



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS AFECTADOS POR SALINIDAD UTILIZANDO UN MODELO NO LINEAL

Orlando Zúñiga✉; Ramiro Cuero; Juan Pinchao; Paul López; Cristian Jiménez

Universidad del Valle
– Grupo ILAMA
✉ orlando.zuniga@
correounivalle.edu.co

Palabras clave: Potencial Productivo del Suelo, Lógica Difusa, Conductividad Térmica, Correlaciones espaciales, Inteligencia Artificial.

RESUMEN

Con el propósito de evaluar la capacidad productiva de suelos con tendencia a la salinidad se generó un modelo basado en Lógica Difusa para la estimación del Potencial Productivo del Suelo (P.P.S) en un cultivo de maíz (Zea mays) ubicado en la finca Las Gramas, municipio de Roldanillo - Valle del Cauca. Esta investigación se desarrolló en dos etapas: en la primera etapa se diseñó un sistema difuso que determinara el indicador PPS (esta etapa se denominó "modelación del sistema") y en la segunda fase se validó el modelo desarrollado. Los resultados evidenciaron una correlación espacial del 67% al compararse el mapa del indicador de PPS estimado con herramientas de Lógica Difusa y el mapa de producción real para el cultivo de maíz; lo que demuestra la posibilidad de inferir acerca de la calidad de los suelos a través de un modelo no lineal, en este caso la Lógica Difusa. Estos resultados pueden contribuir al manejo diferencial de suelos agrícolas, fomentando el enfoque sostenible en el agricultor.

EVALUATION OF THE QUALITY OF SOIL AFFECTED BY SALINITY USING A NONLINEAR MODEL

Key words: Productive Potential Soil, Fuzzy Logic, Thermal Conductivity, Spatial Correlations, Artificial Intelligence

SUELOS ECUATORIALES
43 (2): 76-81

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

In order to evaluate the productive capacity of soils prone to salinity, a model based on Fuzzy Logic was generated estimate the Productive Potential of the Soil (PPS) in a corn field (Zea mays) located in the farm Las Gramas, Township of Roldanillo - Valle del Cauca. This research was conducted in two stages: first step was designed a fuzzy system to determine the PPS indicator (this stage is called "modeling system"), the second step was to validate the developed model. The results showed a spatial correlation of 67% when compared the map of PPS indicator, estimated with Fuzzy Logic tools and the map of real production for growing corn, which shows possibility of interference with the quality of the soils through a non-linear model, in this case the Fuzzy Logic. These results may contribute to the differential management of agricultural soils, by promoting sustainable approach to the farmer.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la mayoría de las metodologías para la evaluación de la calidad de suelos cuentan con una visión mecanicista, centrada en la determinación de las propiedades del suelo utilizando técnicas analíticas, reduciendo el todo (la calidad del suelo) a las partes (propiedades físicas, químicas y biológicas). El diagnóstico del estado de los suelos y su disponibilidad para el desarrollo de los cultivos es una tarea compleja debido a su naturaleza igualmente compleja. Por ello, es importante proponer un conjunto de parámetros que representen las numerosas propiedades potenciales en un grupo de indicadores que reflejen en su conjunto una visión global de las funciones del suelo y cuyos cambios puedan ser medidos a corto plazo (Larson y Pierce, 1994). Por lo anterior, la estimación del Potencial Productivo del Suelo, se fundamenta en ir más allá de las disciplinas y portar una metodología de investigación transdisciplinaria, donde dicho indicador se basa en una cooperación sistemática con los fenómenos (propiedades del suelo) afectados. Cada una de las propiedades que presenta el suelo (físicas, químicas y biológicas) aporta elementos para la visualización y el entendimiento de la calidad de los suelos (Pinchao, 2013). La no linealidad del sistema suelo a causa de su dinámica irreversible y su no homogeneidad, conlleva a la utilización de nuevas herramientas que permitan ayudar a su entendimiento. En este sentido, la Lógica Difusa es una técnica reciente que está siendo explorada en aplicaciones de agricultura como una nueva tecnología que imita los patrones del pensamiento humano en el control de operaciones de equipo industrial (Corral *et al.*, 2006). En este sistema interpretativo, los objetos o elementos son relacionados con conjuntos de fronteras no nítidas o definidas, es decir, existe una especie de interpolación entre una frontera y otra (Zúñiga, 2013). Para la agricultura, la subjetividad de la lógica difusa es particularmente atractiva ya que las condiciones del suelo (clima, suelo, agua) crean una situación compleja de modelar para los métodos de evaluación convencionales (Benson *et al.*, 2000). El aporte original de esta investigación es desarrollar un modelo de estimación de la calidad de los suelos con parámetros de niveles difusos, que permita realizar un manejo diferencial del suelo igualmente difuso, en búsqueda de un mejor diagnóstico y un manejo sostenible de dicho recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se desarrolló en una parcela de 0,6 ha de la finca Las Gramas del municipio de Roldanillo – Valle del Cauca a una altura de 965 msnm, con una temperatura promedio de 26°C, latitud norte (N) 4°27'15'' y longitud oeste (O) 76°07'27''.

La finca Las Gramas se encuentra sobre la consociación de suelo El Limón, localizada en los cauces abandonados del río Cauca entre Toro y Roldanillo. Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son bien drenados, profundos, moderadamente alcalinos, de fertilidad media y se encuentran artificialmente drenados (IGAC – CVC, 2004).

Los suelos presentan moderadas limitaciones para la agricultura y la ganadería, debido a las texturas finas y la afección sectorizada por sales y por sodio en grado ligero.

Muestreo de suelos

Para estimar el PPS se realizaron muestreos de suelos pasada la etapa de floración del cultivo (90 días después de la siembra). Se ubicaron estaciones de crecimiento en cada punto de muestreo (estas estaciones correspondían a un metro cuadrado de cultivo de maíz), sitio en donde se evaluaron las variables agronómicas. Los puntos de muestreo se distribuyeron en forma de cuadrícula, tomándose 27 puntos.

Se tomaron muestras de suelos tanto alteradas como inalteradas a una profundidad de 0,2 m. Para tomar las muestras alteradas se consideró un área de 5 x 5 m alrededor de la estación de crecimiento, tomándose tres submuestras para conformar una muestra representativa de suelo, luego fueron almacenadas en bolsas plásticas de cierre hermético debidamente rotuladas. Las muestras inalteradas se tomaron en cilindros de 100 cm³, tres cilindros por cada punto de muestreo.

Modelación del PPS a partir de Lógica Difusa

El modelo desarrollado se diseñó tomando como base las metodologías tradicionales para la interpretación de la calidad del suelo, con la incorporación de técnicas difusas. Para la determinación del indicador PPS se utilizó el paquete informativo FisPro 3.4; el esquema del sistema que se utilizó se presenta en la figura 1.

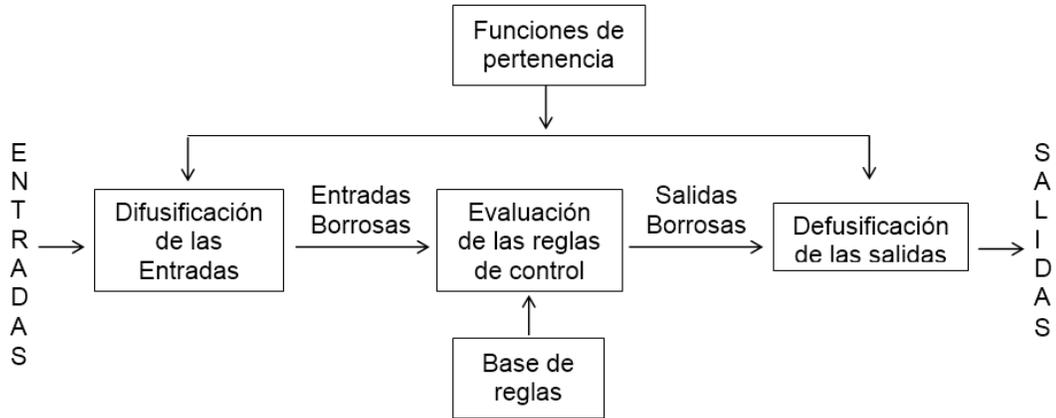


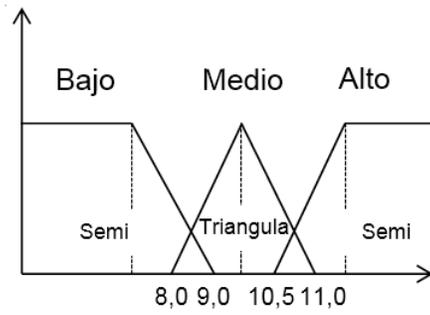
Figura 1. Esquema general de un sistema basado en lógica difusa.

Etapas de modelación

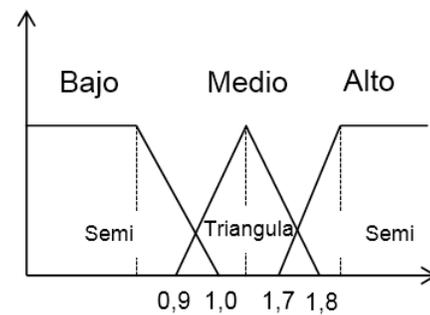
El primer paso de todo sistema difuso es determinar qué información se utilizará como entrada en el modelo. Para el caso particular, se ingresaron como variables de entrada las propiedades físicas y químicas más representativas del suelo en estudio y que brindarían información sobre la productividad.

Para el caso de la finca Las Gramas, estas variables representativas correspondían a: la Conductividad Térmica del suelo (λ) la cual además de ofrecer información sobre el estado energético del suelo, está muy relacionada con otras propiedades al depender de varios factores que pueden ser diferenciados en dos grupos: el primero lo constituyen propiedades inherentes al suelo tales como la textura y la composición mineralógica, y el segundo grupo lo constituyen las prácticas de manejo que modifican el contenido de agua y la densidad aparente (Abu-Hamdeh, 2001). De acuerdo con el mismo autor, las prácticas de manejo son quizás las que determinan en gran parte la productividad del cultivo. La segunda variable de entrada corresponde a la Conductividad Eléctrica del suelo (C.E), la cual ofrece información sobre los limitantes de productividad al cuantificar las concentraciones totales de sales.

Determinadas las variables de entrada y salida del modelo, se asignaron etiquetas lingüísticas (Bajo, Medio, Alto) que permitían identificar el grado de correspondencia que presentaba cada variable de entrada a cierto conjunto difuso mediante la función de pertenencia correspondiente. Las funciones de pertenencia utilizadas son de forma semi-trapezoidal y triangular (Figura 2).



(a)



(b)

Figura 2. Funciones de pertenencia para la variable (a) Conductividad térmica, (b) Conductividad eléctrica.

El mecanismo de inferencia empleado en el cual se involucran las funciones de pertenencia seleccionadas y las reglas generadas con base en el conocimiento fue de tipo Mamdani, este método utiliza reglas de tipo: *Si - Entonces (if-else)* (Figura 3).

IF la entrada es Baja THEN la salida es Alta

Ejemplo:

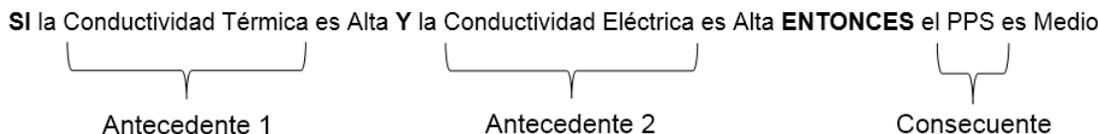


Figura 3. Mecanismo de inferencia tipo Mamdani (si – entonces).

El método de defusificación empleado en esta investigación fue el centro de gravedad. En la mayoría de las aplicaciones de hoy en día, el método del centro de gravedad constituye la alternativa más frecuente utilizada, considerando que el centroide difuso es único y utiliza toda la información en la distribución del conjunto difuso de salida (Pérez y León, 2007). Determinado el indicador del PPS y realizada la cosecha de maíz, se elaboraron los mapas de cada uno de los parámetros, para lo cual se empleó software de Sistemas de Información Geográfica o SIG, los cuales permitieron realizar tanto la interpolación de los parámetros como la correlación espacial de los mismos.

Etapas de validación

Finalmente se empleó el modelo desarrollado que estimaba el PPS en una segunda etapa denominada “prueba o validación”. Con los datos de Conductividad Térmica y Conductividad Eléctrica evaluados en esta segunda etapa, se predijo la variabilidad espacial de la producción de maíz para el segundo periodo de cultivo en la finca Las Gramas, dicha predicción se realizó 60 días antes de la cosecha de maíz.

Una vez culminado el ciclo vegetativo del cultivo de maíz establecido (150 días) y efectuada la cosecha, se procedió a realizar la correlación espacial entre el mapa de producción y el mapa del indicador de PPS determinado con lógica difusa.

RESULTADOS

Fase de modelación

El análisis conjunto de los mapas de PPS y productividad indican que la variación del Potencial Productivo del Suelo tuvo un comportamiento de

acuerdo a la producción con una correlación espacial positiva del 85% (Figura 4).

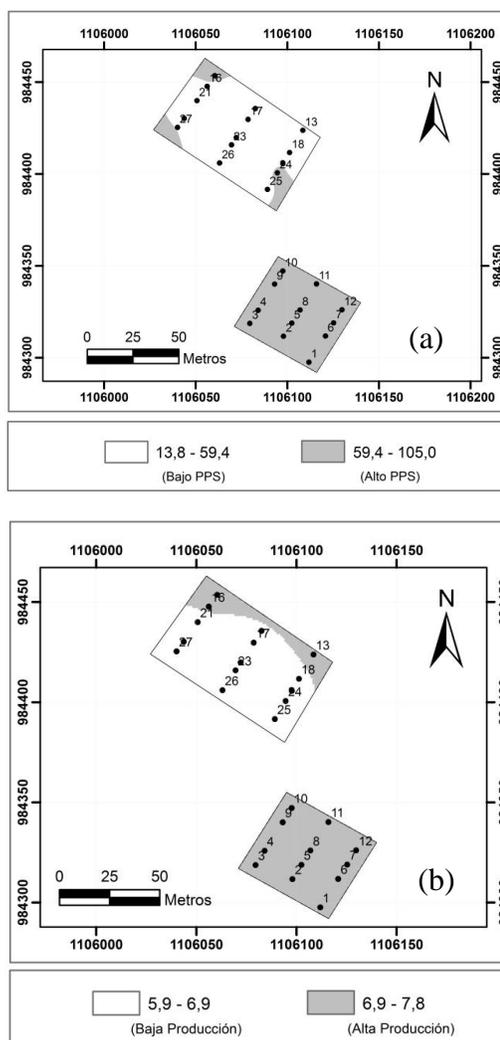


Figura 4. (a) Índice del Potencial Productivo del Suelo (PPS) determinado con Lógica Difusa (b) Distribución espacial de la producción de maíz en el primer periodo de cultivo, Finca Las Gramas.

La importancia del resultado obtenido en la correlación, se basa en la posible utilización del modelo desarrollado para la toma de decisiones. Es evidente que una predicción de las zonas con mayor o menor potencial para la producción emitida con suficiente anticipación a la recolección de la cosecha y con un nivel de confianza aceptable, ayudaría a los agricultores a precisar las labores que permitan el aumento y/o mantenimiento de sus cosechas.

Fase de validación

Al utilizar el modelo desarrollado en la primera fase y efectuar la distribución espacial del PPS, se encontraron las siguientes zonas (Figura 5).

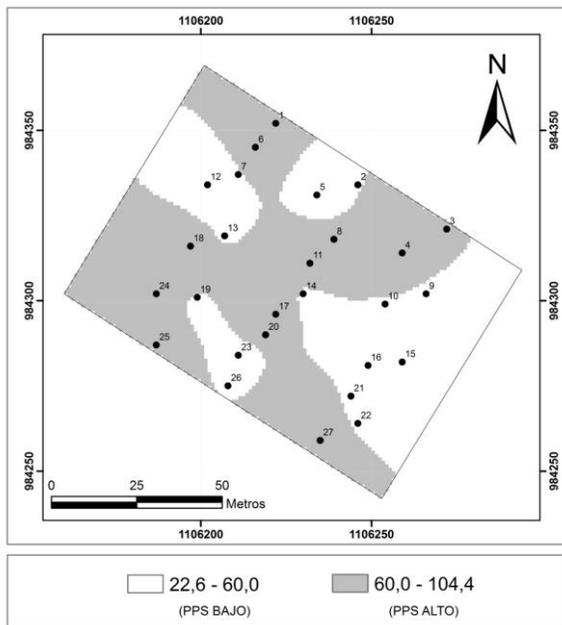


Figura 5. Potencial Productivo del Suelo segundo periodo de cultivo, finca Las Gramas

Debido a que el objetivo de la segunda fase del estudio era validar el modelo desarrollado, se esperó la finalización del ciclo vegetativo del maíz. Posteriormente, se analizó el conjunto de los mapas de PPS y productividad, donde el indicador del Potencial Productivo tuvo nuevamente un comportamiento de acuerdo a la producción con una correlación espacial positiva del 67% (Figura 6).

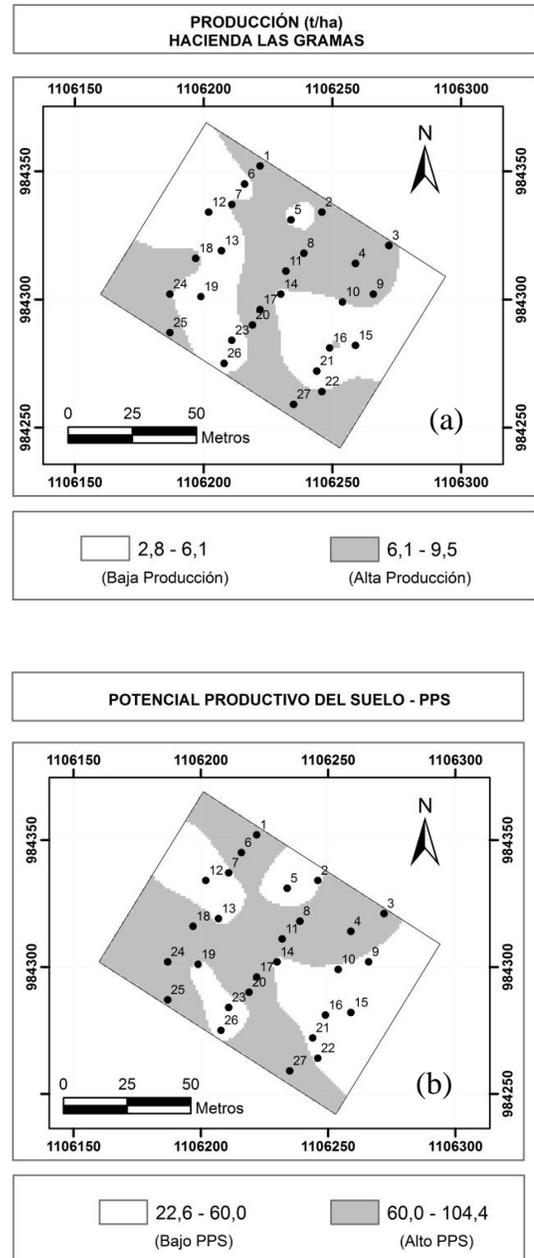


Figura 6. (a) Distribución espacial de la producción de maíz en el segundo periodo de cultivo, Finca Las Gramas (b) Índice del Potencial Productivo del Suelo (PPS) determinado con lógica difusa.

De acuerdo con la figura 6 (a) el suelo presenta un potencial productivo diferenciado, esto implica que es preciso implementar una estrategia de fertilización sectorizada, en búsqueda de una gestión sostenible del terreno.

CONCLUSIONES

Aplicarlas herramientas de Lógica Difusa para determinar el Potencial Productivo del Suelo es viable, los parámetros que se utilizan en la evaluación de la calidad de suelos generalmente tienen un alto grado de incertidumbre como para estudiarse bajo niveles concretos. La Lógica Difusa permite modelar parámetros que presentan límites difusos, tal es el caso de los rendimientos de los cultivos. La identificación de las zonas con alto y bajo potencial para la producción de maíz que se logró con ayuda del presente modelo de Potencial Productivo del Suelo (P.P.S), **cobra** gran importancia en la gestión sostenible de los lotes de cultivos en cuanto al manejo de las labores, tales como labranza, fertilización y riego, haciéndolos más competitivos productivamente.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS) que financió este estudio en el marco del proyecto “Caracterización y recuperación de suelos salinos utilizando métodos físicos energéticos”.

REFERENCIAS

- ABU-HAMDEH N.H (2001) Soil and water: measurement of the thermal conductivity of Sandy loam and clay loam soils using single and dual probes. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 80 (2), 200-216.
- BENSON E.R, REID J.F, ZHANG Q, PINTO F.A.C (2000) An adaptive fuzzy crop edge detection method for machine vision, ASAE Annual International Meeting. Milwaukee, EUA.
- CORRAL L, VÁZQUEZ M, FLORES F (2006) Sistema de visión con lógica difusa para la identificación de regiones de interés en plantas, 1 – 5 pp. En: 5th IBEROAMERICAN CONGRESS ON SENSORS, Memorias IBERSENSOR. Montevideo, Uruguay.
- IGAC y CENICAÑA (2005) Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Centro de Investigación de la caña de Azúcar. Levantamiento de suelos y

zonificación de tierras Departamento de Valle del Cauca.

- LARSON W.E, PIERCE F. J (1994) The dynamics of oil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., tewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for A Sustainable Environment*, Madison, WI. *Soil Sel. Soc. m.* 35, 37-52 (special publication).
- PINCHAO J.S (2013) Estimación del Potencial Productivo del Suelo (PPS) en un cultivo de maíz (*Zea mays*) afectado por salinidad en dos municipios del Valle del Cauca. Universidad del Valle, Colombia, 115p.
- PÉREZ I y LEÓN B (2007) Lógica difusa para principiantes: teoría y práctica, Universidad Católica Andrés Bello, editorial Texto, C.A. Caracas - Venezuela.
- ZÚÑIGA O (2013) Modulo I: Lógica difusa aplicada a las ciencias ambientales, 54 – 55 pp. En: Seminario de interdisciplinariedad – Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad del Valle – Colombia.