

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIEROS  
ELECTRÓNICOS**

**TEMA:  
ANÁLISIS DEL USO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN LA  
IRRADIACIÓN DEL SUELO PARA DETECTAR Y ELIMINAR LA  
PRESENCIA DE NEMATODOS**

**AUTORES:  
JOAN SEBASTIÁN POMA MARÍN  
JUAN CARLOS QUILUMBA CUMBA**

**TUTOR:  
CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES**

**Quito, enero de 2016**

**Declaratoria de coautoría del docente tutor/a**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación ANÁLISIS DEL USO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN LA IRRADIACIÓN DEL SUELO PARA DETECTAR Y ELIMINAR LA PRESENCIA DE NEMÁTODOS, realizado por Joan Sebastián Poma Marín, y Juan Carlos Quilumba Cumba, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero de 2016



Carlos Augusto Cuichán Morales

Cédula de identidad: 1714389721

### Cesión de derechos de autor

Nosotros Joan Sebastián Poma Marín y Juan Carlos Quilumba Cumba, con documentos de identificación N° 1718422833 y 1717074163 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: ANÁLISIS DEL USO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN LA IRRADIACIÓN DEL SUELO PARA DETECTAR Y ELIMINAR LA PRESENCIA DE NEMATODOS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Nombre: Poma Marín Joan Sebastián  
Cédula: 1718422833  
Fecha: 12/01/2015



.....  
Nombre: Quilumba Cumba Juan Carlos  
Cédula: 1717074163

# Análisis del uso de ondas electromagnéticas en la irradiación del suelo para detectar y eliminar la presencia de nematodos

Cuichán Morales Carlos<sup>1</sup>, Poma Marín Sebastián<sup>2</sup>, Quilumba Cumba Juan<sup>3</sup>

*Área de Ciencia y Tecnología, Universidad Politécnica Salesiana*

*Rumichaca y Morán Valverde, Quito-Ecuador*

<sup>1</sup>ccuichan@ups.edu.ec

<sup>2</sup>jpomam@est.ups.edu.ec

<sup>3</sup>jquilumba@est.ups.edu.ec

## Resumen

Los nematodos fitoparásitos son responsables de grandes pérdidas en la producción agrícola a nivel mundial. En este trabajo se presenta el análisis de una alternativa de control y detección de estos microorganismos haciendo uso de ondas electromagnéticas. Se realizó la comprobación experimental para la eliminación, mediante la irradiación de campo magnético generado por un electroimán alimentado por una señal pulsante de corriente variable para obtener diferentes valores de densidad de flujo magnético B. La tasa de mortalidad fue observada a tres valores de densidad de flujo magnético diferentes a los cuales se obtuvo como resultado una importante reducción en el número de nematodos frente a una muestra testigo sin irradiación. Para la detección de nematodos se utilizó el algoritmo de las diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD) llevado a simulación en el software MATLAB, el algoritmo a través de la simulación permite producir una determinada onda incidente que al tener contacto con el microorganismo genera una variación en la amplitud de la onda de campo eléctrico irradiada la cual es reflejada indicando la detección del mismo, se consideró dos valores de amplitud de onda incidente verificando los valores de onda reflejada para cuatro microorganismos con características similares a la de los nematodos en diferentes tipos de estadio.

**Palabras Clave:** densidad de flujo magnético, detección, eliminación, nematodos, ondas electromagnéticas.

## Abstract

The plant-parasitic nematodes are responsible for heavy losses in agricultural production worldwide. This paper presents the analysis of an alternative control and detection of these microorganisms by use of electromagnetic waves. Was the experimental verification for the elimination, by the irradiation of magnetic field generated by an electromagnet fed by a pulsating variable current signal for various values of density of magnetic flux B. The mortality rate was observed at three values of magnetic flux density different to which resulted in a significant reduction in the number of nematodes against a sample control without radiation. For the detection of nematodes used algorithm of the finite-difference-domain (FDTD) weather led to a simulation in the MATLAB software, algorithm simulation allows to produce a certain incident wave that have contact with the micro-organism produces a variation in the amplitude of the radiated electric field wave which is reflected indicating the detection of the same two values of amplitude of incident wave was considered by checking the values of wave reflected for four micro-organisms with characteristics similar to the nematodes in different types of stadium.

**Keywords:** magnetic flux density, detection, elimination, nematodes; electromagnetic waves.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola se ha visto afectada por varios aspectos tales como: el uso intensivo de monocultivos y el empleo de tecnologías contaminantes como fertilizantes y plaguicidas. Los plaguicidas al ser expuestos al suelo, a través de sustancias químicas, producen la degradación de dicho suelo, malogrando los cultivos y a su vez contaminando la producción agrícola, exponiendo de esta manera la salud de las personas. En el Ecuador, 1 de cada 10 hectáreas con cultivos permanentes se les aplica plaguicidas con un grado de toxicidad extremadamente fuerte, aunque esto no es permitido se lo realiza debido a que las plagas generan resistencia a plaguicidas de baja toxicidad. [1]

La presencia de plagas es un factor determinante para que el hombre opte por el uso de plaguicidas. Entre estas plagas se destaca la presencia de nematodos fitoparásitos figura 1, que son de tamaño microscópico, tienen una forma cilíndrica y son similares a los gusanos; los nematodos se encuentran inmersos sobre los cultivos y en su morfología se aprecia un estilete que es el instrumento con el cual se introducen en las raíces de los cultivos provocándoles deformaciones, lo que origina un decrecimiento en la producción de los cultivos. Las pérdidas de cosechas anuales estimadas debidas a nematodos en la producción agrícola se aproximan al 11% a nivel mundial. [2]

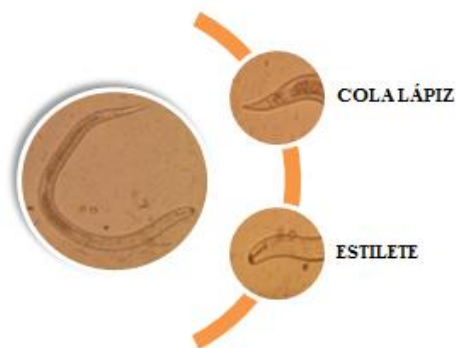


Fig. 1 Morfología de un nematodo del género globodera macho

Tras conocer el efecto de los nematodos sobre los cultivos y la forma de control tradicional, se ha visto la necesidad de emplear otras técnicas amigables. En el presente trabajo se hace uso de ondas electromagnéticas, las mismas que pueden reemplazar a los plaguicidas, brindándole estabilidad al suelo.

Considerando los antecedentes, para la eliminación de los nematodos durante la experimentación se produce una onda electromagnética donde su

componente de campo magnético es pulsante a determinada frecuencia por medio de la variación de la corriente. El campo magnético se radia sobre muestras de forma directa verificando la tasa de mortalidad de los nematodos.

Como agente de experimentación se elige el género de nematodos Globodera macho, nematodo endoparásito que está presente principalmente en los cultivos de papa y es práctico de encontrar, de tal manera que se obtengan muestras de nematodos que sean expuestas a la radiación.

Para la detección se usa un modelo matemático llevado a simulación en el software Matlab, considerando parámetros eléctricos importantes como los de la permeabilidad (capacidad de un medio para que por él pueda atravesar el campo magnético) y permitividad (describe como el campo eléctrico afecta sobre un medio) [3]. Estos parámetros son escasos para nematodos, por lo que los datos que se emplean en los parámetros eléctricos son aproximados a microorganismos vivos que tienen características similares a estos organismos.

## II. FUNDAMENTACIÓN

### A. Ondas electromagnéticas en la agricultura

La solución de problemas agrícolas haciendo uso de ondas electromagnéticas se ha venido analizando y estudiando varias décadas atrás como mecanismos alternos a productos químicos usados en el control de plagas. Se han generado diversos estudios con ondas electromagnéticas tales como el secado de productos, el tratamiento de semillas y control de plagas [4].

Respecto al control de nematodos, la literatura plantea mecanismos de RF y microondas como métodos principales en la erradicación de estos organismos por medio del calentamiento dieléctrico [5]. La radiación por microondas es la más analizada para este propósito mediante el uso de 2450 MHz de frecuencia se logra un porcentaje alto de mortalidad con tiempos de exposición de entre 30 a 120 segundos [6], la potencia es factor importante para lograr un calentamiento en tan poco tiempo de exposición manteniéndose en el orden de los KW, logrando un alto grado de mortalidad de nematodos.

En el país el uso de microondas como control de estas plagas generó el desarrollo de un sistema de irradiación con un magnetron de potencia variable de 1000W máximos, para control de nematodos que proliferan en la madera [7].

Por otra parte existen estudios que permiten tratar el agua por medio de campos magnéticos para el riego de cultivos, controlando de esta manera la proliferación de nematodos agalladores como el *meloidogyne spp* sobre los cultivos, con inducciones que se hallan entre los 0.05 T a 0.07 T [8].

Los estudios de radares que hacen uso del algoritmo FDTD, han generado métodos de detección en varios campos, en medicina el algoritmo permite localizar y detectar tumores de mama [9], por otra parte radares para localización de minas terrestres de igual manera hacen uso de este algoritmo [10], para la agricultura trabajos revelan el estudio de radares para la detección de los principales nutrientes del suelo [11].

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el presente trabajo se lo separó en dos partes una perteneciente a la detección y la otra perteneciente a la experimentación para la eliminación de nematodos, se utilizó diferentes métodos y materiales para ambos casos, los cuales se describen en los apartados siguientes.

#### A. Detección de nematodos

Para la detección de nematodos se manejó una técnica común de radares de subsuelo, basada en el principio de onda reflejada y onda incidente. Dicha técnica se destaca por trabajar a frecuencias de las microondas o rayos x.

El algoritmo matemático FDTD, permite interpretar el comportamiento en diferentes medios de los campos electromagnéticos, puntualmente de la componente de campo eléctrico, permitiendo el análisis de la componente incidente y reflejada sobre un medio.

Una vez obtenidos los recursos necesarios se llevó a cabo la simulación mediante el software de computadora MATLAB definiendo valores de permitividad tanto del suelo y aproximando este valor a organismos de características semejantes a los nematodos. Los organismos tomados como referencia para usar en la detección fueron el gorgojo del frijol, el gorgojo del arroz, la polilla de la manzana con constantes dieléctricas de 30, 46 y 60 respectivamente, [12]. También como referencia se tomó al nematodo *Caenorhabditis elegans* que posee una constante dieléctrica de 80 [13].

Se consideró a estos organismos ya que al igual que los nematodos fitoparásitos, estos se nutren con alimentos vegetales, además algunos se encuentran en

estados morfológicos de larvas, y todos presentan aspectos semejantes como su tamaño.

En el software se generó un pulso Gaussiano que lleva una dirección fija, a una frecuencia de 1.7 Ghz, esta al entrar en contacto con el nematodo efectúa un cambio en su trayectoria, siendo esta la onda reflejada que regresa al emisor presentando un cambio en su amplitud. Esta onda reflejada será la que brinde la información de que el objeto ha sido identificado. Se tomó valores de amplitud de 0.5 y 0.8 (V/m) para la onda incidente para asegurar la distinción del nematodo sobre otros objetos u organismos que pueden presentar una determinada onda reflejada.

#### B. Eliminación de nematodos

La eliminación se la llevo a cabo de manera experimental, tras una serie procesos que permitieron encontrar, recolectar, e irradiar los nematodos. A continuación se detalla el procedimiento seguido durante la experimentación, así como los instrumentos que fueron necesarios para el tratamiento.

##### 1) Obtención de muestras

**1.1) Recolección de muestras:** Las muestras de tierra para la extracción de nematodos fueron tomadas de un terreno de papa hábitat donde prolifera el nematodo globodera.

**1.2) Extracción de nematodos:** Con la tierra contaminada con nematodos, se utilizó un método denominado filtro de algodón, con el cual al cado de 12 a 24 horas se obtiene el agua con nematodos.

**1.3) Identificación de nematodos:** En el suelo no solo habitan nematodos fitoparásitos sino que también son el hogar de otras especies de microorganismos. Por tal motivo se identificó los fitoparásitos de acuerdo a su morfología como lo indica la figura 1.

**1.4) Pesca y Recolección:** Con la identificación y reconocimiento de estos organismos, se los atrapó con ayuda de un microscopio estereoscopio, una caja Petri y de un mango de metal o madera, en cuyo extremo se debe añadir con pegamento: una ceja, una pestaña o puede usarse un pelo de cerdo seccionado longitudinalmente [14]. Atrapados los nematodos se recolectó en Siracusas dos muestras con 20 nematodos respectivamente, siendo una la que sirvió como testigo utilizada para las respectivas comparaciones como lo muestra la figura 2.

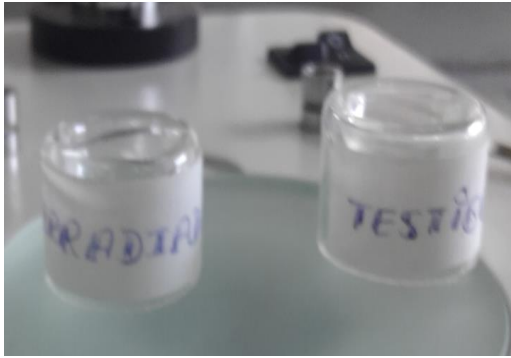


Fig. 2 Muestras recolectadas con nematodos

## 2) Equipos y circuitos usado en el proceso de experimentación

Se utilizó un electroimán de corriente continua con un voltaje de 0–24 Voltios como elemento principal en la experimentación. Además fue necesario el armado de circuitos que permitieron controlar ciertos aspectos dentro del trabajo experimental.

**2.1) Control de corriente:** Para el control de corriente sobre el electroimán se armó un circuito amplificador de corriente como se aprecia en la figura 3, colocado a la salida del generador, de esta manera se consiguió obtener un valor específico de corriente y así mismo un valor de densidad de flujo magnético.

**2.2) Medición del flujo magnético:** Fue importante precisar la densidad de campo magnético que genera el electroimán, y para ello se realizó un circuito con un sensor lineal de efecto hall, con el integrado A3503, el cual permitió medir la intensidad a la que se irradia, el esquema del circuito muestra en la figura 4.

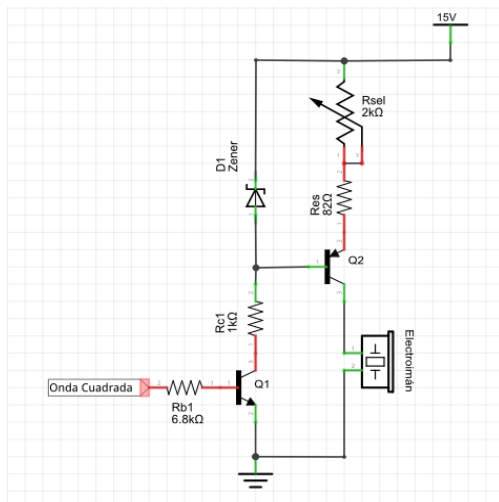


Fig. 3 Esquema del circuito para el control de corriente

El valor del voltaje inicial que mostró el voltímetro fue la mitad con respecto al voltaje generado por la fuente  $V_{cc}$  siendo este de 2,53 V. Al acercar el electroimán hacia el sensor el voltaje visualizado en el voltímetro aumenta en una relación de 3,125 mV por cada Gauss, se varió el potenciómetro por consiguiente vario la corriente con lo cual se tomaron 5 valores de densidad de flujo magnético expresados en la tabla 1.

TABLA I

VALORES DE VOLTAJE FINALES  $V_f$  OBTENIDOS CON EL SENSOR Y CÁLCULO DEL B

Resistencia (Ohms)	$V_i$ (V)	$V_f$ (V)	$V_f - V_i$ (mV)	B (Gauss)
1850	2,53	2,58	50	16
1350	2,53	2,6	70	22,4
900	2,53	2,62	90	28,8
450	2,53	2,66	130	41,6
5	2,53	2,9	370	118

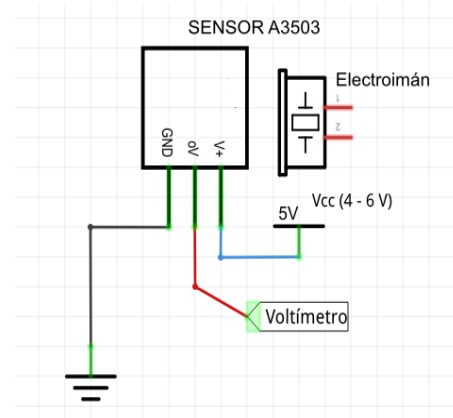


Fig. 4 Esquema del circuito para la medición de densidad de campo

## C. Descripción para la irradiación de muestras

En funcionamiento el circuito amplificador de corriente, el generador de funciones y la fuente de poder, teniendo las dos muestras testigo e irradiada, los 20 nematodos colocados en ellas se irradió con el electroimán sobre la Siracusa como se aprecia en la figura 5, la muestra señalada como irradiada a 7 mm de distancia. La señal enviada al amplificador fue una señal pulsante cuadrada, y el voltaje de alimentación fue de 15 Vdc.

#### IV. RESULTADOS

##### A. Resultados de la eliminación de nematodos

En la tabla II se muestran datos de la experimentación previa a varias frecuencias sobre 5 muestras la cual permitió establecer una frecuencia de 20 Hz como base para las respectivas repeticiones, ya que a esta frecuencia se obtuvo un mayor número de nematodos inmóviles respecto a la muestra testigo, además fueron escogidos tres valores de densidad de

flujo magnético 118, 41,6 y 22,4 Gauss, con los cuales se irradió durante un periodo de 6 horas.

La tabla III muestra el resultado de la observación en las muestras testigo, mientras que la tabla IV muestra el resultado sobre las muestras irradiadas.

TABLA II  
DATOS DE EXPERIMENTACIÓN A VARIAS FRECUENCIAS CON EL ELECTROIMÁN

TIPO DE MUESTRA	NEMATODOS POR MUESTRA	FRECUENCIA DE IRRADIACIÓN	TIEMPO DE IRRADIACION (Min)	NEMATODOS POST IRRADIACION	
				MÓVILES	INMÓVILES
Testigo	20	*****	0	20	0
Irradiada	20	20 Hz	180	14	6
Testigo	20	*****	0	20	0
Irradiada	20	50 Hz	180	18	2
Testigo	20	*****	0	19	1
Irradiada	20	100 Hz	180	16	4
Testigo	20	*****	0	19	1
Irradiada	20	150 Hz	180	19	1
Testigo	20	*****	0	20	0
Irradiada	20	50 Khz	180	19	1

TABLA III  
VALORES OBTENIDOS EN LA MUESTRA TESTIGO

N° DE MUESTRA TESTIGO	NEMATODOS POR MUESTRA	NEMATODOS TRAS 6 HRS DE OBSERVACIÓN	
		MÓVILES	INMÓVILES
1	20	19	1
2	20	19	1
3	20	19	1

TABLA IV  
VALORES OBTENIDOS DE LA MUESTRA IRRADIADA

N° DE MUESTRA IRRADIADA	NEMATODOS POR MUESTRA	CAMPO MAGNETICO (Gauss)	NEMATODOS TRAS 6 HRS DE IRRADIACIÓN	
			MÓVILES	INMÓVILES
1	20	22	17	3
2	20	42	17	3
3	20	118	10	10



TABLA V  
DATOS DE SIMULACIÓN PARA DETECCIÓN DE NEMATODOS

MICROORGANISMO APROXIMADO	FASE DE VIDA	CONSTANTE DIELECTRICA ( $\epsilon'$ )	ESPACIO DE MUESTRA (cm)	AMPLITUD ONDA INCIDENTE (V/m)	AMPLITUD DE LA ONDA REFLEJADA (V/m)
Gorgojo del Frijol	Larva	30	10	0.5	0,140148186
				0.8	0,065461988
Gorgojo del Arroz	Adulto	46	10	0.5	0,150433956
				0.8	0,053248477
Polilla de manzana	Larvas de quinto estadio	60	10	0.5	0,179286315
				0.8	0,065116926
Caenorhabditis elegans (nematodo)	Adulto	80	10	0.5	0,117049019
				0.8	0,024470258

### B. Resultados de la detección de nematodos

La tabla V muestra los valores de amplitud de la onda reflejada respecto a la amplitud de la onda incidente obtenido en la simulación, además se aprecian las fases de vida en los cuales se encuentra cada microorganismo y su respectivo valor de constante dieléctrica. No se consideró realizar el análisis de las condiciones de la onda reflejada teniendo variación adicional en la amplitud del campo eléctrico incidente ni de la distancia de la muestra por cuanto este estudio no contempla la diferenciación de los nematodos con otros elementos u organismos como en otros trabajos relacionados.

## V. DISCUSIÓN

Gurcharan S. y Jimmy R. en su estudio del control de nematodos parásitos del suelo por medio de microondas evidencian una tasa de mortalidad del 99% sobre el nematodo *Rotylenchulus* con un tiempo estimado de 45 segundos y a una profundidad de 6 cm.

El presente trabajo muestra que a una determinada densidad de flujo magnético que se aplica directamente sobre los nematodos *Globodera*, genera una tasa de mortalidad aproximada del 50% a partir de un tiempo de irradiación considerado de 6 horas.

La irradiación se la realiza en muestras de nematodos contenidos en agua donde es factible la distinción de nematodos inmóviles de los móviles, ya que al efectuar el proceso sobre muestras con suelo infestado de nematodos se presentan inconvenientes al momento de extraer los nematodos para su conteo, donde se observa que el número de nematodos de la muestra irradiada a comparación de la muestra testigo arrojan datos

inconsistentes, razón por la cual no se tiene la certeza de que el método de irradiación ocasione la mortalidad de los nematodos.

En el proceso de irradiación se vio la necesidad de mantener con vida a los nematodos durante el tiempo de la experimentación, es por ello que se recurre al uso de fragmentos de raíces provenientes de las plantas de papa que sirven como alimento, de esta manera se descarta la muerte de forma natural de los nematodos durante las diferentes pruebas.

Para llevar a campo el proceso de eliminación de nematodos sobre el suelo, es necesario el diseño e implementación de un prototipo de mecanismo que genere una densidad de flujo magnético necesaria para que incida de manera perjudicial ante estos organismos, con un estudio previo del terreno se conoce el porcentaje de nematodos sobre el mismo; considerando estos antecedentes se realiza el tratamiento con el mecanismo de irradiación sobre una porción de terreno y durante un tiempo determinado, finalizado el tratamiento se procede nuevamente a un análisis del suelo irradiado con lo cual se observa el porcentaje de mortalidad del mecanismo sobre los nematodos.

## VI. CONCLUSIONES

El proceso de irradiación con una densidad de flujo de 118 Gauss, fue la más incidente para el control de nematodos con 10 nematodos inmóviles respecto a 1 de la muestra testigo.

Al disminuir la densidad de flujo magnético el número de nematodos inmóviles fue menor tanto para los 41.6 y los 22 Gauss respectivamente, teniendo

únicamente 3 nematodos inmóviles para ambos casos, con una diferencia de 7 nematodos respecto a la prueba más exitosa.

Con el polo sur del electroimán durante el proceso experimental, fue donde el mayor número de nematodos inmóviles se obtuvo.

Aproximando el valor de constante dieléctrica para los nematodos, con amplitudes de 0.5 y 0.8 (V/m) a organismos similares se produjo una onda reflejada con menor amplitud, siendo este valor menor al aplicar una amplitud de 0.8.

## VII. RECOMENDACIONES

La irradiación en la experimentación se realizó en nematodos filiformes, sin embargo el proceso podría realizarse para futuros trabajos con nematodos en otras instancias.

Valores de constante dieléctrica altos, influyen en la amplitud de la onda incidente por lo que a valores menores a 0,4 (V/m) la onda reflejada se distorsiona.

Apreciando la tendencia de mortalidad respecto al campo, el uso de un electroimán más potente que genere un campo mayor, sería de mayor utilidad para experimentaciones futuras, cuidando no se excedan los 400 mT (4000 Gauss) de densidad de flujo magnético, cifra en la cual se han determinado efectos negativos para la salud.

La exposición a campos elevados puede conllevar problemas a la salud, por lo cual se sugiere no exceder los límites recomendados por la OMS y la ICNIRP.

## VIII. AGRADECIMIENTO

Se agradece al departamento de Fitopatología de la estación experimental Santa Catalina del INIAP, por la capacitación brindada. Se agradece a la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, por la colaboración en cuanto a la disposición de los laboratorios para el desarrollo de la experimentación del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] "Uso de plaguicidas en la agricultura," pp. 1–15, 2013.
- [2] "Nematodos parásitos de plagas en suelos agrícolas," *Phytoma: La revista Profesional de Sanidad Vegetal*, 2003. [Online]. Available: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6314>
- [3] M. de la S. Flores Vidal, "Reflectividad en estructuras compuesto-metal. Permitividad eléctrica y permeabilidad magnética efectivas de compuestos." Universidad Complutense de Madrid, 06-May-2013.
- [4] S. O. Nelson, "Potential Agricultural Applications for Microwave Energy," *AMPC Asia-Pacific Microw. Conf.*, vol. 1, pp. 55–58, 1992.
- [5] R. R.-L. M. E. N. Soto-Reyes, Sosa-Morales, "Modelación del calentamiento dieléctrico ( microondas y radiofrecuencia ) en sistemas alimenticios modelo," *Temas Sel. Ing. Aliment.*, vol. 6–2, pp. 19–31, 2012.
- [6] B. R. Kerry, "R Hizedosphere I Nteractions and the E Xploitation of M Icrobial a Gents for the B Iological C ontrol of P Lant -P Arasitic N Ematodes," pp. 5–12, 2000.
- [7] E. Comercio, "Sistema de onda corta elimina las plagas que hay en la madera," 2013. [Online]. Available: <http://www.elcomercio.com/tendencias/tecnologia/sistema-onda-corta-elimina-plagas.html>.
- [8] G. M. Limonta, "Efecto del agua tratada con campo magnético estático sobre *Meloidogyne spp.* en *Cucumis sativus* en condiciones de cultivo protegido," vol. 38, no. 4, pp. 83–87, 2011.
- [9] H. Wang, M. E. Bialkowski, F. Liu, and S. Crozier, "FDTD Study of an UWB Radar Technique for Breast Tumor Detection," *2006 Int. Conf. Microwaves, Radar Wirel. Commun.*, vol. 2, no. 2, pp. 1033–1036, 2006.
- [10] I. Giannakis, A. Giannopoulos, and N. Davidson, "Realistic modelling of ground penetrating radar for landmine detection using FDTD," *Proc. 15th Int. Conf. Gr. Penetrating Radar*, no. JUNE 2014, pp. 954–959, 2014.
- [11] G. Alexandra, F. Carrión, C. Xavier, S. Freire, C. Augusto, and C. Morales, "Análisis y Simulación del Uso de Ondas Radioeléctricas para la Detección de la Concentración de los Principales Nutrientes en el Suelo," pp. 1–11.
- [12] S. Jiao, J. A. Johnson, J. Tang, G. Tiwari, and S. Wang, "Dielectric properties of cowpea weevil, black-eyed peas and mung beans with respect to the development of radio frequency heat treatments," *Biosyst. Eng.*, vol. 108, no. 3, pp. 280–291, 2011.
- [13] D. de Pomerai, "Mobile Telecommunications and Health Research Programme Cellular and Sub-cellular Effects of Microwave Radiation in the Model Nematode *Caenorhabditis elegans*," *Telecommun. Mob.*
- [14] A. Van, R. Eguiguren, M. Défaz, J. Revelo, and G. Cedeño, "Técnicas de Laboratorio en Nematología," Primera., 1984, p. 21.