UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA E INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:
ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL USO DE ONDAS RADIOELÉCTRICAS PARA LA DETECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES NUTRIENTES EN EL SUELO

AUTORES:
GABRIELA ALEXANDRA FONSECA CARRIÓN
CRISTIAN XAVIER SALAZAR FREIRE

TUTOR:
CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES

Quito, enero de 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Gabriela Alexandra Fonseca Carrión con documento de identificación N° 1724835812 y Cristian Xavier Salazar Freire con documento de identificación N° 1721009056 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 Y SIMULACIÓN DEL USO DE ONDAS RADIOELÉCTRICAS PARA LA DETECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES NUTRIENTES EN EL SUELO", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera e 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.

Quito, enero de 2016

Gabriela Alexandra Fonseca Carrión
C.I: 172483581-2

Cristian Xavier Salazar Freire
C.I: 172100905-6

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL USO DE ONDAS RADIOELÉCTRICAS PARA LA DETECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES NUTRIENTES EN EL SUELO, realizado por Gabriela Alexandra Fonseca Carrión y Cristian Xavier Salazar Freire, 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 2016

Carlos Augusto Cuichán Morales
C.I: 1714389721

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A mis padres Esperanza y Cristóbal con todo mi amor y cariño, que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.
A mis primos hermanos Andrés, Daniel y Carla por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar. A mi querido Jhoansito quien ha sido y es una mi motivación, inspiración y felicidad. Y sobre todo Gracias a ti ñaño Andrés que con tu ayuda y apoyo incondicional, este hermoso sueño se pudo hacer realidad.
También a mi estimado Cristian por todo el sacrificio, esmero y voluntad que tuvimos siempre; en donde nunca se perdió el objetivo principal de alcanzar y terminar con éxito nuestro trabajo de graduación. Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño este trabajo se las dedico a ustedes: Tía Olga, Tío Juan, Danielita y mi amiga Angélica.

Gabriela Alexandra Fonseca Carrión.

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por ser la fuente de mi fuerza y voluntad en todo este ciclo de mi vida en donde encontré varios obstáculos que superar, a mis padres Julio y Silvia los cuales con su apoyo y esfuerzo incondicional supieron guiarme por el mejor camino para alcanzar y cumplir mis metas, a mi hermano Marlon, mi abuelita y mis tíos que siempre supieron alentarme para seguir adelante y no desfallecer jamás y a mi Gaby o como yo la llamo mi estimada la cual estuvo conmigo en las buenas y en las malas en estos arduos 5 años de estudio los cuales supimos superarlos juntos con nuestro apoyo mutuo incondicional día a día.

Cristian Xavier Salazar Freire.

AGRADECIMIENTOS

En el presente trabajo de titulación agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

Se brinda una mención especial de agradecimiento al Ing. Carlos Cuichán quien, con su conocimiento, experiencia, paciencia y motivación supo guiar con éxito esta investigación en su totalidad.

También nos gustaría agradecer al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el cual brindo información y experiencia para el éxito de esta investigación en su totalidad.

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL USO DE ONDAS RADIOELÉCTRICAS PARA LA DETECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES NUTRIENTES EN EL SUELO

Gabriela Fonseca, Cristian Salazar, Carlos Cuichán
gfonseca @est.ups.edu.ec
csalazarf @est.ups.edu.ec
ccuichan@ups.edu.ec

Resumen El propósito de este trabajo es mostrar una alternativa al análisis tradicional de los nutrientes del suelo mediante el uso de ondas electromagnéticas. Se propone un radar subsuelo para detectar la concentración de los principales nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) a la profundidad donde están en el suelo, a través de los principios de las ondas incidente y reflejada, en suelo arcilloso agrícola. Se simularon estas situaciones en Matlab mediante la resolución de las ecuaciones discretas unidimensionales de Ampere y Faraday a través del algoritmo matemático en el dominio del tiempo de diferencia finita (FDTD). La simulación mostró la relación directa entre la amplitud de la onda reflejada y la concentración en cada nutriente.

Palabras Clave: Ondas electromagnéticas, nitrógeno, fósforo, potasio, FDTD, constante eléctrica, suelo agrícola.

Abstract The purpose of this paper is show an alternative to traditional analysis of soil nutrients through the use of electromagnetic waves. A subsurface radar is proposed to detect the concentration of major nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) to the depth where they are into the soil, through the principles of the incident and reflected waves, in agricultural clay soil. These situations were simulated in Matlab by solving the one-dimensional discrete equations of Ampere and Faraday Through the mathematical algorithm in the Finite Difference Time Domain (FDTD). The simulation showed the direct relationship between amplitude of the reflected wave and concentration in each nutrient.

Keywords: Electromagnetic waves, nitrogen, phosphorus, potassium, FDTD, electric constant, agricultural soil.

I. Introducción

El suelo es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, de ahí la necesidad de mantener su productividad, para que a través de él, y las prácticas agrícolas adecuadas, se establezca un equilibrio entre la producción de alimentos y el acelerado incremento del índice demográfico [1].

El estudio del suelo es de vital importancia y va de la mano con la agronomía. En el Ecuador, según estadísticas realizadas por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), existe un 74% de tierras cultivables de las cuales se estima que un 50% se encuentran desgastadas [2].

Un paso importante para aquello es el análisis de la composición del suelo [3], antes de decidir qué uso darle, por eso es necesario conocer sus propiedades [4]. En tal virtud, el análisis de suelos es una herramienta fundamental para evaluar la fertilidad del terreno, su capacidad productiva y es la base para definir la dosis de nutrientes a aplicar [5].

El proceso de análisis de suelo de forma tradicional, se basa en remover los macronutrientes (fósforo, potasio, nitrógeno) y micronutrientes (calcio, magnesio, sodio, azufre, manganeso) y medir su disponibilidad para los cultivos [6].

El análisis del suelo, realizado de manera convencional, es decir, por medio de las muestras tomadas y enviadas a un laboratorio para determinar la concentración de nutrientes del mismo, tiene sus limitaciones, debido a que requiere una gran cantidad de tiempo para el análisis de las muestras y el periodo de espera antes de realizar el próximo análisis, en la mayoría de los casos, es de dos a tres años. Además las submuestras, no siempre contienen la verdadera cantidad de minerales que posee el suelo, debido a que no es homogéneo.

Una alternativa es el uso de ondas electromagnéticas, las mismas que se han venido utilizando en varios estudios, como la detección de objetos en la superficie terrestre, por ejemplo, mediante microondas se realiza la limpieza de alimentos que nacen en el suelo [7], y a su vez se usa ondas radioeléctricas para detectar las principales bacterias que nacen en l mismo [8].

La aplicación de ondas electromagnéticas para la detección de nutrientes en el suelo representa una importante ventaja sobre el método tradicional porque permitirá medir concentraciones de nutrientes en menor tiempo, evitando la toma de muestras, y a su vez el arado que conlleva al desgaste del suelo.

En el presente trabajo se utiliza el principio convencional de detección utilizado en un radar de subsuelo, donde el sistema emite una onda en cierta dirección, si en su trayectoria encuentra un objeto, la onda choca con el mismo y parte de la onda se refleja al sistema y con las características de la onda se puede conocer cuál fue ese objeto que provocó la reflexión.

La simulación de la emisión y reflexión de la onda, se realiza en base al algoritmo matemático de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD), el cual permite manipular las características de la onda como; amplitud, frecuencia y tiempo de incidencia y a su vez caracterizar las permitividades eléctricas del suelo, en este caso de ciertos nutrientes.

Al implementar la simulación se comprobó que la detección de los macronutrientes del suelo (nitrógeno, fósforo y potasio) fue viable considerando cada una de sus permitividades relativas, y se verificó que la amplitud de la onda reflejada se reduce según sea el caso de la permitividad y del nutriente a detectar, debido a que cuando se tienen objetos menos densos, estos provocan que la amplitud de la onda sea menor.

II. Metodología

A. Descripción de la herramientas utilizadas

El algoritmo matemático FDTD de diferencias finitas en el dominio del tiempo, es utilizado para resolver

problemas electromagnéticos como la dispersión de objetos con propiedades dieléctricas, asumiendo que los parámetros eléctricos son invariantes en el tiempo [9].

El método fue creado para discretizar las ecuaciones de Maxwell (ley de Faraday y ley de Ampere), tanto en tiempo como en el espacio con aproximaciones en diferencias centrales. En el caso de una sola dimensión, se utiliza solamente E_x y E_Y, las ecuaciones de Maxwell se pueden reescribir como:

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon_0}\frac{\partial H_y}{\partial z} \qquad \textbf{(1)}$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0}\frac{\partial E_x}{\partial z} \qquad \textbf{(2)}$$

Donde (1) y (2) representan una onda plana que viaja en dirección de z.

Estas ecuaciones en derivadas parciales se reemplazan por un sistema de ecuaciones en diferencias finitas, eligiendo convenientemente los puntos en que se evalúan las componentes de los campos en estas ecuaciones. La solución al sistema de ecuaciones satisface las condiciones de borde que involucran superficies conductoras ideales, teniendo cada una sus propias permitividades relativas según el tipo de medio.

$$E_x^{n+1/2}(k) = E_x^{n-1/2}(k) + \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}\frac{\Delta t}{\Delta z}\left(H_y^n(k-1/2) - H_y^n(k+1/2)\right) \qquad \textbf{(3)}$$

$$H_y^{n+1}(k+1/2) = H_y^n(k+1/2) + \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}\frac{\Delta t}{\Delta z}\left(E_x^{n+1/2}(k) - E_x^{n+1/2}(k+1)\right) \qquad \textbf{(4)}$$

Las ecuaciones (3) y (4) representan el campo eléctrico y magnético respectivamente que se encuentran en función del medio y viajan en dirección de z [10].

B. Condiciones

La frecuencia óptima para el desarrollo del trabajo fue de (1.7 GHz) por encontrarse dentro de un rango utilizado en los radares convencionales.

Este valor permaneció constante para todas las pruebas realizadas, en virtud de que la frecuencia no es modificable en equipos convencionales existentes.

Se estimó que la concentración del nutriente a detectar, se encuentra dentro de un suelo agrícola arcilloso caracterizado por un rango de permitividad relativa entre 9 y 25, para fines prácticos, es necesario un valor fijo de permitividad efectiva que según [11] es de 15, que representa a un suelo arcilloso agrícola cuasi-homogéneo.

Debido a que este tipo de suelo, para cultivos en el Ecuador se encuentra en una cantidad apreciable, es ahí donde se deben localizar sus principales nutrientes.

Cabe recalcar que las características electromagnéticas de los macronutrientes del suelo, poseen ciertas variaciones en sus permitividades relativas.

El potasio y el fósforo se encuentran en un rango de 4 a 12. Para la simulación se trabajó con valores de permitividad efectivos fijos que describen un medio homogéneo, considerado así el valor de 4,1 para el fósforo [12] y de 5.9 para el potasio [13] .

Mientras el nitrógeno posee una permitividad relativa de 1.0005480, es importante destacar que este nutriente no se encuentra puro en el suelo, debido a que es un gas, lo usual es tenerlo combinado con otros elementos, así que se consideró la combinación de nitrógeno y potasio con una permitividad efectiva de 5 [12].

C. Descripción del escenario modelo para el análisis del suelo

Para determinar los principales nutrientes del suelo (nitrógeno, fósforo y potasio), el escenario a modelar Figura 1, consideró una fuente transmisora, la cual genera la onda incidente, que en este caso utiliza una microonda, debido a que los radares de subsuelo trabajan con la misma y también porque no tiene ningún efecto perjudicial en la salud del operario como en el suelo [14].

Se debe tomar en cuenta que para llegar al suelo se trabajó con la simulación de un radar de subsuelo, por lo tanto no se utilizó un medio como el espacio libre para transmitir la onda.

Escenario Modelo

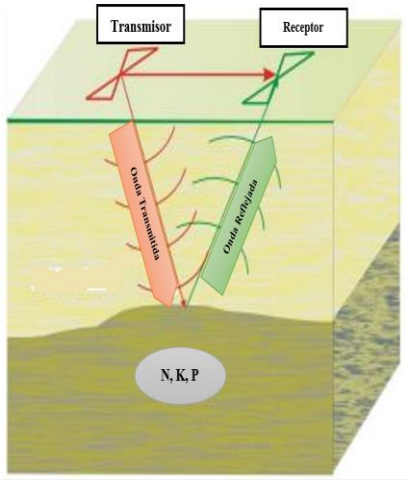

Figura 1. Principio Convencional de un Radar de Subsuelo.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

La onda incidente que se envió, llego hasta un punto, donde al chocar con los macronutrientes (nitrógeno, fosforo y potasio), causó que la onda se refleje con una amplitud diferente a la de incidencia, Figura 2 debido a que, cuando se tiene objetos menos densos, estos provocan que la amplitud de la onda sea menor.

Funcionamiento de la Simulación del Radar de Subsuelo

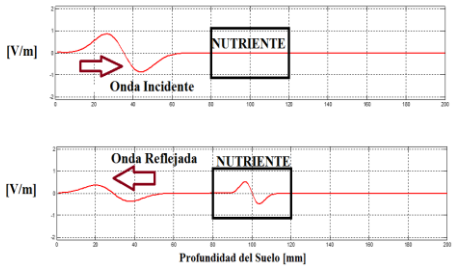

Figura 2. Campo Eléctrico [V/m] vs Profundidad del suelo [mm].
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

La onda que se reflejó, llego nuevamente a la fuente y ahí se trabajó con un radar mono estático (utiliza una sola antena para transmitir y receptar), con los datos obtenidos de la onda reflejada, se determinó en cuanto la onda cambio su amplitud para cada nutriente.

D. Pruebas a implementarse

En el suelo se encuentran dispersos tanto micro y macronutrientes, y se los puede encontrar a pocos centímetros del suelo como a mayores profundidades, por ese motivo se realizaron pruebas para verificar la profundidad de los mismos. Como se observa en la Figura 3, se toma una concentración determinada y se la desplaza desde 1 cm hasta 16 cm.

Pruebas de Profundidad

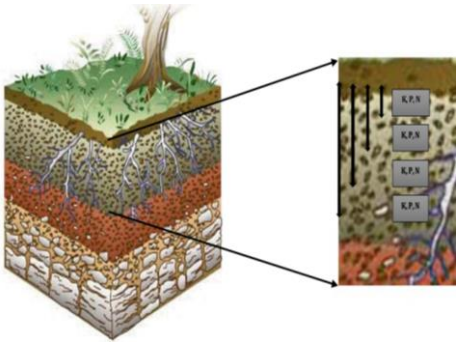

Figura 3. Concentración de Nutrientes en el Suelo desde 1 cm a 16 cm de Profundidad.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

En la segunda parte Figura 4, se colocó las concentraciones de cada nutriente desde 0.1 cm hasta 16 cm y se observó que a medida que se tiene una concentración más pequeña, la onda reflejada fue disminuyendo su amplitud constatando así la concentración (partes por millón [ppm]) existentes en el suelo.

Simulación de las pruebas de concentración y profundidad

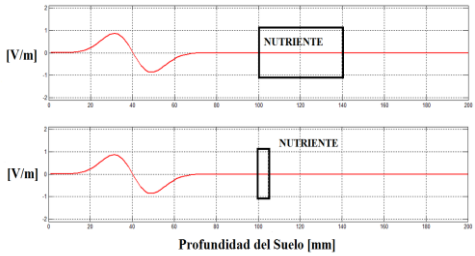

Figura 4. Campo Eléctrico [V/m] vs Profundidad del Suelo [mm].
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

En la parte de implementación se manipularon ciertos parámetros de la onda incidente, que son frecuencia, amplitud, y tiempo de propagación, además de las permitividades de cada medio.

La simulación estuvo limitada en dos aspectos claves para la detección, el primero fue que para concentraciones muy pequeñas se necesitó enviar la onda electromagnética a más de un valor de amplitud, en virtud que con un solo valor se mostraba una componente reflejada que podía ser confundida entre nutrientes, de esta manera la detección se realiza comparando varias respuestas de amplitud de onda reflejada a cada uno de los distintos valores de onda incidente.

El segundo fue que se necesitaron varios decimales para detectar cual es el nutriente estudiado, debido a que las permitividades de cada nutriente mostraron que los valores de onda reflejada para los mismos sean parecidos, y con menor cantidad de decimales no había diferencia de resultados. Por ese motivo se consideró más de 10 decimales, donde existe una variación de los mismos y con esto se determinó que es posible detectar concentraciones de nutrientes en el suelo.

III. Resultados

Para detectar la concentración de los principales nutrientes del suelo mediante ondas electromagnéticas, se realizaron pruebas de concentración, donde se varió las permitividades relativas de cada nutriente a diferentes amplitudes de onda incidente.

A. Pruebas de concentración

Para conocer la concentración en el suelo de cada macronutriente, se colocaron espacios de muestras de 0,1 cm hasta 16 cm. Los resultados obtenidos de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo respectivamente con diferentes amplitudes (0.8 V/m, 0.55 V/m y 0.38 V/m), que fueron el resultado de FDTD, al variar la permitividad relativa del nitrógeno 5, del fósforo 4.1 y potasio 5.9 manteniendo la permitividad efectiva del suelo 15.

Para obtener la concentración de cada nutriente en gramos, se obtuvo el volumen del mismo, suponiendo que su ancho fue de 1 cm, su altura de 2 cm, y su profundidad fue dada desde 0,1 cm hasta 16 cm. Con estos valores se obtuvo centímetros cúbicos de nutriente, a partir de eso es necesario conocer su densidad, para obtener la transformación de centímetros cúbicos a gramos de pendiendo de cada valor de profundidad.

Onda Incidente de [0.8 V/m]

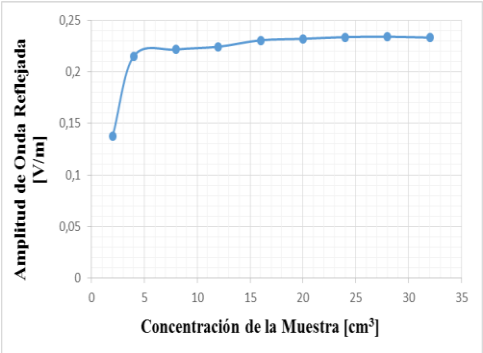

Figura 5. Onda Reflejada vs Concentración de Nitrógeno.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

Onda Incidente de [0.55 V/m]

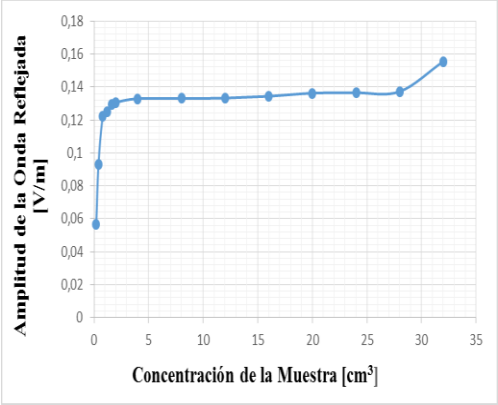

Figura 6. Onda Reflejada vs Concentración de Nitrógeno.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

Onda Incidente de [0.38 V/m]

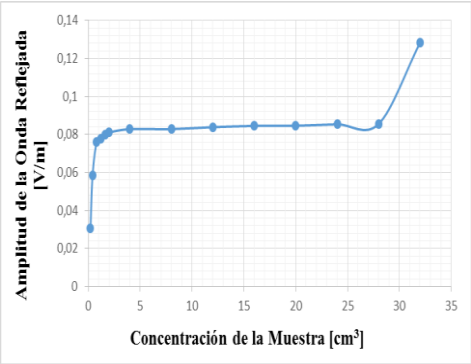

Figura 7. Onda Reflejada vs Concentración de Nitrógeno.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

En las Figuras 5, 6 y 7 se muestra que con ondas incidentes de [0.8 V/m, 0.55 V/m y 0.38 V/m] respectivamente, se evidencia que a mayor concentración de nitrógeno va a existir mayor amplitud de la onda reflejada.

Onda Incidente de [0.8 V/m]

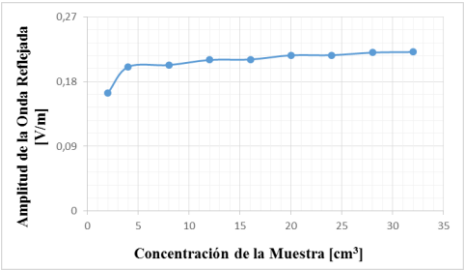

Figura 8. Onda Reflejada vs Concentración de Fósforo.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

Onda Incidente de [0.55 V/m]

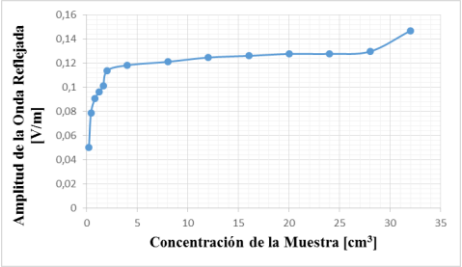

Figura 9. Onda Reflejada vs Concentración de Fósforo.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

Onda Incidente de [0.38 V/m]

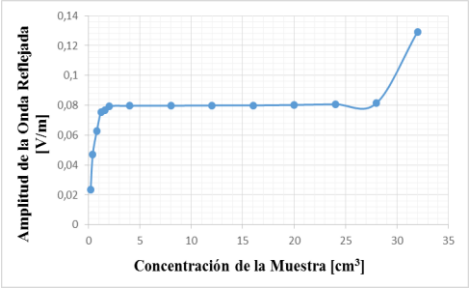

Figura 10. Onda Reflejada vs Concentración de Fósforo.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

En las Figuras 8, 9 y 10 se muestra que con ondas incidentes de [0.8 V/m, 0.55 V/m y 0.38 V/m] respectivamente, se evidencia que a mayor concentración de fósforo va a existir mayor amplitud de la onda reflejada.

Onda Incidente de [0.8 V/m]

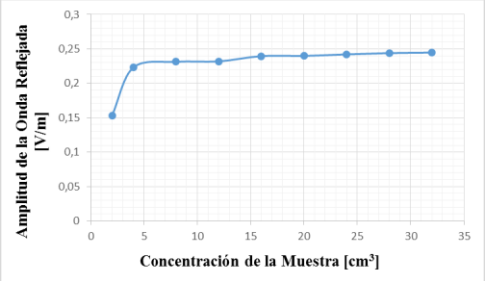

Figura 11. Onda Reflejada vs Concentración de Potasio.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

Onda Incidente de [0.55 V/m]

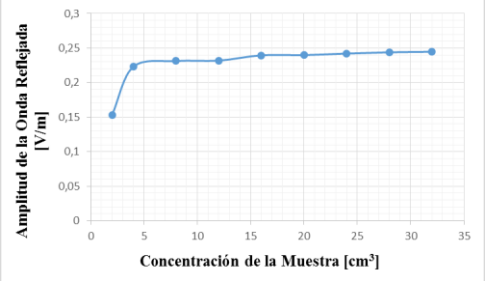

Figura 12. Onda Reflejada vs Concentración de Potasio.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

Onda Incidente de [0.38 V/m]

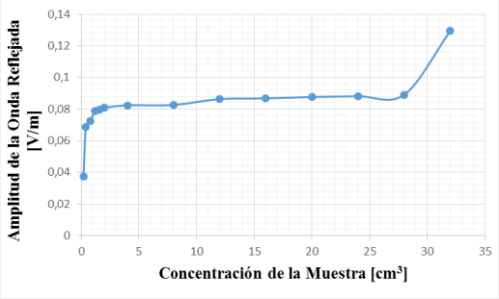

Figura 13. Onda Reflejada vs Concentración de Potasio.
Elaborado por: Gabriela Fonseca y Cristian Salazar.

En las Figuras 11, 12 y 13 se muestra que con ondas incidentes de [0.8 V/m, 0.55 V/m y 0.38 V/m] respectivamente, se evidencia que a mayor concentración de potasio va a existir mayor onda reflejada.

IV. Discusión

Existe una diversidad de trabajos sobre el uso de ondas electromagnéticas, como herramienta de apoyo, en el campo agrícola, dentro de los cuales se tiene aplicaciones de técnicas de microondas en la investigación agropecuaria [6], que permite la teledetección de objetos a través del espacio libre, además la radiación de microondas no altera ni contamina el material bajo prueba y es relativamente insensible a las condiciones ambientales [13].

Con este trabajo se muestra que las ondas electromagnéticas se pueden constituir en una opción eficaz y viable para la detección de los principales nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) del suelo, comparada con el análisis tradicional en Ecuador, el cual se realiza, con la extracción de submuestras, para el posterior análisis de los nutrientes. El inconveniente de dicho análisis, es el tiempo de espera de la respuesta del laboratorio, y el periodo antes de un nuevo análisis que es alrededor de 2 a 3 años, según el tipo de cultivo.

Para detectar los macronutrientes es necesario que el receptor tenga la capacidad de trabajar con amplitudes diferentes, porque con la amplitud de 0.8 V/m los valores de onda reflejada eran similares entre nutrientes, por ello se utiliza una segunda amplitud de 0.55 V/m pero como se observa en las tablas aún los valores son casi similares, por eso es necesario una tercera amplitud de

0.3 V/m la cual permitió obtener diferentes resultados de onda reflejada.

Es importante recalcar que se logró detectar concentraciones de los principales nutrientes desde 1 cm hasta 16 cm de profundidad del suelo sin que la onda reflejada presente alguna variación en su amplitud.

V. Conclusiones

La implementación del radar de subsuelo, para la detección de macronutrientes en Ecuador, sería una gran ayuda para el campo agrícola, porque optimizaría el uso de fertilizantes

Se pretende la obtención dinámica de datos de la concentración de nutrientes en el suelo los cuales permitan tener un mejor control de que se necesita en el suelo.

En una futura implementación de un radar de subsuelo para la detección de nutrientes, este debe ser capaz de hacer cálculos con varios decimales que evidenció la existencia de variaciones en los niveles de concentraciones.

Cuando se simuló con una onda incidente de 0.8V/m de amplitud, se detectaron los nutrientes que se encontraban en 1cm de concentración, pero para menores volúmenes de concentración esta no tuvo una respuesta de reflexión.

Para detectar concentraciones de macronutrientes menores a 1cm se trabajó con amplitudes de 0.55 y 0.38 V/m, las cuales detectaron concentraciones hasta 0.1 cm.

Agradecimientos

Se brinda una mención especial de agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el cual brindo información y experiencia para el éxito esta investigación en su totalidad.

Referencias

[1] Cenicafé, “Estudio de Suelos Manejo y Conservación del Suelo Agrícola,” 2012. [Online]. Available: http://www.cenicafe.org/es/index.php/servicios/biblioteca/P72.

[2] R. Chaves, D. Salazar, D. Orejuela, M. Cuichán, M. Suárez, and W. Villafuerte, “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua,” 2012. [Online]. Available: http://www.inec.gob.ec/ESPAC2012/InformeEjecutivo.pdf?TB_iframe.

[3] L. Rucks, F. García, A. Kaplán, J. Ponce de León, and M. Hill, “Propiedades Físicas del Suelo,” *Facultad de Agronomía, Dpto. Suelos y Aguas, Montevideo – Uruguay*, p. 7, 2009.

[4] M. Torres, “Análisis de suelos,” *Madrimasd*, 2010. [Online]. Available: http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2010/08/13/136733.

[5] M. E. De Bustos, “Muestreo de Suelos,” *Instituto NAcional de Tecnología Agropecuaria*, 2013. [Online]. Available: http://inta.gob.ar/documentos/muestreo-de-suelos-1.

[6] H. Coraspe and S. Tejera, “Procedimiento para la toma de muestras de suelos,” *FONAIAP*, 1996. [Online]. Available: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd54/suelos.htm.

[7] W. Andrezej, O. Kraszewaki, and O. Stuart, “Aplicación de Técnicas Microondas en la Investigación Agrícola,” *U.S.A-Georgia*, p. 1, 2010.

[8] L. Auchterlonie, W. Kershaw, H. Bolton, A. Hume, and P. Fletcher, “La Aplicación de Microondas para Controlar las Babosas en la Agricultura,” *IEEE*, p. 1, 2001.

[9] P. Del Pino, “El Método FDTD,” 2009. [Online]. Available: http://www.ing.uc.edu.ve/~pdelpi/documentos/FDTD/CAP_II_METODO_FDTD.pdf.

[10] R. Reeves, “Solución Numérica de Campos Electromagnéticos,” 2005.

[11] M. Pérez, “Radar de subsuelo.Evaluación para aplicaciones en arqueología y en patrimonio histórico-artístico,” Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d’Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, 2001.

[12] J. G. Speight, “Dielectric Constant,” 2003. [Online]. Available: http://www.knowledgedoor.com/2/elements_handbook/dielectric_constant.html.

[13] D. C. Corporation, “Dielectric Constants of Various Materials,” 1997. [Online]. Available: http://deltacnt.com/99-00032.htm.

[14] P. M. Alcázar M., Avendaño M., Jurado C., Kram L., “Efectos de los Rayos X en la Salud,” Estados Unidos, 2013.