periodos de tiempo de exposición a una sola intensidad de campo magnético, sobre la etapa de germinación de las semillas de arroz (*Oryza sativa* L.).

3.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la magnetización sobre el desarrollo de la germinación de las semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) considerando como variables el porcentaje de germinación para diferentes tiempos de exposición.
- Utilizar una Bobina en configuración Helmholtz para la generación de los campos electromagnéticos y aplicación en semillas de arroz (*Oryza Sativa* L.).

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

Este trabajo investigativo se planteó a partir de que Pacheco *et al* (2010), afirman que los campos magnéticos intensos cambian las características de la membrana celular, el metabolismo celular, la reproducción celular y varias otras funciones, como la cantidad de ARNm, la expresión génica, la biosíntesis de proteínas y las actividades enzimáticas, y que los campos electromagnéticos de bajos niveles de intensidad aplicados a semillas, plántulas, y agua de riego afectan el crecimiento de la plántula y las características de sus órganos y tejidos, así en busca de una mejora tecnológica aplicada al cultivo de arroz, que ayude a mejorar la germinación de esta semilla y por ende que este factor se vea reflejado en la producción de grano (Ton/ha) en el departamento del Huila, favoreciendo la economía del campesinado en el sector arrocero, se examinó el efecto de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente bajas (60 Hz) sobre la etapa de germinación de las semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) en su porcentaje de germinación.

4.1.1 FORMULACIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMA

¿La exposición de semillas de arroz (*Oryza sativa* L), a la influencia de los campos electromagnéticos de baja frecuencia (60 Hz), tienen alguna modificación tanto positiva como negativa en una etapa tan importante de su desarrollo como la germinación?

5 JUSTIFICACIÓN

En la vida práctica demostrar cómo se desarrolla la planta de arroz es esencial para los científicos que trabajan en la investigación y producción de este cultivo, igualmente las variaciones en la investigación son mejor comprendidas y los resultados mejor interpretados cuando se relacionan con el ciclo completo de crecimiento o con una etapa específica, Fernández (1980).

La producción arrocerera en Colombia tiene un área estimada de 450.000 hectáreas, beneficiando a 215 municipios arroceros, con una participación del producto interno bruto (PIB) del 4% de la producción agropecuaria. El rendimiento promedio del país es de 5.7 Ton/ha de paddy verde; en la zona centro los rendimientos son 7.1, Llanos Orientales 5.5, Caribe Seco 5.8 y Caribe húmedo 4.2.

Con relación al rendimiento potencial de las variedades existentes en campos experimentales y los resultados encontrados en las fincas se ha observado grandes diferencias, igualmente ocurre entre los productores, en donde se pueden presentar diferencias de dos toneladas en la misma zona. La Federación Nacional de Arroceros FEDEARROZ, ubicó al Departamento del Huila, dentro de la zona centro determinada para la producción de arroz conjuntamente con el departamento del Tolima y el Valle del Cauca, siendo el Tolima el departamento de mayor relevancia en la producción. Esta zona es la segunda en área sembrada anualmente, el primer puesto lo ocupan los Llanos Orientales, Fedearroz (2012).

En ese orden de ideas el cultivo de arroz es un factor de relevancia económica en nuestro departamento del Huila, como a nivel nacional que presenta muchos inconvenientes tanto políticos como tecnológicos para su mayor producción.

Por eso mismo es importante comprobar la influencia de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja con ciclos de oscilación de 60 Hz, en la etapa de germinación del Arroz (*Oryza sativa*), para determinar el porcentaje de germinación y el tiempo de germinación, como una posible alternativa tecnológica que pueda ayudar a los productores de arroz de nuestro departamento del Huila favoreciéndoles así factores de gran importancia en la vida de un campesino como la economía decurrente de la producción agraria y en ese caso debido a la producción de arroz.

6 MARCO TEÓRICO

En este apartado, se presentarán los conceptos teóricos que referencian el desarrollo del trabajo, se tratarán elementos constitutivos e interrelacionados, para dar una conectividad lógica al desarrollo de este trabajo investigativo.

6.1 Taxonomía del Arroz Genero (*Oryza Sativa L*)

Taxonómicamente hablando el arroz es considerado como una planta Fanerógama, del tipo espermatófito, y subtipo angiosperma (Tabla 1), Andrade *et al* (2007).

Tabla 1 - Taxonomía del arroz.

Clase:	Monocotiledónea
Orden:	Glumiflorales
Familia:	Gramineae
Subfamilia:	Panicoideas
Tribu:	Oryzeae
Subtribu:	Oryzineas
Género:	Oryza

Fuente: Andrade 2007.

6.2 Factores Ambientales del Arroz (*Oryza Sativa* L)

6.2.1 Suelo

El arroz se adapta a diversas condiciones de suelo; sin embargo, las condiciones ideales para una buena cosecha, requieren un pH 6.0 – 7.0, un contenido de materia orgánica mayor del 5%, una buena capacidad de intercambio catiónico (CIC), buen contenido de arcilla (mayor del 40%), una topografía plana, capa arable profunda (mayor de 25 cm) y un buen drenaje superficial, Andrade *et al* (2007).

6.2.2 Temperatura

Las temperaturas críticas para la planta de arroz, están generalmente por debajo de los 20°C y superiores a los 30°C, y varían de acuerdo con el estado de desarrollo de la planta. En la Tabla 2, se muestra la variación de la temperatura en las distintas fases de desarrollo, Andrade *et al* (2007).

Tabla 2 - Respuesta del arroz a la variación de temperatura en diferentes estados de desarrollo, Fuente: Andrade. 2007. (-1) Se refiere a la temperatura media diaria, excepto para la germinación.

Etapas de desarrollo	Temperatura crítica °C		(-1)
	Baja	Alta	Óptima
Germinación	10	45	20 -35
Emergencia y establecimiento de plántulas	12 – 13	35	25 -30
Enraizamiento	16	35	25 -28
Elongación de hojas	7 – 12	45	31
Macollamiento	9 -16	33	25 -31
Iniciación de panículas	15		
Diferenciación de panículas	15 – 20	38	
Antesis (floración)	22	35	30 - 33
Maduración	12 -18	30	20 -25

6.2.3 Radiación Solar

Este factor varía con los diferentes estados de desarrollo de la planta. Una baja radiación solar durante la fase vegetativa, afecta ligeramente los rendimientos y sus componentes; mientras que en la fase reproductiva existe una marcada disminución en el número de granos. Una radiación de 300 cal/cm² por día durante el estado reproductivo hace posibles rendimientos de 5 t/ha. El punto de vista en el cual coinciden la mayoría de los investigadores, es que una temperatura alta y abundante radiación solar son necesarias para el arroz. Andrade *et al* 2007.

6.2.4 Requerimientos de agua

El agua es indispensable para la vida de la planta de arroz. El riego por inundación es favorable para un mejor crecimiento, desarrollo y rendimiento de grano; es importante señalar, que el sistema de irrigación contribuye al control de malezas. Un promedio de requerimiento de agua varía entre 800 a 1240 mm durante todo el ciclo de la planta. Andrade *et al* 2007.

6.2.5 Germinación

Según Torres *et al* (2008), un evento esencial dentro de la biología de las semillas es la germinación, proceso en el que ocurren cambios fisiológicos en su interior cuando se rompen las barreras que permiten la difusión del agua y los gases respiratorios. En la mayoría de las semillas, la germinación termina con la emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales.

Torres *et al* (2008), afirman que en la germinación de una semilla se requieren ciertas condiciones favorables de humedad, temperatura, luz y oxígeno, y que cuando una semilla viva no germina en condiciones favorables se considera que está en estado latente.

La germinación de las semillas de arroz hace parte de la Fase I y está dentro de la etapa de crecimiento cero (0), esta etapa se caracteriza por que comienza desde el momento de la siembra hasta la aparición de la primera hoja a través del coleóptilo, y su tiempo de duración va de 5 a 10 días. Andrade *et al* 2007.

6.3 Campos Electromagnéticos e Inducción electromagnética

El electromagnetismo es el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos causados por cargas eléctricas en reposo o en movimiento. Un campo es la distribución espacial de una cantidad, la cual puede o no ser función del tiempo. Un campo eléctrico variable con el tiempo está acompañado por un campo magnético, y viceversa. En otras palabras, los campos eléctricos y magnéticos variables con el tiempo están acoplados, produciendo un campo electromagnético. En determinadas condiciones, los campos electromagnéticos variables con el tiempo producen ondas que radian de la fuente, Cheng (1998).

6.4 Fuentes de campos magnéticos

Un campo magnético (B) es un campo de fuerza magnética que se extiende hacia afuera a partir de un imán permanente. Las corrientes eléctricas en movimiento producen campos magnéticos. Por ejemplo, cuando una corriente eléctrica fluye a través de un cable, el movimiento de los electrones a través del cable produce un campo magnético en el espacio que rodea al cable (Figura No 1), Sears (2009).

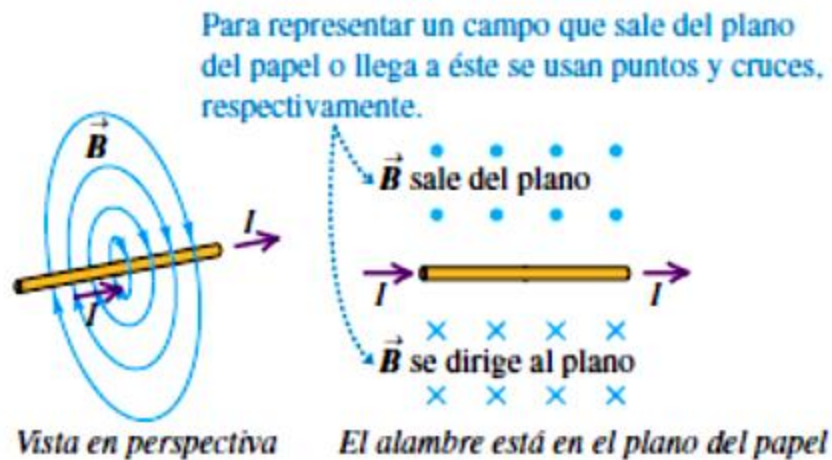


Figura No 1 - Campo magnético de un alambre recto que conduce corriente. (Tomada de Física Universitaria Sears - Zemansky, 2009 ,12 Ed. Vol. II)

6.5 Campo magnético de una espira

El campo magnético generado por una corriente i , en una espira de geometría circular en un punto cualquiera (R^3), se torna difícil de calcular, pero si consideramos solamente puntos sobre su eje de simetría el cálculo es más simple.

En la figura No 2 se tiene una vista de perfil de una espira de radio R recorrida por una corriente i , si consideramos un punto P sobre el eje central, situado a una distancia Z del plano de la espira, y de acuerdo con la Ley de Biot – Savart y la regla de la mano derecha, el elemento de campo $d\vec{B}$ producido en el punto P debido a la corriente en el elemento de longitud $d\vec{s}$ es perpendicular a este plano y por tanto, paralelo al plano del papel y perpendicular a \hat{r} como se ve en la figura, Hallyday (2009).

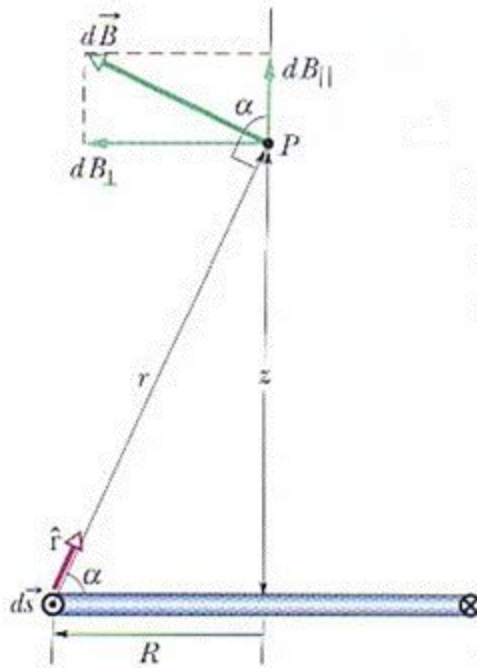


Figura No 2 - Vista perfil de una espira Circular de radio R . (Tomada de Fundamentos de Física Vol. 3: Electromagnetismo / Halliday, Resnick – 2009 ,8 Ed. Vol. II)

Se divide $d\vec{B}$ en sus dos componentes: una $d\vec{B}_{\parallel}$ paralela al eje de la espira y otra $d\vec{B}_{\perp}$ perpendicular al eje. Por simetría, la suma vectorial de las componentes perpendiculares $d\vec{B}_{\perp}$ producidas por todos los elementos $d\vec{s}$ de la espira, es cero.

Esto deja solamente las componentes paralelas $d\vec{B}_{\parallel}$ y por tanto

$$B = \int d\vec{B}_{\parallel}$$

Para el elemento $d\vec{s}$ de la Figura No 2 la Ley de Biot - Savart, nos dice que el campo magnético a una distancia r está determinado por:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i ds \sin 90^\circ}{4\pi r^2} \quad (\text{Ec. 6.5.1})$$

También se relaciona que $dB_{\parallel} = dB \cos \alpha$

Al combinar las dos relaciones, se obtiene:

$$d\mathbf{B}_{\parallel} = \frac{\mu_0 i \cos \alpha ds}{4\pi r^2} \quad (\text{Ec. 6.5.2})$$

La figura No 2 muestra que hay una relación entre r y α . Ambos pueden ser expresados en términos de la variable Z , que es la distancia entre el punto P y el centro de la espira.

Las relaciones son las siguientes:

$$r = \sqrt{R^2 + z^2} \quad (\text{Ec. 6.5.3})$$

$$\cos \alpha = \frac{R}{r} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + z^2}} \quad (\text{Ec. 6.5.4})$$

Sustituyendo las ecuaciones Ec.6.5.3 y Ec.6.5.4 en la Ec.6.5.2 se llega a la siguiente relación:

$$d\mathbf{B}_{\parallel} = \frac{\mu_0 i R}{4\pi(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} ds \quad (\text{Ec. 6.5.5})$$

Obsérvese que i, R y z tienen el mismo valor para todos los elementos ds de la espira; así cuando se integra la Ec.6.5.5, se encuentra que

$$B = \int d\mathbf{B}_{\parallel}$$

$$B = \frac{\mu_0 i R}{4\pi(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \int ds$$

y como $\int ds$ es simplemente la circunferencia $2\pi R$ de la espira entonces:

$$B(z) = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (\text{Ec. 6.5.6})$$

que es la expresión para el campo magnético total de una espira. Halliday (2009).

6.6 Campo Magnético entre Bobinas en configuración Helmholtz

El arreglo conocido como Bobinas de Helmholtz se obtiene con dos bobinas circulares concéntricas de Radio R , en serie con sus centros geométricos separados una distancia R a lo largo del eje de simetría (eje y) e igual al radio de una bobina o carrete. Este arreglo permite obtener una zona de campo magnético uniforme alrededor del punto central O . La corriente eléctrica fluye en la misma dirección en cada bobina. Casaña (2012).

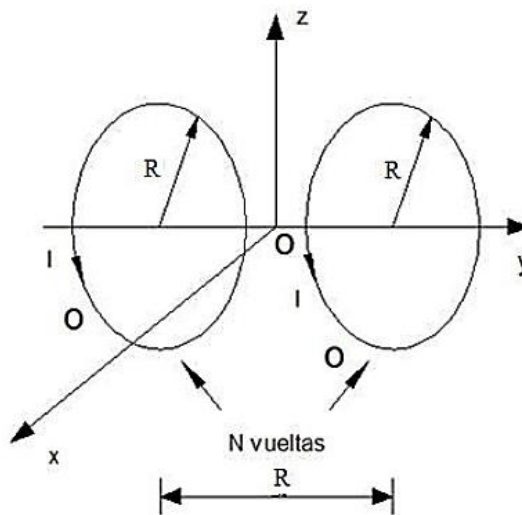


Figura No 3 - Vista 2D Geometría Helmholtz – Fuente (CASAÑA, 2012)

Según Casaña (2012), el eje espira es la única línea donde se puede calcular fácilmente el campo magnético \vec{B} por la ecuación de Biot-Savart. La expresión que permite obtener el campo magnético \mathbf{B} en puntos sobre el eje de simetría (eje y) el cual pasa por los centros de las bobinas se define de la siguiente manera:

Si se considera a $R = a$ se halla:

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I a^2}{2} \left[\frac{1}{\left(\frac{5a^2}{4} + ay + y^2\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(\frac{5a^2}{4} - ay + y^2\right)^{3/2}} \right] \quad (\text{Ec. 6.6.1})$$

Y si $y = 0$, por lo tanto:

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I a^2}{2} \left[\frac{1}{\left(\frac{5a^2}{4}\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(\frac{5a^2}{4}\right)^{3/2}} \right] \quad (\text{Ec. 6.6.2})$$

Simplificando B_0

$$\frac{1}{\left(\frac{5a^2}{4}\right)^{3/2}} = \frac{1}{\frac{\sqrt{(5a^2)^3}}{\sqrt{4^3}}} = \frac{1}{\frac{\sqrt{5^3 a^6}}{\sqrt{64}}} = \frac{1}{\frac{5^{3/2} a^3}{8}} = \frac{8}{5^{3/2} a^3}$$
$$\frac{8}{5^{3/2} a^3} + \frac{8}{5^{3/2} a^3} = \frac{16}{5^{3/2} a^3} \quad \text{entonces } B_0 = \frac{\mu_0 N I a^2}{2} \frac{16}{5^{3/2} a^3}$$

Simplificando

$$B_0 = \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 N I}{a} \quad (\text{Ec. 6.6.3})$$

Donde:

B_0 = Densidad de flujo magnético generado por N espiras en el punto medio del eje y [Teslas].

μ_0 = permeabilidad del espacio vacío [Wb/Amp.m]

N = Número de vueltas en cada bobina.

I = Flujo de corriente eléctrica a través de cada bobina. [A]

a = radio medio de cada bobina.

6.7 Magnetobiología

La Magnetobiología es una nueva área multidisciplinaria con contribuciones provenientes de diversos campos como la física y la medicina, sin embargo, su soporte principal es la biofísica. Dentro de su accionar, la Magnetobiología estudia los efectos que producen los campos electromagnéticos y los campos magnéticos estáticos en objetos biológicos, siendo estos efectos cuantificables y cualificables, Binhi (2002).

La tierra es un gigantesco imán natural que transmite energía magnética a todos los organismos vivos. El desarrollo de la vida está indisolublemente ligado a las radiaciones magnéticas y las plantas y los animales son afectados, para bien o para mal, por este fenómeno, a veces inevitable.

El magnetismo se ha empleado directamente como medio de diagnóstico y procedimiento terapéutico en ramas de la medicina humana y veterinaria tales como Oncología, Cirugía, Imagenología, Ortopedia, Microbiología e Higiene. En la naturaleza cada ser vivo está sujeto a la influencia del campo magnético, incluso se ha afirmado que: “la energía magnética es la energía elemental de la cual depende la vida del organismo”. La Magnetobiología, sin lugar a dudas, es una ciencia de extraordinaria importancia por su influencia en la prevención y curación de las enfermedades y, por lo tanto, en la preservación de la vida.

Estas modificaciones repercuten favorablemente sobre los seres vivos y hacen que se comporte biológicamente más eficiente, favoreciendo en los animales y seres humanos una mayor irrigación y virilización del torrente sanguíneo y, en las plantas, elevando el nivel de la fotosíntesis, el crecimiento de las semillas y la productividad de las plantaciones. Con la utilización del agua tratada magnéticamente para abreviar ganado bovino, porcino, ovino y aves se han obtenido resultados satisfactorios, Insua (2009).

Una de las aplicaciones del biomagnetismo está en la agricultura, en la cual se han realizado numerosos experimentos con el objetivo de incrementar el rendimiento en cultivos, mejorar características agronómicas, químicas y biológicas en las plantas, y mitigar algunos problemas presentes en suelos y aguas empleados para fines agrícolas.

El agua expuesta a campos magnéticos es una de las aplicaciones del biomagnetismo, que permite contar con un líquido físicamente modificado con una tensión superficial menor, con mayor conductividad eléctrica, solubilidad, coagulación y cristalización, lo que la hace más ligera, pura y fluida respecto al agua en estado normal. Estas variaciones repercuten favorablemente sobre los seres vivos, en animales se presenta mayor irrigación y virilización del torrente sanguíneo, y en las plantas, se incrementa la eficiencia en los procesos fotosintéticos, en la germinación de las semillas y en la productividad de los cultivos, Mendez (2013).

7 ESTADO DEL ARTE

7.1 Efectos de Campos Magnéticos Estáticos en Sistemas Vivos

Los campos magnéticos son generados por una configuración electrónica de los espines de los electrones en las orbitas atómicas, o por corrientes eléctricas a través de un hilo conductor, este campo magnético está definido por la ley de Lorentz y tiene característica dipolar, es decir presenta un polo norte y un polo sur.

Los efectos biológicos de los campos magnéticos se clasifican en tres categorías:

1. Los efectos de los campos magnéticos variables en el tiempo.
2. Los efectos de los campos magnéticos estáticos.
3. La multiplicación de ambos, campos estáticos y otras energías tales como la luz y la radiación electromagnética.

Para cada categoría, se requiere un enfoque estratégico diferente para arrojar luz sobre los efectos biomagnéticos. Los campos magnéticos variables en el tiempo producen corrientes parásitas que estimulan los tejidos excitables a bajas frecuencias, Ueno (1996).

En la Figura No 1, se registran los diferentes fenómenos Biomagnéticos en diferentes intensidades de campos magnéticos y sus frecuencias. El efecto de los campos magnéticos en sistemas vivos y materiales biológicos se ha observado principalmente en el rango de campos magnéticos más altos que el campo magnético de la tierra, Ueno (1996).

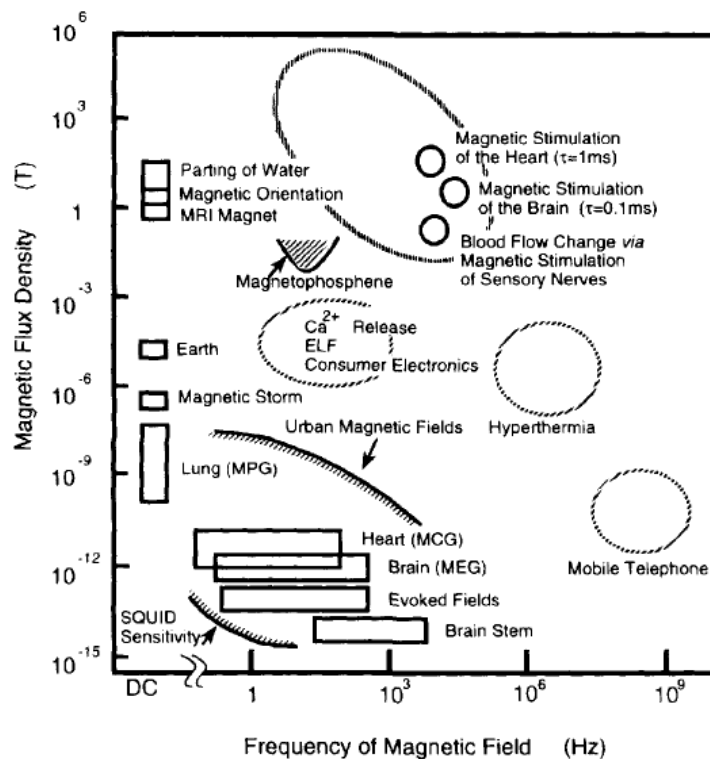


Figura 1 - Fenómenos Biomagnéticos según Ueno 1996.

7.1.1 Efecto del Tratamiento Magnético de semillas de tomate (*Lycopersicon Esculentum Mill*) sobre la Germinación y el crecimiento de las Plántulas

Souza *et al* (1999). Estudiaron el efecto del tratamiento magnético de semillas de tomate, variedad Campbell 28, sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas en condiciones controladas, así como determinan la influencia que tienen sobre estas variables, los factores: intensidad del campo magnético y tiempo de exposición.

Esta metodología empleada trata las semillas de tomate con tres niveles de intensidad de campo magnético constante 0,08, 0,10 y 0,17 Tesla (T) durante tiempos de exposición de 1, 3, 5, 10, 15, 20 y 25 min, empleando como testigo semillas sin tratar. Las variables a considerar fueron el porcentaje de germinación al quinto y séptimo día después de la siembra de igual manera y se midió la altura de las plántulas y la longitud de la raíz a los 14 días con una precisión de 1 mm.

En esta investigación se observó con respecto a la germinación, un aumento del porcentaje de germinación en las semillas tratadas a los cinco días en 18 de los 21 tratamientos, una reducción del porcentaje de germinación a los 7 días, presentando mejorías en 10 de los 21 tratamientos. El crecimiento de las plántulas fue estimulado (5 - 25 %) en 12 de los 21 tratamientos con respecto al control, el estímulo al crecimiento y germinación depende de los niveles de intensidad del campo magnético y del tiempo de exposición.

7.1.2 Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa L.*) y tomate (*Solanum lycopersicum L.*)

Torres *et al* (2008) realizaron un trabajo que consistió en examinar el efecto de campos magnéticos de bajas intensidades de 5 mT (militeslas) y 10 mT (militeslas), sobre la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa L.*) y tomate (*Solanum lycopersicum L.*), en el estudio investigaron el incremento de biomasa en plántulas de las mismas especies y tomaron como medida de germinación la emergencia de la radícula.

La metodología consistió en ubicar en cada caja de Petri, 25 semillas distribuidas de manera circular para luego ser humedecidas inicialmente durante 2 horas en agua destilada, con el fin de partir de condiciones iguales de imbibición; posteriormente se expusieron a tratamientos magnéticos, colocando las distintas cajas de Petri sobre la cara norte de uno de los imanes, que se encontraban distribuidos al azar sobre una superficie plana, las semillas de *O. sativa* fueron expuestas a los campos magnéticos durante periodos de tiempo de 1, 10, 20 y 60 min, 24 y 48 h.

En esta investigación Torres *et al* (2008) indicaron que, existen efectos positivos en la germinación de las semillas de *O. sativa* para tiempos de exposición de 1 min y 48 h, mayores porcentajes de germinación que el testigo, presentando diferencias significativas a las 86 y 116 horas de iniciado el ensayo.

Los tiempos de exposición al campo magnético en los tratamientos T1, T6, T7 y T12 mostraron las mejores respuestas, independientemente de la intensidad del campo, los porcentajes de germinación en las semillas de arroz mostró, que estas obtuvieron a las 86 horas porcentajes superiores entre 6% - 11% con respecto al control. A las 116 horas, la germinación de los tratamientos continuó siendo mayor que el control, pero la diferencia en los porcentajes de germinación entre las semillas tratadas y el control se redujo a 3% y 7%, respectivamente.

El análisis de varianza para la germinación de las semillas de arroz evidencio que no existen diferencias significativas entre las dos intensidades (5 y 10 militeslas), pero sí que se presentan diferencias en los resultados, respecto al tiempo de exposición a la intensidad del campo magnético, de igual manera observaron que al aumentarse la intensidad del campo magnético, se incrementa la diferencia en los porcentajes de germinación, con respecto al control.

7.1.3 Efectos de campos magnéticos en material orgánico

Vásquez *et al* (2006), estudiaron los efectos de los campos magnéticos de 125 mT y 250 mT durante tiempos de exposición de 10, 30 y 60 minutos en semillas de frijol (*Phaseolus Vulgaris*) variedad cargamanto.

Basados en un diseño experimental factorial, se estudió la altura y la acumulación de materia seca de las plantas en función de los campos magnéticos y los tiempos de exposición a los mismos, observaron variaciones en las características de las plantas, tales como, el aumento de la biomasa y el número de raíces, posiblemente ligados al tratamiento realizado a través de campos magnéticos, este generó un incremento significativo ($p > 0.05$) en variables como la altura de las plantas así como en la acumulación de materia seca aérea, obteniéndose buena respuesta en los tratamientos que fueron sometidos a intensidades de campo magnético de 125mT con un tiempo de exposición de 10 minutos.

7.1.4 Germinación y crecimiento inicial de semillas de triticale en tratamiento magnético estacionario.

Según Flórez *et al* (2014), el triticale (X Triticosecale Wittmack) es un híbrido de trigo y centeno, que se adapta a una amplia gama de suelos y que requiere de una fertilidad y humedad moderada. El objetivo principal de este estudio fue determinar los efectos del tratamiento magnético con intensidades de 125 mT y 250 mT, en la germinación y crecimiento inicial de las semillas de triticale.

Las pruebas de germinación y crecimiento se llevaron a cabo en condiciones de laboratorio con luz natural, con temperatura mínima y máxima de 18 °C y 22 °C respectivamente. El tratamiento magnético consistió en diferentes dosis, debido a la variación en el tiempo de exposición (t) y a la inducción del campo magnético (B).

Las unidades experimentales se dividieron como sigue, P1 - P5 se sometieron a intensidades de campo magnético de 125 mT y los P6 - P10 a 250 mT, estas unidades al igual que el control (C) se montaron simultáneamente. En la Tabla 3 se muestra las dosis de exposición magnética a las que fueron expuestas las semillas para tiempos y campos magnéticos diferentes.

Para cada tratamiento contaron el número de semillas germinadas para determinar el tiempo necesario para alcanzar el porcentaje final máximo de semillas germinadas (G_{max}), y el factor de germinación considerado fue cuando las semillas germinadas tuvieron su radícula con una longitud de al menos de 1 mm. La tasa de germinación se evaluó determinando el tiempo medio de germinación (MGT) y el tiempo requerido para germinar 1, 10, 25, 50, 75 y 90 por ciento de las semillas

Time	125 mT	250 mT
0	C	C
1 min	P1	P6
10 min	P2	P7
20 min	P3	P8
1 h	P4	P9
24 h	P5	P10

Tabla 3 - Codificación de los tratamientos magnéticos y tiempo de exposición - Flórez (2014)

En este estudio Flórez *et al* (2014), presentaron los siguientes resultados para la prueba de germinación:

- El tiempo medio de germinación se redujo para todos los tratamientos magnéticos aplicados.
- Menos del 90% de las semillas expuestas a un campo magnético durante menos de 20 minutos germinaron antes que las semillas de control.
- Los parámetros T_{10} - T_{90} (germinación del 10 y 90 por ciento de las semillas) y el tiempo medio de germinación se redujeron para todas las dosis magnéticas aplicadas.

- El tiempo Medio de Germinación (MGT) se redujo significativamente para las dosis P3, P4, P5, P8, P9 y P10 comparado con el grupo control (C).
- Como T1 está estrechamente relacionado con el inicio de la germinación, los resultados indican que las semillas de triticale expuestas a un campo magnético brotaron antes que el control.

7.1.5 Estimulación de la germinación en arroz (*Oryza sativa* L.) por campos magnéticos estáticos.

Carbonell *et al* (2000) realizaron un estudio para analizar el efecto del tratamiento magnético tanto de semillas como del agua en variables como la tasa y el porcentaje de germinación de arroz (*Oryza sativa* L.) cuando estas fueron expuestas a un tratamiento magnético de 150 mT y 250 mT (militeslas), en condiciones de laboratorio.

El estudio arrojó las siguientes conclusiones:

1. La exposición crónica de semillas de arroz a los campos magnéticos aumenta la velocidad y porcentaje de germinación durante la etapa de brotación.
2. El aumento más significativo se obtuvo cuando la fuerza de los campos magnéticos aplicados fue de 150 mT.
3. La exposición de las semillas a campos magnéticos de 150 y 250 mT para los primeros 20 min después de la siembra aumenta la velocidad y el porcentaje de germinación de semillas de arroz vs el control.
4. La germinación es estimulada cuando las semillas se humedecen con agua tratada previamente.

7.1.6 Influencia de campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT en la germinación de semillas de girasol.

Carbonell et al (2005), tuvieron como objetivo determinar y cuantificar el efecto de campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT (militeslas) en la germinación de semillas de girasol (*Helianthus annuus*, L. var. *Florasol*). Para ello se emplearon imanes cilíndricos huecos que, en función del tiempo de exposición, proporcionaron 12 tratamientos: D1-D6 para 125 mT, D7-D12 para 250 mT.

Las semillas fueron expuestas a una de las dos inducciones de campo magnético mencionadas durante distintos periodos de tiempo: 1 minuto (D1, D7), 10 minutos (D2, D8), 20 minutos (D3, D9), 1 hora (D4, D10), 24 horas (D5, D11) o de forma crónica (D6, D12) durante todo el proceso de germinación.

De los resultados que se obtuvieron en este estudio se desprende que el tiempo requerido para obtener los distintos porcentajes de germinación fue menor en las semillas crónicamente expuestas (D6 y D12) o durante 24 horas (D5 y D11), de igual manera que el tiempo medio de germinación (TMG) obtenido para las semillas sometidas a tratamiento magnético resultó significativamente menor que el TMG del control, concluyéndose de esta manera que el tratamiento magnético aplicado incrementa la velocidad de germinación de semillas de girasol.

7.2 Efectos de Campos Eléctricos y Magnéticos en Sistemas Vivos

7.2.1 Aceleración de la germinación de las semillas de tomate mediante la aplicación de campos eléctricos y magnéticos de corriente alterna (AC).

Referente a campos eléctricos de corriente alterna (AC), Moon *et al* (2000) estudiaron la tasa de germinación de semillas de tomate (*Lycopersicum Esculentum L.*) mientras estaban expuestas a campos tanto eléctricos como magnéticos, este trabajo consistió en exponer las semillas a diversos campos eléctricos AC con una oscilación de 60 Hz y rangos que iban de 4kV/cm a 12 kV/cm usando electrodos de placas paralelas.

La intensidad del campo magnético estuvo entre 3 a 1000 Gauss, bajo estas condiciones las semillas de tomate se expusieron a tres períodos de tiempo que iban de 15 a 60 segundos con períodos de tiempo iguales de descanso correspondiente. El experimento demostró que con estos factores de tratamientos el porcentaje de germinación aumentó en 1.1 hasta 2.8 veces en comparación con las semillas de control y que las semillas expuestas a campos eléctricos superiores a 12kV/cm para tiempos de exposición mayores a 60 segundos tiene un efecto inhibitor en la tasa de germinación.

7.2.2 Efecto de diferentes campos electromagnéticos estáticos en la velocidad de germinación del Frijol Mungo (Vigna Radiata Var. Radiata)

Rajasekhar *et al* (2011), investigaron la influencia de los campos electromagnéticos estáticos sobre la velocidad de germinación de la semilla de frijol mungo (judías verdes), considerando el número de semillas germinadas después de 24 h de incubación.

Antes de la germinación, las semillas fueron expuestas a diferentes tipos de campos electromagnéticos (CEM), a saber, los campos electromagnéticos generados por una bobina Helmholtz, el campo magnético de un polo norte y un polo sur, con diferentes intensidades de campo de 5, 10, 30 y 60 militeslas (mT) y tiempos de exposición de 15, 30, 45 y 60 min.

Una observación que resultó de la investigación de Rajasekhar *et al* (2011) con respecto al parámetro intensidad de campo fue que al aumentarse hasta 10 mT, la velocidad de germinación mejoró, pero con el empleo de campos superiores a éste la velocidad de germinación se redujo, de igual manera el parámetro tiempo de exposición, no mayores de 45 minutos dió lugar a una mayor velocidad de germinación, concluyéndose que la mayor velocidad para la germinación se dió cuando se combinó el polo sur de un campo electromagnético con una intensidad de 10 mT para un período de exposición de 45 min.

7.2.3 Efecto pre-siembra del tratamiento electromagnético sobre la germinación y crecimiento de las semillas de maíz (*Zea mays* L.)

Isaac *et al* (2011) estudiaron el efecto de diferentes intensidades de campo electromagnético generadas por una bobina solenoide, sobre la germinación y el crecimiento de semillas de maíz. Las semillas se expusieron a un campo electromagnético de 0, 2, 4 y 6 μ T, durante un tiempo de 3 minutos, bajo un diseño experimental completamente al azar en dos condiciones de semillas: embebidas y sin embeber.

En el análisis de varianza las variables de germinación y crecimiento, con un nivel de significancia de 95%, se obtuvo un incremento en la germinación, en el índice de vigor I, en el índice de vigor II y en la longitud de las raíces, de 3, 20, 34 y 23%, respectivamente, en comparación con las semillas control (sin tratar) al octavo día.

En el caso de las semillas tratadas electromagnéticamente sin imbibición, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos versus el control para las variables probadas (germinación y crecimiento), excepto para el tratamiento con campo electromagnético con intensidad de 2 microteslas (μT), con resultados inferiores en comparación con el control.

Por otro lado, en las semillas con imbibición, se obtuvieron resultados inferiores con diferencias significativas en comparación con el control, para los tratamientos que comprendía intensidades de campo magnético de 4 y 6 μT concerniente a la velocidad de germinación.

Hubo una mejora en las semillas con imbibición sobre el control del 3% en el porcentaje de germinación para las inducciones 2 μT y 4 μT , sin diferencias significativas en comparación con el control.

7.3 Teorías sobre las modificaciones de sistemas biológicos generados por los campos Electromagnéticos en sistemas vivos.

Como interaccionan los campos electromagnéticos tanto físico, biológica y bioquímicamente en sistemas biológicos son interrogantes que necesitan aún de una activa investigación. Bajo esta premisa se relacionan a continuación algunas hipótesis y teorías con base a estudios realizados en este campo de investigación. Dentro de estos estudios se encontró un trabajo de Ferrer Dubois *et al* (2007), que estima que el campo electromagnético con frecuencias desde los 8Hz hasta los 60 Hz, influyeron positivamente en el crecimiento del número de células heterogéneas que conformaban un callo formado en el cultivo *in-vitro* de *coffe arábica L*, variedad Caturra Rojo, así como una gran actividad meristemática debido a la alteración de la permeabilidad de las membranas celulares facilitando los mecanismos de transporte de nutrientes y de esta forma contribuyendo a una mayor formación y desarrollo de estos callos.

Existe una alteración en el comportamiento dinámico de las células bajo la acción de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja, pues ocurren cambios en el potencial electroquímico de las membranas celulares que modifican su permeabilidad. De igual manera ocurre un mayor paso de nutrientes al interior celular que en condiciones normales, lo cual debe requerir una mayor velocidad en la asimilación y degradación de nutrientes para evitar la descompensación osmótica de la célula, la que se desarrolla más rápidamente y con ello aumenta su crecimiento.

De otro lado, Ferrer Dubois *et al* (2007) también afirman que en objetos biológicos influenciados por los campos electromagnéticos pueden darse procesos como: Desarrollo de las rutas metabólicas de asimilación y degradación de nutrientes; Activación de los sistemas redox (respiración celular); Estimulación de la reproducción celular y favorecimiento de los procesos de enlace molecular.

Por su parte, Torres *et al* (2008) consideran que en los estudios bioquímicos de semillas después de haberse sometidos a tratamientos magnéticos, muestran un incremento en la actividad de la α -amilasa, indicando un aumento en la producción de la hormona vegetal giberelina y de la actividad de la enzima hidrolítica fosfatasa ácida.

Además, Ghole, (1986) discurre que el campo magnético homogéneo es un estimulador de la actividad enzimática en objetos vivos, esta hipótesis hizo parte de sus resultados al someter la enzima ascorbato oxidasa (*Ascorbic Acid Oxidase*) a una intensidad de campo magnético de 1.1 T (Tesla), y en sus experimentos demostró claramente que un campo magnético de 1.1 T (Tesla), inhibía la actividad enzimática en un 22% en tiempos breves de reacción y a un 35% en tiempos más largos de reacción, también afirmó que la inhibición no es directamente proporcional al tiempo de reacción.

La bibliografía muestra un posible efecto estimulante de campos electromagnéticos sobre el crecimiento de plántulas y germinación de semillas; sin embargo, el elevado número de factores que intervienen en la interacción campo magnético-ser vivo complica el establecimiento de mecanismos de acción, existiendo hasta la fecha sólo hipótesis, Carbonell *et al* (2005).

Sin embargo, la mayoría de los autores coinciden en afirmar que esta influencia de los campos electromagnéticos se debe a cambios que se producen en la permeabilidad de la membrana celular y en la sensibilidad de los mecanismos de transporte a través de las mismas, Torres *et al* (2008).

8 MATERIALES Y METODOS

8.1.1 Localización y ubicación del ensayo experimental

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Neiva – Huila, en las instalaciones del laboratorio de germinación de la empresa Semillas del Huila S.A (Figura No 4) la cual se encuentra a una altura de 442 m.s.n.m, y geográficamente se ubica a 328686.65 mN y 468389.19 mE.

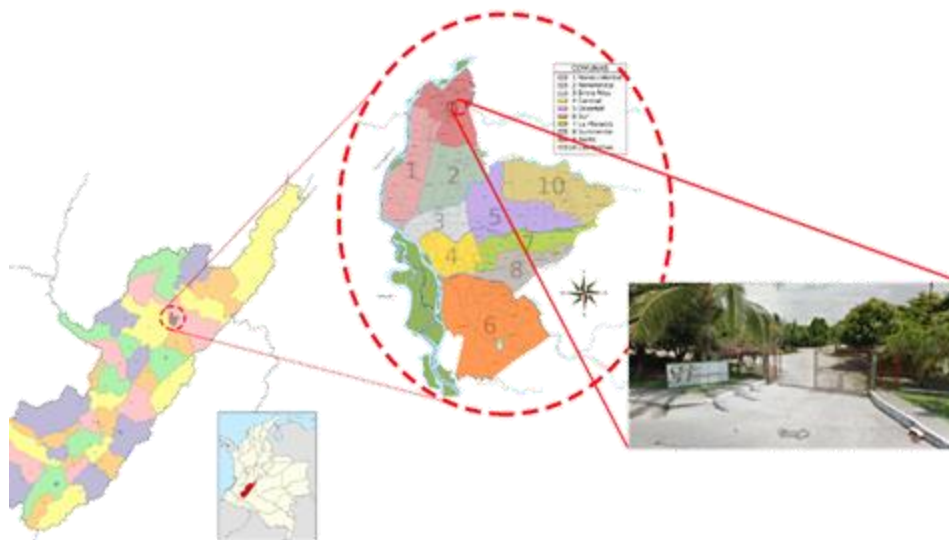


Figura No 4 - Ubicación de la empresa Semillas del Huila S.A

Esta empresa tiene como misión "Producir, beneficiar y/o comercializar semillas certificadas de arroz, sorgo, maíz y pasto de alta calidad que busca satisfacer las necesidades de los clientes, con un equipo de trabajo eficiente, honesto, responsable y excelente calidad humana utilizando la más adecuada tecnología para brindar excelencia en el servicio."

8.1.2 Diseño experimental

El experimento se realizó con un diseño en Bloques Completos aleatorizados (BCA), con un arreglo de 5 tratamientos, con 5 repeticiones cada uno, para un total de 25 unidades experimentales, incluido el control (Tabla No 4), la variable o factor considerado fue el tiempo de exposición para una corriente fija de 13,6 amperios generada por una fuente de alimentación alterna (AC) y un campo electromagnético fijo.

Tabla 4 - Diseño experimental

TRATAMIENTO	TIPO DE CORRIENTE	INTENSIDAD CAMPO ELECTROMAGNÉTICO (mT)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (MIN)
CTR15	AC	3,6	15
CTR30	AC	3,6	30
CTR45	AC	3,6	45
CTR60	AC	3,6	60
CTR0	AC	3,6	0

Para el cálculo del campo magnético en el centro de la bobina, se emplea la metodología de Gyawali (2008), de la cual se recurre a la siguiente relación matemática para su determinación:

$$B = 0.00899178NI/R$$

Donde el campo magnético (**B**) está dado en gauss, y para su conversión a militeslas (mT) éste se divide por 10.

8.1.3 Variables de respuesta

Las variables de respuestas consideradas durante el experimento, así como los métodos empleados y las frecuencias de medición se representan en la tabla 5.

Tabla 5 - Variables de respuesta consideradas en el experimento, métodos y frecuencia de medición.

VARIABLE DE RESPUESTA	MÉTODO DE MEDICIÓN	UNIDAD	FRECUENCIA	LUGAR
Tiempo de Emergencia	Observación Directa	día	Diaria	Bandeja de Germinación
Porcentaje de Germinación	Conteo in-situ	%	48 horas después de la ubicación en las bandejas de germinación y puesta en la cámara de germinación y luego cada 24 horas se realizó el conteo	Bandeja de Germinación

Tiempo de germinación (días): fue el tiempo considerado hasta la emergencia de la radícula, desde las 48 horas hasta las 96 horas después de la ubicación en la cámara de germinación.

Porcentaje de germinación (%): se realizó un conteo diario de la cantidad de semillas con emergencia de la radícula, con base en las 100 semillas por bloque y por tratamiento, ubicadas en la bandeja de germinación, desde las 48 horas hasta las 96 horas después de la ubicación en la cámara de germinación.

8.1.4 Montaje del Experimento

En este apartado se relaciona la información teórica y los resultados prácticos referentes a la construcción de las bobinas Helmholtz, la clasificación de las semillas consideradas en el laboratorio, así como la exposición de las semillas a los campos electromagnéticos generados por dicha bobina y por último la lleva a la cámara de germinación

8.1.4.1 Construcción de bobinas Helmholtz

Se realizó la construcción de dos bobinas con geometría circular, para el diseño de las bobinas se utilizaron las ecuaciones del campo magnético de acuerdo con Gyawali (2008), que fueron presentadas en el marco teórico. Las dos bobinas se construyeron con un número de espiras (**N**) igual a 50 y un diámetro ($\varnothing_{\text{Bobina}}$) de 0.4 m, separadas por una distancia en metros igual a su radio (**R**), ya que son bobinas en configuración Helmholtz, que para que haya una homogeneidad en su punto medio del eje de simetría, esta distancia ha de ser igual a su radio. En el anexo 2 se presenta el dimensionamiento detallado de las bobinas construidas y el proceso de embobinado se realizó de forma manual con alambre de cobre esmaltado 10 WAG cuyas características se reportan en la Tabla No 6.

Tabla 6 - Dimensiones y carga máxima del alambre de cobre esmaltado 10WAG

ALAMBRE DE COBRE								
Calibre	Alambre Desnudo		Alambre Doble Capa			Resistencia Eléctrica	Tensión de Embobinado	Corriente
AWG	Diámetro nominal	Peso (Kg/km)	Incremento mín. (mm)	Ø Máx. (mm)	Long. Aprox (m/kg)	Ohm /km a 20°C	Kg	A
10	2,588	47,691	0,086	2,703	21,2	3,278	31,5	52

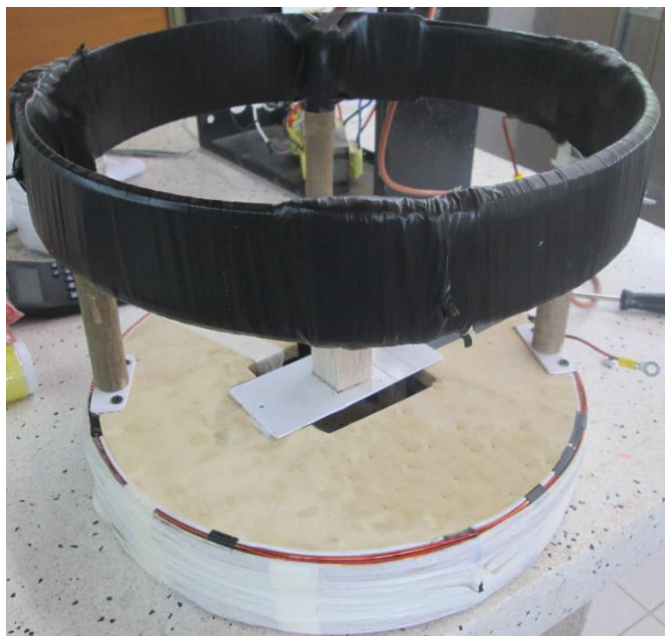


Figura No 5 - Construcción Bobina Helmholtz como fuente del campo electromagnético.

8.1.5 Aplicación del campo electromagnético sobre las semillas de arroz (Oriza Sativa).

Las semillas empleadas para el experimento fueron suministradas por el laboratorio de germinación de la empresa Semillas del Huila S.A. Neiva – Huila.

8.1.6 Selección y clasificación de las semillas.

La variedad COPROSEM - 304 proviene del cruzamiento C72 efectuado en el año 1999 entre los progenitores femenino Coprosem 1/AZ017 y masculino Coprosem 2/AZ019. Fue seleccionada por método pedigree. En el segundo semestre de 2004 y primer semestre de 2005 fue incluida en pruebas de evaluación agronómica supervisadas por el ICA y se inscribió en el Registro Nacional de Cultivares del ICA. De esta prueba se seleccionó la Línea 304 que se denominó COPROSEM 304 para su comercialización.

En primera instancia se seleccionaron las semillas de arroz variedad Coprosem 304 de una muestra de semillas provenientes de la ciudad de Villavencio, (Figura No 6), en número de 100 semillas por cada bloque (Figura No 7), con el objetivo de eliminar las semillas anómalas y dañadas por movimientos mecánicos, de transporte y/o cosecha.



Figura No 6 - Selección de Semillas variedad Coprosem 304



Figura No 7 - Auxiliar de laboratorio empresa Semillas del Huila S.A en la selección, conteo y descarte de semillas anómalas en el laboratorio de germinación.

8.1.7 Electromagnetización de las semillas

Después de la selección y separación de las semillas en el laboratorio, cada grupo se puso en imbibición con agua destilada, por un periodo de dos horas, para luego ser expuesto cada grupo (100 semillas) al campo electromagnético generado por la bobina Helmholtz (Figura No 8).



Figura No 8 - Bobina Helmholtz para la aplicación del campo electromagnético en semillas de arroz variedad Coprosem 304.

Las semillas fueron ubicadas en el punto medio entre las dos bobinas a una altura de 20 cm, sobre una base construida en material de PVC, ya que este tipo de material al no ser ferromagnético no genera ninguna perturbación en el interior del campo magnético generado por la bobina, que produce en su punto medio de esta distancia entre cada bobina igual a su radio un campo magnético cuya magnitud de acuerdo con Gyawali (2008), se expresa por la siguiente relación:

$$B = \frac{0.00899178NI}{R}$$

$$B = \frac{(0.00899178 * 50 * 13.6)}{0.2}$$

$$B = 30.6 \text{ Gauss}$$

8.1.8 Fuente de alimentación (AC) de las bobinas.

Complementario a las bobinas se construyó una fuente de alimentación de corriente alterna (AC) basados en una conexión en serie de los bobinados secundarios de dos transformadores Modelo E184736 CLASS B DVD -130 - 1 DAR PLUS SZ 0943 (Figura No 9), con un voltaje en el devanado secundario de 10 voltios, y una tensión en el devanado primario de 110-220 voltios, la frecuencia de salida como de entrada de la fuente, fue de 60Hz, igual a la frecuencia de oscilación que se emplea en las acometidas internas domiciliarias, de igual manera esta fuente contó con un instrumento de medición de amperios o amperímetro (Figura No 10). El montaje final de la fuente de alimentación para la bobina Helmholtz se muestra en la Figura No 11.



Figura No 9 - Tipo de transformador empleado en la fuente de alimentación (AC)



Figura No 10 - Instrumento para la medición de amperios (Amperímetro) en escala de 0 - 20 A.

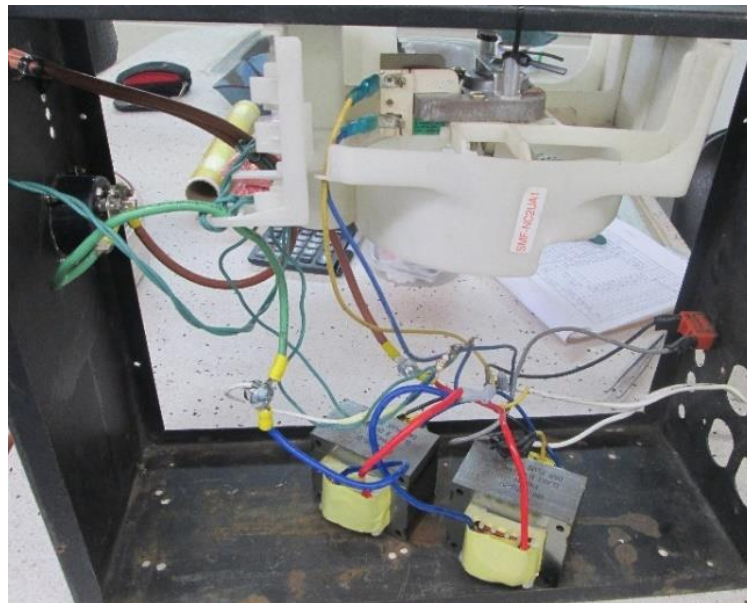


Figura No 11 - Montaje final de la fuente de alimentación para la bobina Helmholtz.

8.1.9 Ubicación de las semillas en la cámara de germinación

Después de que se expuso cada grupo de semillas seleccionadas aleatoriamente a los tratamientos (un total de 5), con tiempos de exposición de 15, 30, 45, 60 y 0 minutos, éstas se ubicaron en la cámara de germinación (Figura No 12), a una temperatura constante de 28 °C.



Figura No 12 - Cámara de Germinación empresa Semillas del Huila S.A

Cada unidad experimental consistió de una bandeja de germinación con papel filtro humedecido con agua destilada, en la cual se distribuyeron 100 semillas por cada bloque para cada tratamiento (tiempo de exposición) (Figura No 13).

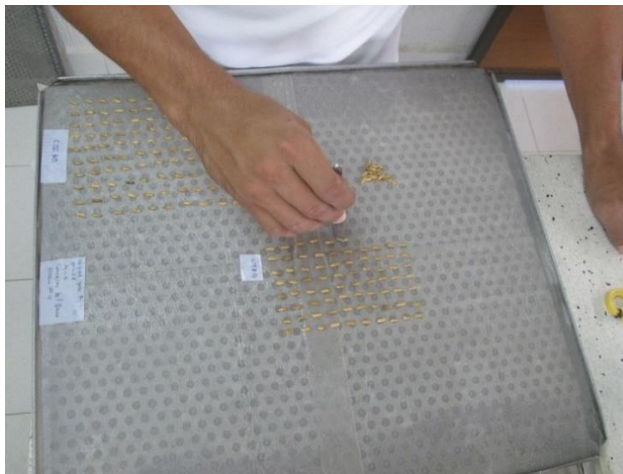


Figura No 13 - Bandeja de Germinación y ubicación de las semillas por bloques

8.1.10 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para tiempo de emergencia y porcentaje de germinación bajo un análisis estadístico descriptivo. Se trabajó con el paquete Statgraphics Centurión XVI v.16.1.18, y la herramienta de ofimática Microsoft Excel 2013. La comparación de las medias entre los tratamientos se realizó empleando la prueba (LSD) diferencia significativa mínima de Fisher para un valor-p <0,05 de significancia o un nivel de confianza de 95%, y la comparación de las medias de cada tratamiento Vs la media de la unidad experimental testigo o control se efectuó mediante la prueba de Dunnet.

9 ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	Sept				Oct				Nov				Dic			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. Revisión Información Sobre Tópico																
Consultar normativa nacional e internacional, protocolos, técnicas, artículos, libros y en la web sobre campos magnéticos y su influencia en la germinación y crecimiento del Arroz.																
2. Materiales																
Compra y gestión de materiales																
3. Puesta a Punto Test de Germinación																
Desarrollo del proceso de germinación de las semillas de Arroz, con la aplicación de campos electromagnéticos y puesta a punto del sistema de germinación utilizando las Reglas ISTA																
5. Toma de Datos																
Recolección de la Información																
4. Análisis de Datos																
Análisis estadístico																

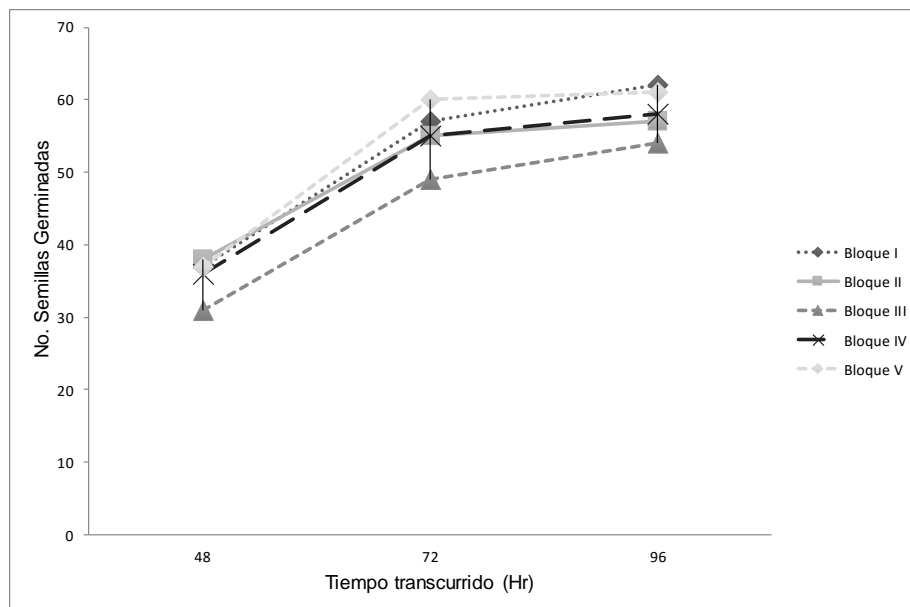
10 RESULTADOS Y DISCUSION

10.1 Efecto de la aplicación del campo electromagnético en las semillas de arroz (*Oryza Sativa*) Variedad Coprocen 304.

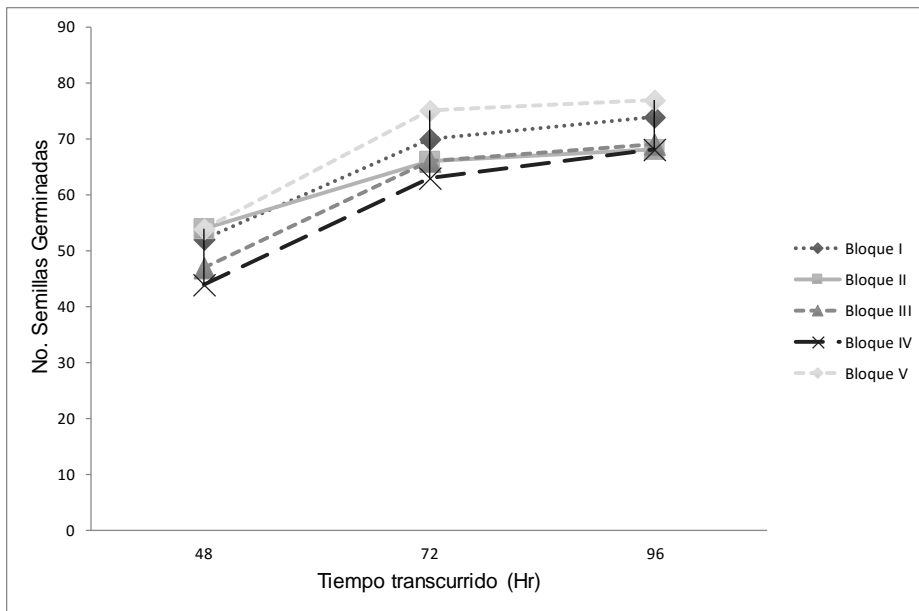
En este punto se realizó la discusión de los resultados obtenidos comparándolos con las demás investigaciones realizadas y publicadas en diversas revistas y artículos científicos, relacionados con el tema de la influencia de los campos electromagnéticos en las semillas de arroz, y de otro tipo de semillas.

10.1.1 Porcentaje de germinación y tiempo de emergencia.

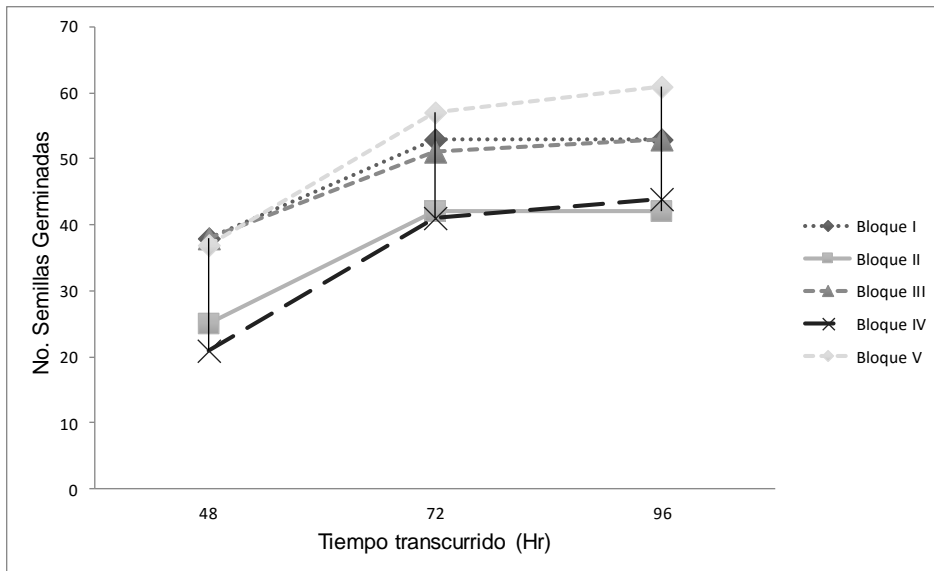
Las siguientes gráficas muestran el comportamiento para cada uno de los tratamientos aplicados en el estudio, y registrados a las 48, 72 y 96 horas después de haber sido puestas las semillas en la cámara de germinación.



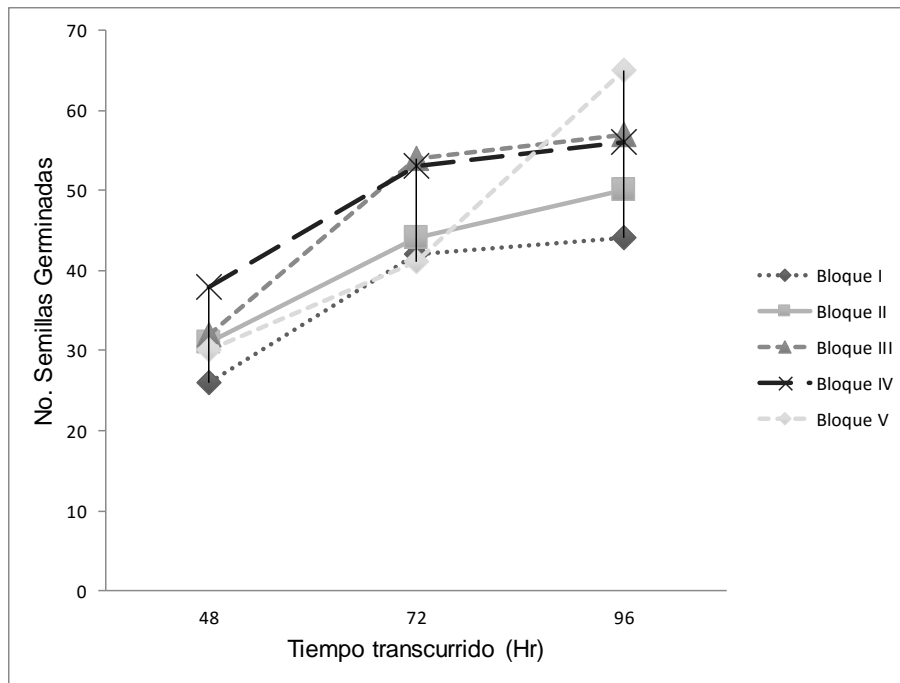
Gráfica No 1 - Exposición de las semillas al campo electromagnético durante 15 minutos (CTR15)



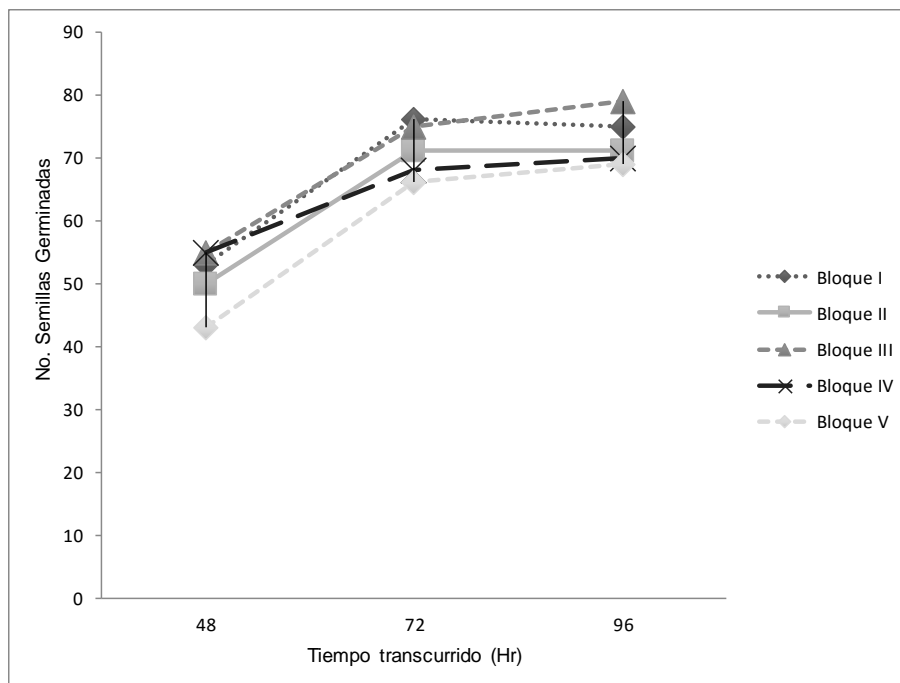
Grafica No 2 - Exposición de las semillas al campo electromagnético durante 30 minutos (CTR30)



Grafica No 3 - Exposición de las semillas al campo electromagnético durante 45 minutos (CTR45)



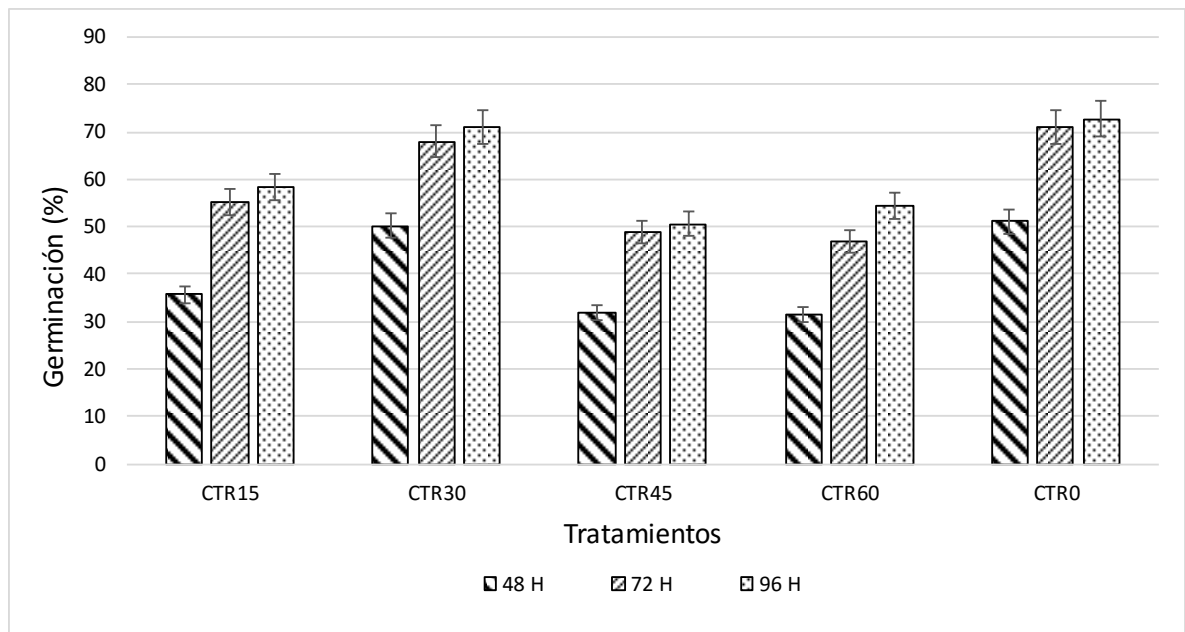
Grafica No 4 - Exposición de las semillas al campo electromagnético durante 60 minutos (CTR60)



Grafica No 5 - Tratamiento control o testigo.

Los gráficos No 1, 2, 3, 4, y 5 exponen la tendencia en el número de semillas germinadas para cada uno de los tratamientos de exposición al campo electromagnético, con tiempos de 15, 30, 45, 60 minutos y el control. Se puede observar en las gráficas que el comportamiento en todos los casos se hace más significativo de las 48 a las 72 horas, con una tendencia a un menor número de semillas germinadas en el periodo de las 96 horas.

En el caso de los tratamientos CTR15 (**15 min – 3.6 mT**), y CTR30 (**30 min – 3.6 mT**), no mostraron una diferencia marcada en el comportamiento y siguen un patrón muy similar al control, lo que sí es apreciable en estos tratamientos en general es el número de semillas germinadas como se puede ver en la gráfica No 6.

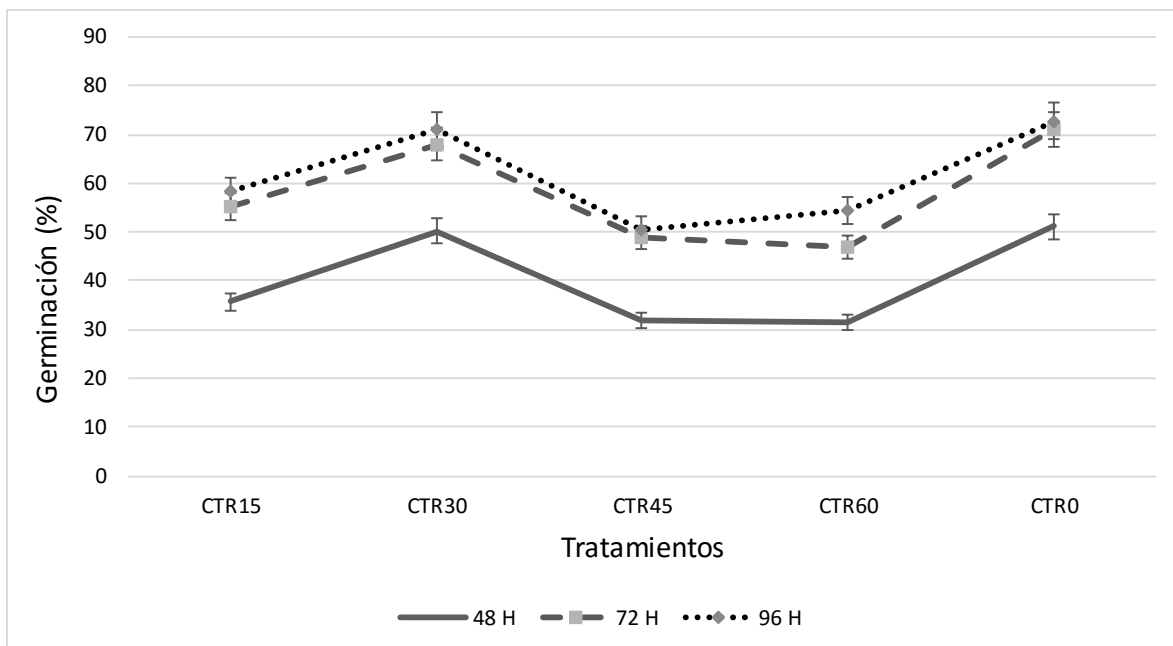


Gráfica No 6 - Gráfica comparativa de las medias del número de semillas germinadas de los cinco bloques para cada tratamiento en los tres tiempos de evaluación, 48, 72 y 96 horas.

En la gráfica No 6, se logra observar que el número de semillas germinadas es mayor en un tiempo de 72 horas para todos los casos, pero no hay una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en tres de los tratamientos **CTR15 (15 min – 3.6 mT)**, **CTR30 (30 min – 3.6 mT)**, **CTR45 (45 min – 3.6 mT)**, en el número de semillas germinadas obtenidas de las 72 y 96 horas, comportamiento similar que también se observó en el control (**CTR0**).

El caso es diferente en el tratamiento **CTR60 (60 min – 3.6 mT)**, donde hubo una diferencia estadísticamente diferente entre los conteos a las 72 y 96 horas. Cuando se comparan los tratamientos con el control (**CTR0**) se puede observar que los valores de germinación son similares solo para el caso del tratamiento **CTR30 (30 min – 3.6 mT)** con un número de semillas germinadas entre 68% y 73%; estas observaciones difieren de los resultados obtenidos por Carbonell *et al*, (2005), quienes reportaron un menor tiempo de emergencia en el porcentaje de germinación de semillas de girasol (*Helianthus annuus, L. var. Florasol*), bajo la influencia de un campo magnético estacionario en periodos de exposición a 24 horas y exposición crónica (en todo el tratamiento) en comparación con el tiempo de emergencia del control.

En este caso el control parece ejercer la misma acción que el tratamiento **CTR30 (30 min – 3.6 mT)** de exposición al campo electromagnético; si lo que se busca es tener un mayor porcentaje de germinación, es mejor usar el tratamiento que se empleó como control, sin embargo, si éste usa un mayor tiempo de exposición (más de 30 minutos) es mejor el tratamiento **CTR30 (30 min – 3.6 mT)**.



Gráfica No 7 - Número de semillas germinadas (%) durante el estudio.

La gráfica No 7, muestra la marcada tendencia de aumento en el porcentaje de germinación que muestra el tratamiento CTR30 (**30 min – 3.6 mT**), en comparación a los demás tratamientos **CTR15, CTR45 y CTR60**, tendencia que se aprecia a las 48, 72 y 96 horas de aplicado el tratamiento, enfatizando como el mejor tratamiento de los 4 aplicados. Así mismo se observa que en el caso de la aplicación a las 48 y 72 horas el aumento es considerable, el cual es de un 17 a 20 % (tendencia que muestran los 4 tratamientos) tendiendo a una mayor germinación en este caso.

Cabe señalar que la aplicación de los tratamientos a las 96 h, no tuvo ninguna diferencia significativa con respecto a los tratamientos a las 72 h, con lo que se puede concluir que los tratamientos eficaces en la germinación se dan en las primeras horas de desarrollo de las semillas hasta las 72 horas, y por lo tanto la aplicación de los campos electromagnéticos, es efectiva solo en las primeras horas de eclosión de la semilla.

De igual manera la aplicación durante 30 minutos (**CTR30 - 3,6 mT**), fue la que mostró mejor resultado en la etapa de germinación de las semillas de arroz. Esta observación concuerda con el estudio de Pacheco *et al* (2010) que reportó que las mayores respuestas positivas a la bioestimulación se observaron en los tiempos de exposición de 30 y 60 min, con inducciones magnéticas (B) de 560 y 160 mT, y que el mejor tratamiento fue con 560 mT y un tiempo de exposición de 30 min, en el que hubo aumentos ($P \leq 0.05$) en la velocidad de emergencia en un 69,2% en comparación con el testigo.

Asociado a esto, se puede destacar que la aplicación de campos electromagnéticos por tiempos prolongados tiene un efecto negativo o inhibitor en la fase de germinación, como lo evidencia el presente estudio, mermando su germinación hasta en un 23 %, lo cual podría sugerir que esto se debe a la inactivación de los procesos de intercambio de nutrientes en la semilla, así como al daño de la membrana que recubre la semilla, trayendo consigo una mayor velocidad de evaporación del agua, la saturación de compuestos dentro de la semilla por efecto del campo eléctrico propio de un campo electromagnético y la inhibición de procesos naturales de transporte de electrones a nivel celular, retrasando así la germinación como se evidencia en la gráfica No 7.

Los resultados anteriores concuerdan con los obtenidos por Moon *et al* (2000) que expusieron semillas de tomate a campos electromagnéticos y obtuvieron porcentajes más altos de germinación en los rangos de campos eléctricos entre 4 - 12 kV/cm y campos magnéticos en el rango de 3 a 1000 Gauss para tiempos de exposición de 30 a 45 segundos y sin embargo con campos eléctricos más altos que 12 kV/cm y a una exposición mayor de 60 segundos la germinación tuvo un efecto inhibitor.

La figura 14, presenta el porcentaje (%) de germinación para los cuatro tratamientos y el control, donde se puede apreciar el comportamiento global marcado en su media para cada tratamiento mediante el método de mínimas diferencias significativas (LSD) de Fisher, con un nivel de confianza del 95% o un valor-P \leq 0,05.

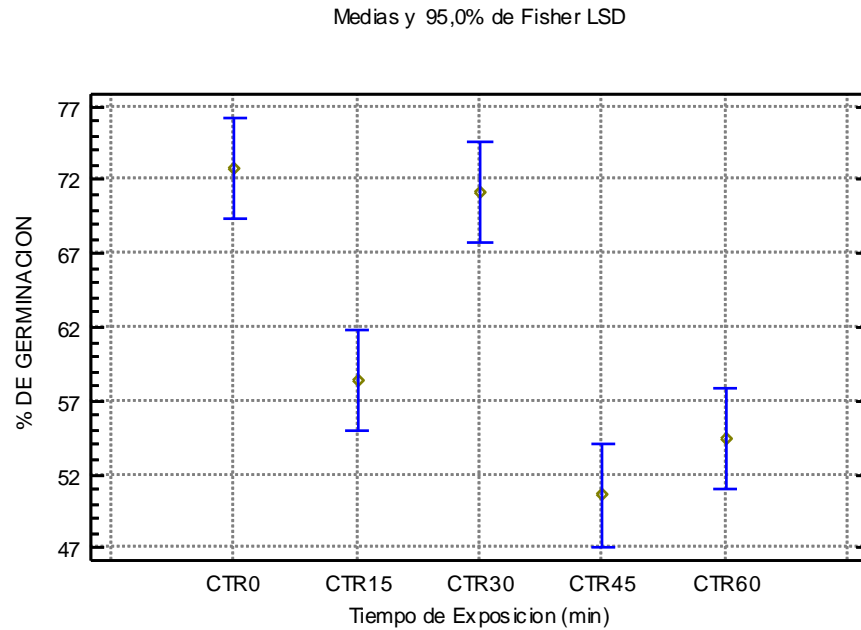


Figura No 14 - Media para cada tratamiento mediante mínimas diferencias (LSD) significativas de Fisher

Se puede entonces sustentar que el tiempo de exposición juega un papel importante y tiene una influencia en el porcentaje (%) de germinación de objetos biológicos como las semillas de arroz (*Oryza Sativa*). Lo anterior se logró corroborar con la evaluación estadística, (Tabla No 7), que nos muestra en este caso mediante el análisis de varianza, que sí hubo una influencia significativa de los campos electromagnéticos en la germinación de las semillas.

Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05 para los tratamientos, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la variable % de germinación con un 95,0% de nivel de confianza ($P \leq 0,05$).

Tabla 7 - Análisis de Varianza (ANOVA) para variable de respuesta porcentaje (%) de Germinación.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de Exposicion (min)	2003,04	4	500,76	18,78	0,0000
B:BLOQUE	236,64	4	59,16	2,22	0,1129
RESIDUOS	426,56	16	26,66		
TOTAL (CORREGIDO)	2666,24	24			

En la tabla 8, se presentan en forma de resumen la media de la variable porcentaje (%) de Germinación para cada uno de los niveles. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias.

Tabla 8 - Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para la variable porcentaje (%) de Germinación con intervalos de confianza del 95,0%

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
MEDIA GLOBAL	25	61,48			
Tiempo de Exposicion (min)					
CTR0	5	72,8	2,30911	67,9049	77,6951
CTR15	5	58,4	2,30911	53,5049	63,2951
CTR30	5	71,2	2,30911	66,3049	76,0951
CTR45	5	50,6	2,30911	45,7049	55,4951
CTR60	5	54,4	2,30911	49,5049	59,2951

La tabla 9 muestra en este caso cuáles medias son significativamente diferentes de otras y se puede apreciar que en los casos CTR45 (**45 min – 3,6 mT**), CTR60 (**60 min – 3,6 mT**), y CTR15 (**15 min – 3,6 mT**), hay menos diferencia en el comportamiento en cuanto a la variable porcentaje (%) de germinación, dando soporte a lo discutido en la gráfica No 6, donde esta prueba de múltiples rangos permite verificar que no hay una diferencia significativa entre el control y el tratamiento CTR30 (**30 min – 3,6 mT**).

En la tabla No 9, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Tabla 9 - Prueba de Múltiple Rangos para la variable porcentaje (%) de Germinación por Tiempo de Exposición (min) - Método: LSD - 95,0 %

<i>Tiempo de Exposición (min)</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
CTR45	5	50,6	2,30911	x
CTR60	5	54,4	2,30911	xx
CTR15	5	58,4	2,30911	x
CTR30	5	71,2	2,30911	x
CTR0	5	72,8	2,30911	x

Lo discutido en las gráficas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se logra soportar desde el punto de vista de la estadística descriptiva también con la tabla No 10 donde se hace un análisis de comparación de medias entre todos los tratamientos. El asterisco que se encuentra al lado de los 7 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 10 - Diferencias estimadas entre cada par de medias de todos los tratamientos

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
CTR0 - CTR15	*	14,4	6,92273
CTR0 - CTR30		1,6	6,92273
CTR0 - CTR45	*	22,2	6,92273
CTR0 - CTR60	*	18,4	6,92273
CTR15 - CTR30	*	-12,8	6,92273
CTR15 - CTR45	*	7,8	6,92273
CTR15 - CTR60		4,0	6,92273
CTR30 - CTR45	*	20,6	6,92273
CTR30 - CTR60	*	16,8	6,92273
CTR45 - CTR60		-3,8	6,92273

* indica una diferencia significativa.

Así mismo en las gráficas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se discutió sobre el comportamiento de cada uno de los tratamientos, donde claramente se puede apreciar desde el punto de vista estadístico que hay una similitud para un valor- $P \leq 0,05$ entre el tratamiento CTR30 (30 min – 3.6 mT) y el CTR0 (Control), al igual que una similitud en el comportamiento en cuanto al número de semillas germinadas en los tratamientos CTR15 - CTR60 y CTR45 - CTR60 respectivamente bajo un nivel de confianza del 95%.

La figura 15 permite apreciar más claramente como es la agrupación en cuanto a los valores de medias, quedando en la parte derecha el tratamiento CTR30 (30 min – 3.6 mT) junto al CTR0 (Control).

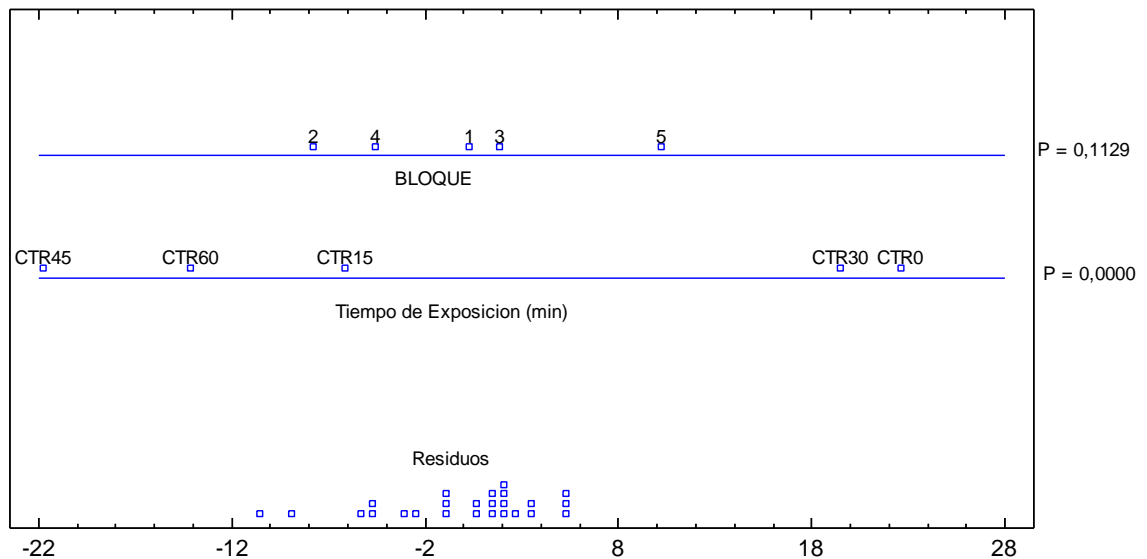
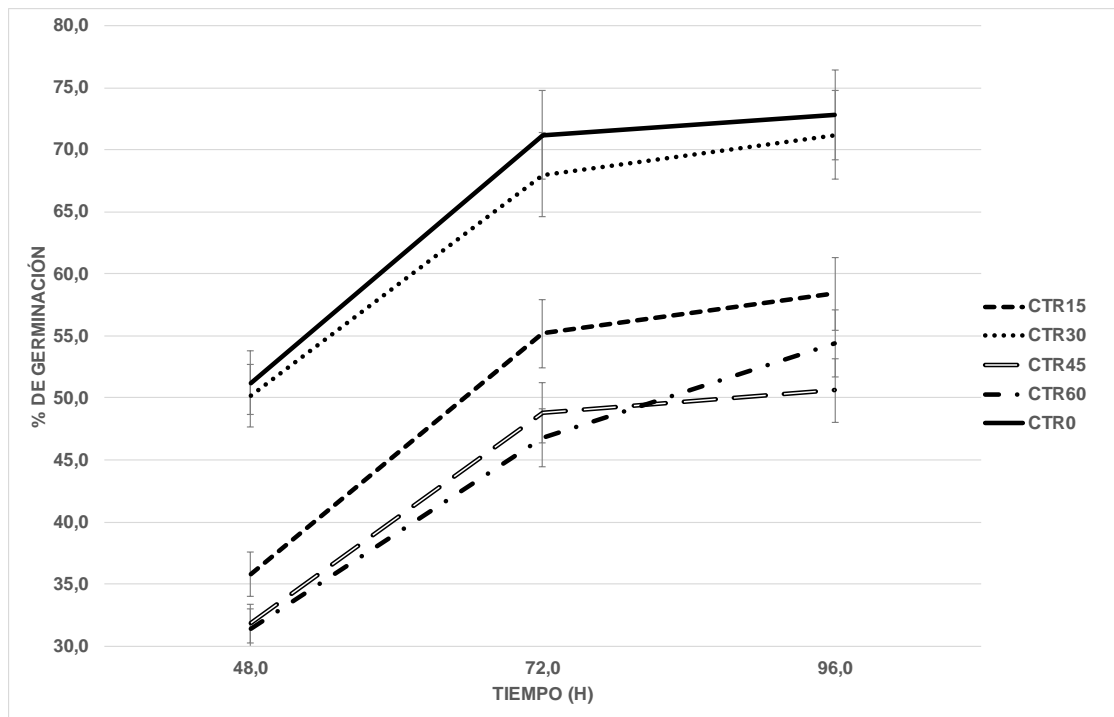


Figura No 15 - Anova gráfico para la variable % de Germinación.

De igual manera se pudo evidenciar que un tiempo de exposición prolongado (mayor a 30 min) a un campo electromagnético de 3.6 mT sobre la semilla provoca dificultades en el desarrollo del embrión y retrasa la germinación con lo cual puede a la larga traer consecuencias directas en la producción del fruto y/o madurez sexual de la planta, con un retraso de hasta el doble de tiempo trayendo consigo retrasos en la producción.

El gráfico No 8, muestra que entre el periodo de 72 a 96 horas no hay un cambio significativo en el porcentaje de germinación en los diferentes tratamientos por lo que se puede considerar que hubo un periodo cuasiestacionario en la variable porcentaje de germinación para este estudio realizado sobre semillas de arroz (*Oryza Sativa*) Variedad Coprocen 304.



Grafica No 8 - Comparativa del porcentaje de germinacion a las 72 y 96 horas.

11 CONCLUSIONES

- Los tratamientos CTR0 y CTR 30 con una intensidad de 3,6 militeslas (mT), brindaron mejores resultados en el porcentaje de germinación con respecto a los demás tratamientos.
- El tiempo de exposición al campo electromagnético, generó un efecto inhibitorio en la variable porcentaje de germinación de las semillas, para los tratamientos CTR 15, CTR45 y CTR60 respecto al control.
- La exposición de semillas de arroz (*Oryza sativa* L) var. COPROCEN 304 a campos electromagnéticos no generó un efecto significativo ($p \leq 0,05$) en el porcentaje final de germinación a las 96 horas, versus el control (CTR0) o semillas sin tratar.
- La intensidad del campo electromagnético de 3,6 mT generado por una corriente alterna (AC) a diferentes tiempos de exposición, no incidieron en el incremento del porcentaje de germinación en comparación al control.
- El tiempo de exposición considerado como un factor de incidencia en el estudio, juega un papel importante y tiene una influencia en el porcentaje (%) de germinación de objetos biológicos como las semillas de arroz (*Oryza Sativa*).
- Los tratamientos eficaces en la germinación se dan en las primeras horas de desarrollo de las semillas hasta las 72 horas, y por lo tanto la aplicación de los campos electromagnéticos, es efectiva solo en las primeras horas de eclosión de la semilla.
- En el estudio el control parece ejercer la misma acción que el tratamiento CTR30 (**30 min – 3.6 mT**), por lo tanto, si lo que se busca es tener un mayor porcentaje de germinación, en este caso, es mejor usar el tratamiento que se empleó como control, sin embargo, si este usa un mayor tiempo de exposición (más de 30 minutos) es mejor el tratamiento CTR30 (**30 min – 3.6 mT**).

12 RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones que faciliten analizar el comportamiento de las semillas de arroz (*Oryza sativa* L), utilizando campos electromagnéticos o campos magnéticos estacionarios generados por corriente continua (DC) de mayor intensidad en periodos de exposición cortos, es decir mayores a 3,6 mT e iguales o menores a 30 minutos de exposición.
- Realizar investigaciones en condiciones de campo para poder determinar el comportamiento real del cultivo de arroz en su etapa de germinación, así como en las demás etapas propias del desarrollo del cultivo hasta su producción.
- Realizar investigaciones con semillas sin imbibición sometidas a campos electromagnéticos de bajas frecuencias menores a 60Hz.
- Realizar estudios sobre la influencia de los campos electromagnéticos en el agua de riego, buscando medir si puede o no modificar sus propiedades y como estas modificaciones pueden estar relacionadas intrínsecamente con el buen desarrollo del cultivo.

13 BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE E.F., HURTADO D. J;** (2007) INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). Manual del Cultivo de Arroz. Manual No 66. P.p. 7-9.
- BINHI, N.** (2002). Magnetobiology Underlying Physical Problems. San Diego, California. Elsevier Science Ltd. P.p. 1.
- CARBONELL, M., MARTÍNEZ, E., AMAYA, J.** (2000). Stimulation of Germination in rice (*Oryza Sativa* L) by a Static Magnetic Field. *Electro and Magnetobiology*, Vol. 19 (1), P.p. 121 - 128.
- CARBONELL, M., MARTÍNEZ, E., GARCÍA, M., AMAYA, J.** (2005). Influencia de campos magnéticos estacionarios de 125mT y 250 mT en la germinación de semillas de girasol. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, Vol. 2 (1). P.p. 34-39.
- CASAÑA, S. B.** (2012). Instrumentación y Control de la Técnica de Magnetoimpedancia para Materiales Ferromagnéticos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México. P.p 42.
- CHENG K, D.** (1998). Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería. Editora Pearson. P.p 2.
- FEDEARROZ.** (2012). Manejo Integrado del Cultivo de Arroz. AMTEC. P.p 2.
- FERNANDEZ, F.** (1980). Crecimiento y Etapas de Desarrollo de la Planta de Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. P.p.5.
- FERRER DUBOIS, A., FUNG BOIX, Y., ISAAC, E., NOVOA, I.** (2007). Micropropagación de Cafeto con Campos Magnéticos: Una Alternativa Para la Conservación de Recursos Filogenéticos. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. *Ciencia en su PC*. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. (No. 1). P.p 42 - 53.

FLÓREZ, M, CARBONELL, M.V.; MARTÍNEZ, E., (2007). Exposure of maize Seeds to Stationary Magnetic Field: Effects on Germination and Early Growth. *Environmental and Experimental Botany* 59. P.p. 68-75.

FLÓREZ, M., MARTÍNEZ, E., CARBONELL, M., ÁLVAREZ, J., CAMPOS, A. (2014). Germination and initial growth of triticale seeds under stationary magnetic treatment. *Journal of advances in agriculture*, Vol. 2(No. 2), P.p. 72-79.

FREEMAN, D; GRAHAM, J; TRACY, M; EMLLEN, J; ALADOS, C. (1999). Developmental Instability as a means of assessing stress in plants: a case study using electromagnetic fields and soybeans", *Int. J. Plant Science*, Vol. 160, Issue 6, P.p.157-166.

GARCÍA, M.J. (1999). Concepto de Electromagnetismo. Universidad de Oviedo. P.p. 119 -120

GYAWALI, S. (2008). Design And Construction Of Helmholtz Coil For Biomagnetic Studies On Soybean. University of Missouri - Columbia, P.p. 2-3.

HALLYDAY, R. (2009). Fundamentos de Física: Electromagnetismo. Rio de Janeiro, RJ.: LTC - Livros Técnicos e Científicos. Editora Ltda. Vol.3, P.p. 249

INSUA A., PÉREZ.G.C., PÉREZ.M.I., SILVEIRA.P.E. (2009). Efecto del agua tratada magnéticamente Sobre los procesos Biologicos. *Revista Electrónica de Veterinaria*. Vol.10, No 4.

ISAAC, E., HERNÁNDEZ, A., DOMÍNGUEZ, A.,CRUZ, A. (2011). Effect of Pre-sowing Electromagnetic Treatment on Seed germination and Seedling Growth in Maize (*Zea Mays* L). *Revista Agronomía Colombiana*, Vol. 29 (2), P.p. 213 - 220.

MENDEZ, C. M. (2013). PLICACIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN SEMILLAS DE AJÍ (*Capsicum frutescens* L.). Santiago de Cali: Universidad del Valle.

MOON, J., CHUNG, H. (2000). Acceleration of Germination of Tomato Seed by Applying AC Electric and Magnetic Fields. *Journal of Electrostatic*, Vol.48, No.2, Pp.103–114.

PACHECO, A. D., AGUILAR H, C., OREA C, A., CARBALLO A, C., BAUTISTA Z, R., ORTIZ M, E. (2010). Semillas de Maíz bajo la Influencia de Irradiación de Campos Electromagneticos. *Revista Mexicana Fitotec*, Vol.33 (2), Pp.183 - 188.

RAJASEKHAR, E., NAGARAJU, M., RAISA, S.,JEEVAN, R. (2011). Effect of Different Static Electromagnetic Fields on Germination Speed of Mung Beans (*Vigna radiata*) Var.Radiata. *Seed Technology an International Journal Serving Seed Scientists and Technologists.*, Vol. 33 (2), P.p. 182 - 190.

SEARS, Z. (2009). *Física Universitaria con Física Moderna* (12 ed., Vol. 2). Mexico: Pearson Educación. P.p. 923.

SOUZA, A; PORRAS, E; CASATE, R. (1999). Efecto del tratamiento magnético de semillas de tomate (*lycopersicon esculentum mill*) sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”*, Vol. 14 (3), P.p.1-8.

TORREZ, C., DIAZ, J., CABAL, P. (2008). Magnetic fields effect over seeds germination of rice (*Oryza sativa L.*) and tomato (*Solanum lycopersicum L.*). *Revista Agronomía Colombiana*, Vol. 26 (2), P.p. 177 - 185.

UENO, S. (1996). *Biological effects of magnetic and electromagnetic fields*. Plenum Press, P.p. 1- 27.

VASQUEZ, V., GOMEZ, M., SEGURA, B., ROSALES, A. (2006). Efectos del campo magnético en material orgánico. *Revista Colombiana de Física.*, Vol. 38 (3), P.p. 2.