

**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 PARA
SIMULACIÓN DE LA DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DEL HONGO
(BOTRYTIS CINEREA)**

**AUTORES:
RAMIRO ENRIQUE GONZÁLEZ CAPELO
CRISTIAN DANIEL MANGUIA MORA**

**TUTOR:
CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES**

Quito, diciembre del 2015

DEDICATORIA

A mis padres Celina Capelo y Ramiro González que han sido un soporte fundamental para lograr cumplir mis metas y anhelos, ya que han estado presentes en cada uno de mis logros, triunfos, derrotas y tristezas, dándome su apoyo incondicional. A mis hermanas Sandra, Tatiana y Verónica por darme ánimos y estar siempre a mi lado para de esta manera nunca darme por vencido y seguir luchando por lo que he querido.

A mi novia Daniela Armendáriz por estar siempre a mi lado en lo profesional, laboral y en nuestro diario vivir brindándome su apoyo incondicional en todo momento y por darme mi mayor alegría mi futura hija.

A todos mis amigos en general con los cuales he compartido a lo largo de mi carrera universitaria que han sido un gran apoyo durante todos estos años.

Ramiro Enrique González Capelo

A mis padres Marina Mora y Patricio Manguia que han sido mi razón fundamental para lograr mis metas y objetivos, que siempre han estado presentes en cada uno de mis actos, logros, triunfos, derrotas, tristezas brindándome su apoyo incondicional, dándome su confianza, seguridad y la mejor formación académica y moral para así ser una gran persona y un excelente profesional, todo esto es por ustedes.

A mi hermana: Amira Anahí por su apoyo y por estar siempre a mi lado ya que con cada una de sus locuras hacían del peor momento un gran momento llenando de alegría mi vida. Ella es mi mejor motivación para el futuro para que siga las mismas buenas enseñanzas de mis padres conjuntamente con las mías.

A mis amigos que han estado presentes en esta etapa de mi vida con los cuales compartí momentos, experiencias, valores, logrando una amistad sincera.

Cristian Daniel Manguía Mora

AGRADECIMIENTO

Agradecemos especialmente al Ing. Carlos Augusto Cuichán tutor del presente trabajo por su gran colaboración, ayuda y apoyo en el desarrollo de esta investigación ya que fue fundamental para no solo alcanzar los objetivos propuestos, sino también por fomentar esos valores de investigación en cada uno de nosotros. De igual manera agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por los años de una gran educación y por fomentar valores éticos, morales que lograron guiarnos por el camino correcto y no solo ser unos grandes profesionales sino grandes humanos y personas. A todo su equipo de Docentes que lograron transmitir de manera correcta todos sus conocimientos siendo estos de gran utilidad para una vida profesional.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Ramiro Enrique González Capelo con documento de identificación N° 1716485345 y Cristian Daniel Manguia Mora con documento de identificación N° 1720434420, manifestamos nuestra voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado/titulación intitulado: ANÁLISIS DEL USO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA LA SIMULACIÓN DE LA DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DEL HONGO (BOTRYTIS CINEREA), 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 mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: Ramiro Enrique González Capelo

Cédula: 1716485345

Quito, diciembre 2015

Firma



Nombre: Cristian Daniel Manguia Mora

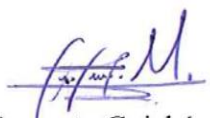
Cédula: 1720434420

Quito, diciembre 2015

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Carlos Augusto Cuichán Morales declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL USO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA LA SIMULACIÓN DE LA DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DEL HONGO (BOTRYTIS CINEREA), realizado por Cristian Daniel Manguia Mora y Ramiro Enrique González Capelo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, diciembre 2015



Carlos Augusto Cuichán Morales

Cédula de identidad: 1714389721

ANÁLISIS DEL USO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA SIMULACIÓN DE LA DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DEL HONGO (BOTRYTIS CINEREA)

Cristian Manguia
Departamento de Ingeniería
Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito-Ecuador
cmanguia@est.ups.edu.ec

Ramiro Gonzalez
Departamento de Ingeniería
Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito-Ecuador
rgonzalezc@est.ups.edu.ec

Carlos Cuichán
Departamento de Ingeniería
Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito-Ecuador
ccuichan@ups.edu.ec

Abstract— This article discusses the use of electromagnetic waves in order to detect and eliminate the fungus (*Botrytis Cinerea*) of crops. For detection is used the algorithm FDTD (finite difference time domain) modeling the propagation of electromagnetic waves in a linear plane and its reflection in passing from one medium to another is used, from Maxwell's equations. For the elimination of electromagnetic waves irradiation is done using a radio system consisting of an "X-Band-Interface-Selective", a transmitter card "DRO dielectric resonant oscillator", a receiver "X-Band-LNC", "Yagi antenna 3 elements" "transfer" a microstrip antenna "receiving" a SMA-N adapter to connect the antenna to the transmitter and receiver directly on samples considering a witness on which the results are compared. When performing experiments could verify delimitation and removal irradiated samples to compare with the original witness.

Keywords— Electromagnetic waves, FDTD, fungus (*Botrytis Cinerea*), detection, elimination.

I. INTRODUCCIÓN

El manejo de plagas es un tipo de problemática que se presenta a nivel mundial en los cultivos y es uno de los principales inconvenientes para la mayoría de los agricultores [1], las pérdidas afectan tanto en costos de producción como en el control de los mismos, limita su comercialización por la calidad de los productos debido a que en la actualidad los estándares tienen que cumplir con la

exigencias de procesos más limpios y libres de residuos tóxicos [2].

Dentro de los organismos que atacan a los cultivos están los hongos filamentosos, los cuales no tienen clorofila y buscan una planta hospedera para obtener su alimento [3].

Los hongos son más grandes que las bacterias y se reconocen con mayor facilidad, algunas de las estructuras que producen se pueden ver a simple vista y sirven para su identificación [3].

Las esporas se diseminan fácilmente por medios mecánicos, corrientes de aire y el agua, por ejemplo: los hongos se transfieren fácilmente de los sustratos o suelos contaminados a las plantas, por lo que es necesario eliminarlas ya que son fuente de inóculos (transmisores de la enfermedad). [3]

Existen diversos tipos de hongos, uno de los más comunes es *Botrytis Cinerea* que se manifiesta en los cultivos agrícolas ocasionando que los frutos, flores y hojas presenten un cuadro de podredumbre, posee un proceso de crecimiento en la etapa de floración del cultivo hasta su periodo de cosecha. [4] Por lo cual se han empleado diversos tipos de fungicidas para su control o erradicación.

El fungicida controla enfermedades que afectan al cultivo durante su desarrollo y la calidad de los mismos, además eliminan a los hongos dañando su membrana celular, inactivando enzimas o proteínas

esenciales e interfiriendo con procesos claves de su desarrollo tales como la producción de energía o la respiración. [5].

Una alternativa viable para evitar el uso de fungicidas es la utilización de ondas electromagnéticas, ya que se ha demostrado que reducirían en un gran porcentaje la contaminación de alimentos que estos ocasionan en los cultivos y esto a su vez permitiría el aumento de la producción agrícola y económica. [6]

La radiación electromagnética transfiere energía de una fuente a un blanco sin necesidad de un medio. [7] La energía electromagnética puede ser absorbida por átomos ionizados a un blanco o, a través de un cambio de vibración inducida a las partículas dentro de la materia. [7] De esta manera, se incrementa la temperatura debido a la fricción interna. Existen fuentes naturales y artificiales que generan energía electromagnética la cual se transforma en ondas. [7]

El uso de ondas electromagnéticas en algunos países se ha convertido en una herramienta de vital importancia para el control de plagas en los cultivos.

En el presente trabajo se utiliza el algoritmo FDTD (diferencias finitas en el dominio del tiempo) que permite analizar la reflexión de una onda electromagnética sobre un medio mediante la onda incidente y onda reflejada, con esto se puede simular la detección de objetos en un plano lineal, considerando las características del hongo como medio de reflexión.

La frecuencia para la eliminación de patógenos entre los cuales se encuentran hongos, virus, bacterias y parásitos varía entre 50 y 500 KHz [8]. Con una densidad de potencia para hongos y esporas en un rango de 26400 a 99000 mW seg/cm² [9]. Cada patógeno es sensible a un rango de frecuencia característico por lo que se puede tratar los cultivos infectados en su etapa inicial exponiéndolos a la onda electromagnética por un intervalo de tiempo. [8]

II. METODOLOGIA

A. Medio a Tratar

Se eligió como medio a tratar la fresa ya que luego de la uva es la fruta con más vulnerabilidad ante la aparición de este hongo, además hoy en día sus cultivos se los realiza durante todo el año y se han extendido por toda la Sierra Ecuatoriana.

B. Método de simulación para la detección utilizando el algoritmo FDTD.

FDTD resuelve las ecuaciones de Maxwell modelando directamente la propagación de las ondas electromagnéticas [10], dichas ecuaciones

son utilizadas en su forma diferencial e integral, siendo la primera la más utilizada en la resolución de problemas matemáticos.

La simulación de la detección del hongo (*Botrytis Cinerea*), se utiliza el algoritmo FDTD considerando valores de permitividad semejantes a los obtenidos en muestras del hongo (figura 1) y de frecuencia en el rango empleado por la mayoría de sistemas radiantes convencionales. Una vez ajustados estos parámetros se analizan los valores de amplitud de la onda incidente y reflejada, considerando la frutilla como medio en donde se desea localizar el hongo. Los rangos de frecuencia se seleccionaron entre los 1 MHz hasta los 10 GHz ya que la OMS (Organización Mundial de la Salud) los recomienda. [11]. En primera instancia se trabajó con los valores de permitividad de la frutilla ($\epsilon=14$) y del aire ($\epsilon=1$) sin considerar la presencia del hongo.

El método aplicado para la detección se emplea con los parámetros establecidos como temperatura, permitividad y frecuencia tanto del hongo y el fruto a tratar. Se consideró además el espacio libre existente entre el transmisor y la frutilla.

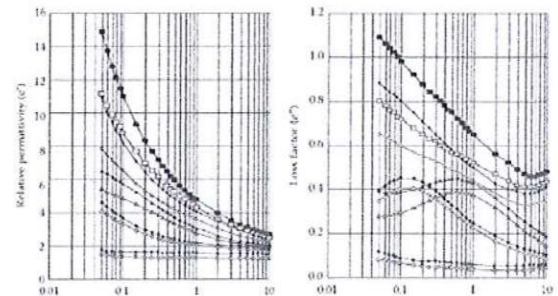


Figura. 1. Valores de Permitividad relativa (ϵ') y factor de pérdida (ϵ'') del hongo [12]

En la Figura 1 se puede observar el valor de la permitividad relativa la cual está relacionada con el peso que se encuentra en un valor promedio y a una temperatura de 20 °C.

TABLA I.
PERMITIVIDADES DE FRUTAS Y VEGETALES A DETERMINADAS TEMPERATURAS. [12]

Sample	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''
Apple	6,1 kg	3,0 kg	1,0 kg	0,14 kg
20 °C	64 ± 0,7	48 ± 1,5	18 ± 5,0	2,2 ± 0,10
40 °C	61 ± 1,4	48 ± 1,7	21 ± 5,0	2,3 ± 0,10
60 °C	58 ± 3,3	48 ± 3,0	26 ± 7,0	2,6 ± 0,10
Strawberry	10,1 kg	3,76 kg	1,00 kg	0,54 kg
20 °C	73 ± 0,40	62 ± 4,9	33 ± 9,4	14 ± 0,70
40 °C	70 ± 0	62 ± 6,6	43 ± 8,7	16 ± 0,10
60 °C	68 ± 0,50	60 ± 4,4	43 ± 7,7	20 ± 0,10

Es necesario variar el campo eléctrico incidente de acuerdo al elemento a detectar; en virtud de que pueden coincidir valores de campo eléctrico variable de amplitud de onda reflejada con otros objetos [13].

C. Método de cultivo del hongo

Para la obtención de muestras a irradiar se realizó un método de cultivo denominado Sabouraud Dextrose Agar, este método es utilizado para cultivo de mohos y levaduras patógenas y no patógenas. Se coloca la muestra del hongo en agua peptonada 10 gr, se agita 10 minutos en el Shaker para homogenizar la muestra se procede a inocular 1 ml de la muestra madre en tubos de ensayo de 10^{-1} a 10^{-7} ml, finalmente se coloca en cajas Petri esparciéndolas con una varilla acodada y se incuban a 25 °C durante 5 días con la finalidad de obtener las muestras para la experimentación de irradiación por ondas electromagnéticas.

D. Método de Eliminación por ondas electromagnéticas

Para lograr la eliminación del hongo (*Botrytis Cinerea*) por ondas electromagnéticas es necesario conocer varios parámetros tanto eléctricos, dieléctricos y químicos de los alimentos ya que son características principales que determinan la distribución de la energía electromagnética durante la exposición a un tiempo y frecuencia determinada, las características del campo electromagnético, determinan la absorción de la energía de Micro Ondas y ondas de Radio Frecuencia, por lo que es fundamental conocerlas para entender y modelar la respuesta de un material sometido a un campo electromagnético sujetas a los parámetros antes mencionados. [14]

En el presente trabajo se utilizó valores de potencia en el orden de los GHz, la potencia aplicada alcanza valores en mW obtenidos a partir del módulo Unitran.

Para llevar a cabo la eliminación del hongo o delimitación de crecimiento, se define un sistema de transmisión compuesto por un generador de ondas electromagnéticas en tecnología de antenas por módulos de Lucas-Nülle que sirve para la generación de una onda electromagnética senoidal de 0 – 8.5 GHz y 0.3116 mW.

El equipo que se utilizó para realizar las pruebas previas a la irradiación de ondas electromagnéticas se basa en un sistema tanto en hardware como software determinado por L@Bsoft el cual usa como Software (Tecnología de antenas) y como hardware diversos componentes que permiten la irradiación, un módulo Unitrain, una tarjeta "X-Band-Interface Selective que actúa como interfaz de medida y control de todos los componentes a usarse con el sistema de medición

interactivo UniTrain-I. Como transmisor se utiliza un DRO en el sistema, que es un oscilador resonante dieléctrico. El receptor "X-Band-LNC" (SO4100-8A) es el componente principal del receptor de medida del sistema de entrenamiento en antenas. Además de una antena Yagi de 3 elementos (antena transmisora), una antena microstrip (antena receptora), un adaptador SMA-N para conectar las antenas al transmisor y receptor, los cables de alimentación y comunicación USB para activar los módulos de transmisión y recepción. [15]

La eliminación por radiación se logra una vez establecida la comunicación de los componentes de transmisión y recepción dentro de la interfaz de L@bsoft, para su verificación se utiliza el instrumento virtual "indicador de nivel" para poder activar el sistema e iniciar la irradiación, consta de una etapa transmisora que emite la señal de onda, el medio y su etapa receptora como se muestra en la figura 2, para esta experimentación se maneja una frecuencia de 8,5 GHz y una potencia 0.3116 mW establecido por el módulo Unitran.

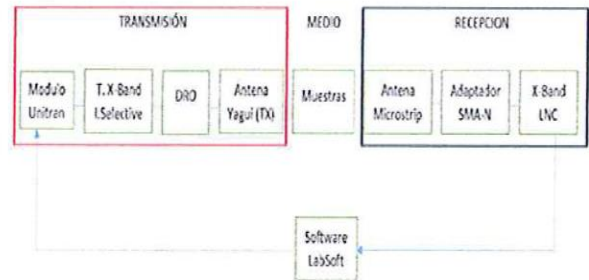


Figura. 2. Diagrama de conexión módulos Unitran.

Los modelos utilizados para simular la detección y eliminación del hongo (*Botrytis Cinerea*) se aplicaron sobre muestras de hongo cultivado de la frutilla.

E. Simulación de la detección del hongo.

En la figura 3 se muestra el inicio de la onda incidente en el primer medio (aire) para luego pasar al segundo medio (hongo) utilizando el algoritmo FDTD en MATLAB, el cual usa parámetros de frecuencia y permitividades (aire y hongo).

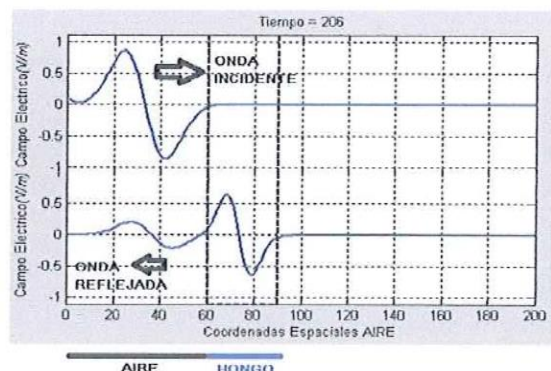


Figura. 3. Onda Incidente y Onda Rereflejada en el algoritmo FDTD

La onda electromagnética incidente se encuentra presente en el primer medio (aire), al entrar en contacto con el segundo medio (hongo) parte de esta onda es reflejada al entrar en contacto con estos medios.

La tabla 2 muestra los valores recomendados para la simulación de la detección mediante diferentes valores de Onda electromagnética variable de amplitud de onda incidente.

TABLA 2.
VARIACIÓN DE AMPLITUD

Amplitud Onda incidente Amplitud [V/m]	Amplitud Onda Reflejada Amplitud [V/m]
0,84	0,209521079002887
0,64	0,16408033758494
0,44	0,130433329700747

F. Aplicación de ondas electromagnéticas para eliminación o delimitación de crecimiento del hongo.

Se hizo un tratamiento estructurado para irradiar cada una de las muestras cultivadas. En total se irradiaron 9 muestras cada una con intervalos de 5 min hasta llegar a los 30 min y tres muestras con intervalos de una hora de aplicación con un máximo de 3 horas, ver tabla 3.

TABLA 3.
MÉTODO DE APLICACIÓN POR ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

MUESTRA (HONGO)	TIEMPO DE APLICACIÓN	COMPARACION DE MUESTRAS
Muestra 1	5 min	8 días posteriores a la aplicación
Muestra 2	10 min	8 días posteriores a la aplicación
Muestra 3	15 min	8 días posteriores a la aplicación
Muestra 4	20 min	8 días posteriores a la aplicación
Muestra 5	25 min	8 días posteriores a la aplicación
Muestra 6	30 min	8 días posteriores a la aplicación
Muestra 7	60 min	8 días posteriores a la aplicación
Muestra 8	120 min	8 días posteriores a la aplicación
Muestra 9	180 min	8 días posteriores a la aplicación
Testigo	S/N	TODAS

Las muestras fueron irradiadas a una distancia de 25 cm, esta distancia fue medida entre la antena, receptor y la superficie de la muestra, todo el

sistema genera un campo de cobertura necesario para cubrir toda el área de contacto con el receptor.

G. Análisis de efectividad de forma estadística en comparación con el testigo original.

Cuando las muestras han cumplido 8 días de incubación, se realiza un análisis cuantitativo sobre aquellas que presentan evidencia de crecimiento de hongo y levaduras.

Las características macroscópicas medidas fueron: Diámetro, color, textura, presencia de pigmento; además se mide hifas, esporas que son características de la estructura microscópicas.

La tabla 4 muestra el análisis cuantitativo de la muestra 3 (tabla 3) con lo que se evidencio una inactivación del 80 % que es un porcentaje alto en comparación al 50% que obtuvo TECNOVA (2012) [16].

TABLA 4.
ANÁLISIS CUANTITATIVO MUESTRA 3

ANÁLISIS MACRO-MICROSCÓPICO				
Muestra	Color	Textura	Crecimiento mm	Crecimiento %
Día 1	Blanco	Normal	0 mm	0 %
Día 2	Blanco	Normal	0 mm	0.5 %
Día 3	Blanco	Normal	1 mm	1 %
Día 4	Gris claro	Ramificación leve	1 mm	3 %
Día 5	Gris claro	Ramificación leve	1.5 mm	8 %
Día 6	Gris claro	Ramificación media	1.8 mm	11%
Día 7	Gris	Esporos medio	2 mm	16%
Día 8	Gris	Esporos medio	3mm	20%
Testigo	Color	Textura	Esporas en mm	Crecimiento %
Día 1	Blanco	Normal	0mm	0%
Día 2	Blanco -Gris	Ramificación leve	0.5mm	10%
Día 3	Blanco -Gris	Ramificación leve	1mm	20%
Día 4	Gris-Claro	Ramificación media	1.5mm	30%
Día 5	Gris-Claro	Ramificación media	2mm	40%
Día 6	Gris	Ramificación denso	3mm	60%
Día 7	Gris	Esporos denso	4mm	80%
Día 8	Gris Oscuro	Esporos denso	5mm	100 %

La tabla 5 muestra el resultado del análisis cuantitativo de la muestra 5 (tabla 3) con lo que se evidencio una inactivación del 98 %, porcentaje de inactivación mayor al logrado en la muestra 3 (tabla 4) en un intervalo mayor de tiempo de irradiación.

TABLA 5.
ANÁLISIS CUANTITATIVO MUESTRA 5

ANÁLISIS MACRO-MICROSCÓPICO				
Muestra	Color	Textura	Crecimiento en mm	%
Día 1	Blanco	Normal	0 mm	0 %
Día 2	Blanco	Normal	0 mm	0.1%
Día 3	Blanco	Normal	0.1 mm	0.3%
Día 4	Blanco	Ramificación baja	0.3 mm	0.7%
Día 5	Blanco-Gris	Ramificación baja	0.5 mm	1%
Día 6	Blanco-Gris	Ramificación leve	0.8 mm	1.5%
Día 7	Gris-Claro	Ramificación leve	1mm	1.8%
Día 8	Gris-Claro	Ramificación leve	1.5mm	2%
Testigo	Color	Textura	Crecimiento en mm	%
Día 1	Blanco	Normal	0mm	0%
Día 2	Blanco-Gris	Ramificación leve	0.5mm	10%
Día 3	Blanco-Gris	Ramificación leve	1mm	20%
Día 4	Gris-Claro	Ramificación media	1.5mm	30%
Día 5	Gris-Claro	Ramificación media	2mm	40%
Día 6	Gris	Ramificación denso	3mm	60%
Día 7	Gris	Esporos denso	4mm	80%
Día 8	Gris Oscuro	Esporos denso	5mm	100 %

Estudios anteriores han podido demostrar que la radiación UV ataca a cualquier tipo de microorganismos (virus, bacterias, hongos, etc), reduciendo en caso de podredumbre (ataque de hongos) entre un 20 y 50 % [15], a diferencia, de las microondas las cuales permitieron una reducción de 80 al 98% de acuerdo al tiempo de exposición con el cultivo al comparar las muestras con el testigo en su margen de crecimiento.

Las microondas han sido utilizadas anteriormente para la erradicación de plagas ya que sus embriones no soportan las variaciones de temperatura al manejar rangos de frecuencia de 10-100 MHz ya utilizados en la desinsectación de cultivos en Australia. [17]

III. RESULTADOS

La simulación hace incidir una onda electromagnética de 0,86 [V/m] amplitud de onda que viaja en el aire cuando llega al segundo medio (hongo) parte de dicha onda se refleja en un Campo Eléctrico de 0,22[V/m] este valor de reflexión de la onda muestra que la simulación de detección del hongo es efectiva.

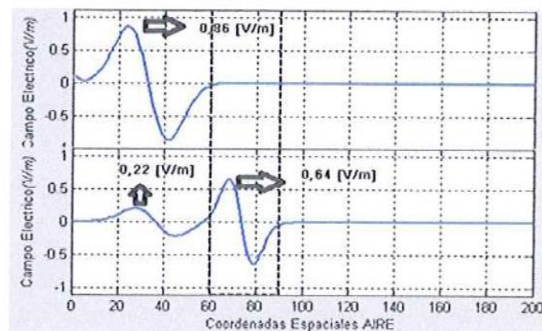


Figura. 4. Valores picos de Onda Incidente y Onda reflejada

Los parámetros mostrados en la reconstrucción de la onda incidente tabla 2, indican valores de 0.44 [V/m], ya que este sería un valor mínimo para la simulación de la detección del hongo.

El análisis cuantitativo presentado en la tabla 4, para la muestra 3 indica un margen de inactivación del 80 % en el crecimiento de filamentos en toda el área de cultivo posterior a la irradiación durante 8 días de incubación. Además de un cambio de coloración con matices grises y cambio de textura.

Como resultado del análisis cuantitativo presentado en la tabla 5, para la muestra 5 indica un margen de inactivación de 98% en: delimitación de crecimiento de filamentos. Se evidencio también un cambio de coloración con matices de color gris-claro, todos estos cambios son mínimos durante los días de incubación, este análisis muestra la eliminación después de la irradiación por ondas electromagnéticas.

La evolución del crecimiento del hongo se presenta en la figura 5. Al comparar la muestra testigo con las irradiadas después de 8 días de incubación.



Figura. 5. Comparación de muestras con el testigo original con 8 días de incubación y diferentes tiempos de irradiación. Muestra: A (5minutos), B (10minutos), C (15minutos), D (20minutos), E (25minutos), F (30minutos), G (60minutos), H (120minutos).

Cada muestra mantiene el mismo periodo de incubación con diferente tiempo de exposición, las muestras (A-D) con intervalos de 5min todas presentadas en la figura 5 evidencian un crecimiento del hongo visible en composición, textura y diámetro, En las muestras E(25min), F(30min), G(60 min), H(120 min) se puede verificar que mantienen su composición y estructura inicial.

La figura 6 presenta de forma gráfica porcentual el análisis cuantitativo, de este se puede observar que el índice de efectividad del método de eliminación por irradiación de ondas electromagnéticas, es del 80 % para la muestra 3 y el 98 % para la muestra 5 eso se comprobó al comparar con el testigo.



Figura. 6. Índice de efectividad del método para muestras (3,5).

IV. CONCLUSIONES.

Por medio de la simulación y los resultados obtenidos, se evidenció que el modelo matemático (FDTD) fue capaz de representar la presencia del hongo. Ya que al simular el contacto de la onda incidente con el hongo una parte de esta se refleja.

Con el algoritmo FDTD se podría desarrollar un programa para simular tres medios, siendo el tercero el medio infectado lo que permitiría trabajar de una forma más real para cualquier tipo de cultivo que sea vulnerable al ataque del hongo (*Botrytis Cinerea*)

Al utilizar las microondas con una frecuencia de 8,5 GHz y una potencia de 0,3116 mW en un tiempo de exposición determinado de 25 min se logró inactivar alrededor de un 98 %. Con estos resultados se puede decir que el método es eficiente para la eliminación del hongo (*Botrytis Cinerea*).

Existen evidencias de que al variar la potencia disminuye el tiempo de exposición por lo que se recomienda realizar análisis y pruebas con aumento de potencia gradual para lograr disminuir el tiempo de exposición tomando en cuenta los cambios en composición y textura que pueda generar la irradiación.

REFERENCIAS

- [1] Barrera J. F., Manejo holístico de plagas: más allá del MIP. En: Memorias XXX Congreso Nacional de Control Biológico-Simposio del IONC, Mérida, Yucatán. Mexico, 2007.
- [2] García C.V., Introducción a la Microbiología. Segunda Edición, Costa Rica : EUNED, 2004.
- [3] AGROEITAL3, «Actividades pedagógicas de agrícola,» 2014. [En línea]. Available: <https://agroietal3.wordpress.com/enfermedades-en-hortalizas/>. [Último acceso: Julio 2015].
- [4] Infojardin, «Infojardin.com,» 2002. [En línea]. Available: http://articulos.infojardin.com/plantaw_de_interior/enfermedades-hongos-plantas-de-interior.html. [Último acceso: Julio 2015].
- [5] M. M.T., 2004. [En línea]. Available: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Pages/fungicidesSpanish.aspx>. [Último acceso: 2015].
- [6] Universidad de Concepcion , «Uso de irradiación como elemento de mejoramiento de la inocuidad alimentaria,» Chile, 2013.
- [7] Vivas L. & Astudillo D. , El control Físico de las plagas agrícolas, Revista Digital CENIA, 2006.
- [8] DRA. HULDA CLARK, «ZAPPER DE LA DRA. HULDA CLARK,» 2004. [En línea]. Available: <http://www.muwellness.com/content/zapper-de-la-dra-hulda-clark>.
- [9] CARINA PONE, Interaction of electromagnetic energy with vegetable food constituents, 1996.
- [10] Marco Antonio Calderón Arguello, Carlos Fernando Corral Espinoza, «Desarrollo de una herramienta para la creación y administración de clústeres computacionales para simulaciones FDTD(FINITE-DIFFERENCE TIME-DOMAIN) con el paquete MEEP, sobre el servicio elastic compute cloud (EC2) de los amazon web services(AWS).,» Guayaquil, 2010.
- [11] World Health Organization, Radiation and environmental health department of protection of the human environment world health organization, Switzerland, 2002.
- [12] T. Funebo and T. Ohlsson, Dielectric Properties of frits and vegetables as a function

of temperature and moisture content, 1998.

- [13] Salazar C. & Fonseca G., «Deteccion de nutrientes en el suelo (Potasio, Nitrógeno y Sodio),» *Universidad Politécnica Salesiana*, 2015.
- [14] N.Soto-Reyes,R.Rojas-Laguna, M.E Sosa-Morales, *Modelación del calentamiento dieléctrico (microondas y radiofrecuencia) en sistemas alimenticios modelo.*, 2012.
- [15] Lucas-Nülle L.@bsoft, «Tecnología de Antenas emision y recepcion.».
- [16] Fundación Descubre, «Luz Ultravioleta para desinfectar hortalizas,» 2012. [En línea]. Available: www.agenciasinc.es/Noticias/Luz-ultravioleta-para-desinfectar-hortalizas.. [Último acceso: 2015].
- [17] Miranda J.M, Sebastian J.L , Sierra M, Margineda J., *Ingeniería de Microondas: Tecnicas Experimentales.*