

Procedimiento para el pronóstico del tipo de suelo y su grado de fertilidad para el proyecto AGRICOS de la empresa Getinsoft

Oswaldo Rodríguez Morán¹

¹ *Ingeniero Geofísico, máster en Geología Petrolera, doctor en Ciencias Técnicas, profesor titular e investigador titular de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba. Correo electrónico: or-moran2016@gmail.com.*

RESUMEN

Getinsoft es una empresa dedicada al desarrollo de tecnología, software y hardware en áreas industriales de tecnologías de la información y comunicaciones, farmacéutica, automotriz, agricultura, salud, alimentos y bebidas. «AGRICOS» es uno de los proyectos de esta empresa, el cual es una herramienta para la agricultura de precisión compuesta por diversos módulos que se encargan de diferentes actividades. Este trabajo se realizó a partir de la ausencia de un procedimiento general para estimar el tipo de suelo y el grado de su fertilidad, por sus atributos físico-químicos de un área determinada. El objetivo de este trabajo es proponer un procedimiento general para la toma de muestras de suelo, su procesamiento, el pronóstico del tipo de suelo y su grado de fertilidad, en una región determinada para la implementación de la agricultura de precisión. Se efectuó una revisión bibliográfica en la que se consultaron diferentes procedimientos en la clasificación de los suelos y la estimación de la fertilidad. El procedimiento propuesto transita desde las características del área de investigación, el número de muestras a tomar y el método empleado para ello, la clasificación espacial del tipo de suelo y su fertilidad a partir de los atributos determinados originalmente en el laborato-

rio. Como resultado se hace la propuesta explicativa en detalle, de cada uno de los pasos necesarios para lograr el objetivo del pronóstico del tipo de suelo y su grado de fertilidad, para el análisis de suelos del proyecto AGRICOS de la empresa Getinsoft.

Palabras clave: tipo de suelo, grado de fertilidad, atributos físico-químicos, análisis de suelos, agricultura de precisión.

ABSTRACT

Getinsoft is a company dedicated to the technology development, software and hardware in industrial areas of technologies of the information and communications, pharmacist, self-driven, agriculture, health, foods and drinks. «AGRICOS» is one of the projects of this company, which is a tool for the agriculture of compound precision for diverse modules that take charge of different activities. This work was carried out starting from the absence of a general procedure to estimate the soil type and the grade of its fertility, starting from its physical-chemical attributes of a certain area. The objective of this paper is to propose a general procedure for the taking of soil samples, its prosecution, the presage of the soil type and its grade

of fertility, in a certain region for the implementation of the agriculture of precision. It was carried out a bibliographical revision in those that different procedures were consulted in the classification of the soils and the estimate of the fertility. The proposed procedure traffics from the characteristics of the investigation area, the number of samples to take and the method used originally for it, the space classification of the soil type and its fertility starting from the certain attributes in the laboratory. As a result the explanatory proposal is made in detail, of each one of the necessary steps to achieve the objective of the presage of the soil type and its grade of fertility, for the analysis of soils of the project AGRICOS of the company Getinsoft.

Keywords: Soil type, degree of soil fertility, physico-chemical attributes, soil analysis, precision agriculture.

RESUMO

Getinsoft é uma companhia dedicada ao desenvolvimento de tecnologia, software e hardware em áreas industriais de tecnologias da informação e comunicações, farmacêutico, automotor, agricultura, saúde, comidas e bebidas. «AGRICOS» é um dos projetos desta companhia que é uma ferramenta para a agricultura de precisão combinação por módulos diversos que se encarregam de atividades diferentes. Este trabalho foi levado a cabo a partir da ausência de um procedimento geral calcular o tipo de chão e o grau de sua fertilidade, a partir de seus atributos de físico-substância química de uma certa área. O objetivo deste trabalho é propor um procedimento geral para a tomada de amostras de chão, sua acusação, o presságio do tipo de chão e seu grau de fertilidade, em uma certa região para a implementação da agricultura de precisão. Foi levado fora uma revisão bibliográfica nesses que foram consultados procedimentos diferentes na classificação dos chãos e a estimativa da fertilidade. Os tráficos de procedimento propostos das características da área de investigação, o número de amostras para levar e o método usou originalmente para isto, a classificação espacial do tipo de chão e sua fertilidade a partir dos certos atributos no laboratório. Como resultado a proposta explicativa é

em detalhes feito, de cada um dos passos necessários alcançar o objetivo do presságio do tipo de chão e seu grau de fertilidade, para a análise de chãos do projeto AGRICOS da companhia Getinsoft.

Palavras chaves: Tipo de terra, grau de fertilidade de terra, atributos de físico-substância química, análise de terra, agricultura de precisão.

INTRODUCCIÓN

El 24 por ciento de la población en México realiza actividades relacionadas con la agricultura, sin embargo, las técnicas actuales tienen fuertes impactos socioambientales, entre ellos el tiempo que tarda la producción, la pérdida de cosechas por el clima y la erosión de la tierra que, poco a poco, se vuelve inutilizable (Agronoticias, 2018).

La tecnología podría significar la solución bajo el concepto de agricultura de precisión (AP); sin embargo, México aún está muy lejos de aprovechar sus beneficios, en parte por no ser fácil su implementación y también por su inaccesibilidad en términos económicos, pero todo esto podría cambiar y el primer paso es fomentar una cultura de instrucción e información.

Getinsoft (Catálogo Getinsoft, 2018) es una empresa de tecnología de vanguardia que pone los esfuerzos y experiencia a disposición de sus clientes para que puedan obtener mayores beneficios de las tecnologías de la información de manera accesible (**Figura 1**).

Entre los proyectos de esta empresa está el proyecto AGRICOS (Catálogo AGRICOS revista, 2018), el cual realiza objetivos para la implementación de la agricultura de precisión (**Figura 2**).

La ausencia de un procedimiento general para estimar el tipo de suelo y el grado de su fertilidad, teniendo en cuenta sus atributos físico-químicos de un área determinada, es la que anima a esta investigación. Por lo que se propone un procedimiento general en la toma de muestras de suelo para la implementación de la agricultura de precisión, su procesamiento y el pronóstico del tipo de suelo y el grado de fertilidad en una región determinada. En la investigación bibliográfica acerca del problema, se constató que el procedimiento



Figura 1. Portada del catálogo Getinsoft, 2018 (Tomado de: <https://online.flippingbook.com/view/152869/>)

tendría los detalles de la caracterización dimensional de la región de estudio, la cantidad de muestras de suelos recolectadas y el tipo de muestreo, determinación de los atributos edáficos en el laboratorio correspondiente, la clasificación del tipo de suelo y la fertilidad de las muestras y entre otros elementos más, la propuesta de los cultivos para cada tipo de suelo, así como las posibles enfermedades y remedios típicos para cada una de ellas. Finalmente, se tratará de establecer una relación entre todos estos elementos y los posibles costos relacionados con el cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las fuentes consultadas sobre la base del objetivo trazado para este trabajo, se dividen en dos grupos.

- 1) Fuentes bibliográficas (38 trabajos) relacionadas con los tipos de suelos y su fertilidad, además de la forma del muestreo del suelo y la metodología para la toma de las muestras. Otras fuentes que esta-



Figura 2. Catálogo AGRICOS revista, 2018 (Tomado de: <https://online.flippingbook.com/view/856820/>).

blecen la relación entre los tipos de suelos y los cultivos más apropiados, así como los costos generales de cada tipo de cultivo por unidad de área. Entre las fuentes bibliográficas más relevantes y que aportaron a la solución del problema están los trabajos de Aguilar *et al* (1998), relativo a la características de los análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo, el del Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, de Molina y Meléndez (2002), Ortiz (2013), Ramírez y otros (2015) e INTAGRI (2017), los cuales establecen los intervalos de composición química para una escala de fertilidad.

- 2) Fuentes bibliográficas (16 trabajos) relacionadas con el procesamiento estadístico y geoestadístico de los atributos del suelo y métodos de clasificación por la variante de reconocimiento de patrones. Según

Bautista y otros (1998), la aplicación del método de componentes principales contribuyó con buenos resultados en el proceso de clasificación de los suelos. Nolasco y otros (2014), aplican la clasificación supervisada para evaluar y comparar el desempeño de dos alternativas de clasificación. Villatoro y otros (2008), y Henríquez y otros (2013), demuestran y validan el proceso de interpolación de variables de fertilidad de suelo, mediante el análisis Kriging y su validación.

Los atributos considerados y sus unidades de medida en las tablas de objeto-propiedades (TOP), para la ca-

racterización de los suelos (Hernández y otros, 2015), se muestran en la **Tabla 1** (Méndez y Bertsch, 2012; Maldonado, 2016).

En la **Tabla 1** se incluirán los elementos químicos plomo, mercurio, arsénico, cadmio y flúor, los cuales no aportarán a la clasificación del tipo de suelo ni al grado de fertilidad, pero sí indicarán suelos con elementos nocivos para la salud animal y humana (y también para diversos tipos de plantas), cuya presencia por encima de determinados límites darán lugar a que determinada área de suelo no sea recomendable para el cultivo de alimentos. Esta alerta propiciará un valor agregado a estos resultados.

Estos atributos se han incluido por la influencia que tienen de manera directa e indirecta en el es-

Tabla 1. Lista de los atributos de las muestras de suelos de la Tabla de Objeto-Propiedades (TOP).

ATRIBUTO	UM	SÍMBOLO
Limo	[%]	Lim
Arena	[%]	Are
Arcilla	[%]	Arc
Capacidad de Campo (1/3Bar)	[%]	Cc
Punto de Marchitez Permanente (15Bar)	[%]	Pm
Densidad Aparente del Suelo	[g/cm ³]	Da
Conductividad Eléctrica	[dS/m]	Ce
pH del suelo	[adim]	pH
Materia Orgánica	[%]	Mo
Nitrógeno Total	[%]	NT
Nitratos	[ppm]	NTR
Fósforo	[ppm]	P
Potasio	[ppm]	K
Calcio	[ppm]	Ca
Magnesio	[ppm]	Mg
Hierro	[ppm]	Fe
Zinc	[ppm]	Zn
Manganeso	[ppm]	Mn
Cobre	[ppm]	Cu

clarecimiento del tipo de suelo y su grado de fertilidad, por lo que serán parte de los atributos de la TOP de las áreas que se desean procesar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **Figura 3** se muestra un diagrama general de la metodología propuesta. Según la flecha (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo), los pasos son los siguientes:

- 1) Definición de la geometría y partición de la región, la cual será el objeto de la clasificación del suelo.
- 2) Cálculo del número de muestras de suelos a tomar en la región de trabajo.
- 3) Método de muestreo conveniente para la toma de las muestras.
- 4) Metodología para la toma de las muestras de suelo.
- 5) Estimación de cada uno de los atributos para los nodos de la red de la región de trabajo y la determinación del error de las estimaciones para cada atributo.

- 6) Clasificación del tipo de suelo, índice de confiabilidad en la clasificación y el grado de fertilidad para cada nodo de la red de la región de trabajo.
- 7) Obtención para cada clasificación del tipo de suelo, grado de fertilidad, cultivos propuestos, las posibles enfermedades, sus remedios y el coeficiente de costo aproximado por hectárea.

Se detalla cada uno de los pasos del procedimiento propuesto.

1) Definición de la geometría y partición de la región, el cual será el objeto de la clasificación del suelo.

Será necesario tener las coordenadas planas de los límites de la región objeto, como son los valores mínimos y máximo del ancho horizontal y los valores mínimo y máximo del ancho vertical, ambos de la región. Además se necesita definir las dimensiones de la celda, producto de la partición rectangular de la región.

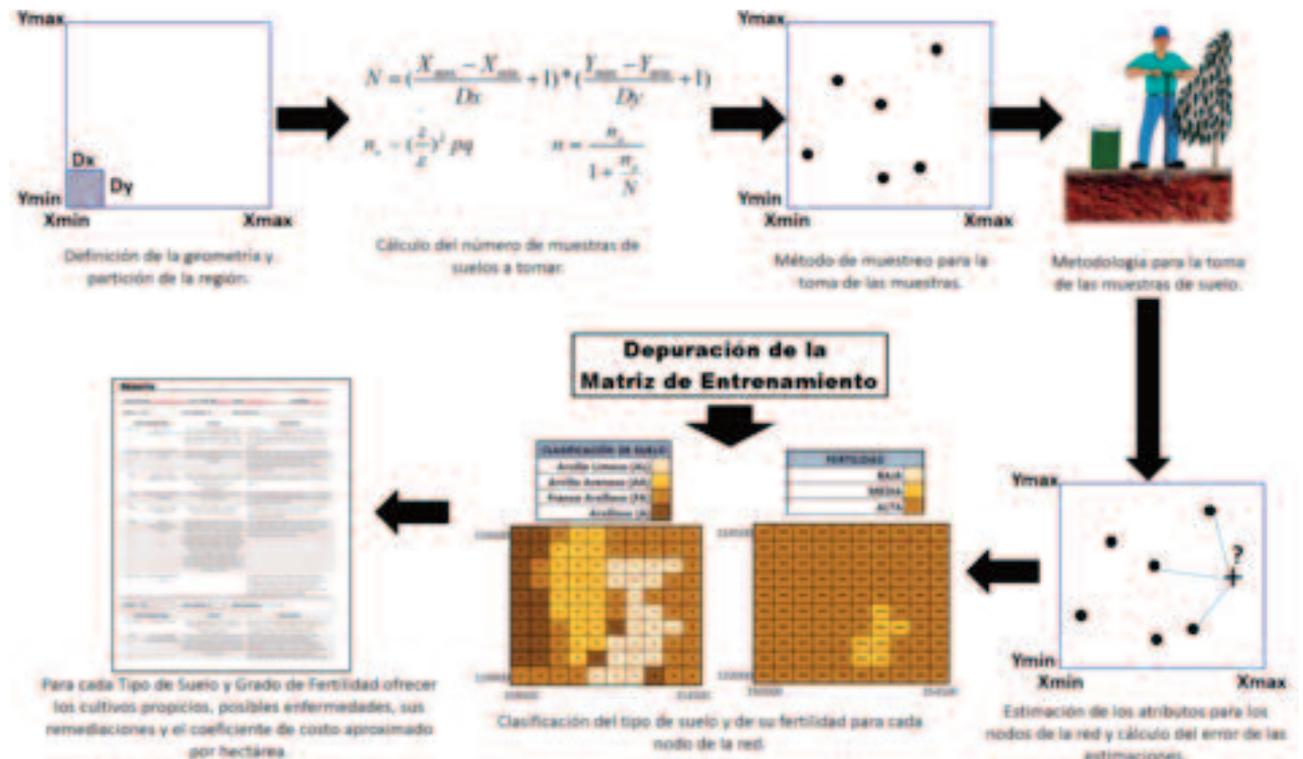


Tabla 2. Índice de fertilidad para cada atributo (IFA).

Atributo	IFA		
	Bajo	Medio	Alto
CE ⁽¹⁾	<2	[2, 8]	>8
pH ⁽²⁾	<5	[5, 7]	>7
MO ⁽²⁾	<2	[2, 10]	>10
NT ⁽⁴⁾	<0.08	[0.08, 0.15]	>0.15
NTR ⁽²⁾	<15	[15, 50]	>50
P ⁽²⁾	<12	[12, 50]	>50
K ⁽²⁾	<60	[60, 200]	>200
Ca ⁽³⁾	<800	[800, 3000]	>3000
Mg ⁽³⁾	<600	[600, 1800]	>1800
Fe ⁽²⁾	<5	[5, 50]	>50
Zn ⁽²⁾	<2	[2, 10]	>10
Mn ⁽²⁾	<5	[5,50]	>50
Cu ⁽²⁾	<0.5	[0.5, 20]	>20

⁽¹⁾ Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura INTAGRI (2017).

⁽²⁾ Ortiz, 2013.

⁽³⁾ Molina y Meléndez, 2002.

⁽⁴⁾ Ramírez, *et al.*, 2015.

2) **Cálculo del número de muestras de suelos a tomar en la región de trabajo.**

En la **Ecuación 1**, N representa el total de elementos de la población, la cual está determinada por la cantidad de nodos de la región de trabajo.

$$N = \left(\frac{X_{\max} - X_{\min}}{Dx} + 1 \right) \left(\frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Dy} + 1 \right) \quad (1)$$

Donde:

- N Total de elementos de la población.
- Xmin, Xmax Valores mínimos y máximos del ancho horizontal del área.
- Ymin, Ymax Valores mínimos y máximos del ancho vertical del área.
- Dx, Dy Dimensiones de las celdas de la partición rectangular de la región.

Las **Ecuaciones 2 y 3** proporcionan el cálculo de la cantidad real de muestras necesarias a tomar para garantizar un muestreo correcto desde el punto de vista cuantitativo.

$$n_o = \left(\frac{z}{\epsilon} \right)^2 pq \quad (2) \quad n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} \quad (3)$$

Donde

- ϵ Error posible en el intervalo: $0.01 \leq \epsilon \leq 0.1$.
- z Se toma como 1.96 para un nivel de confianza de un 95 %.
- q Probabilidad en el intervalo: $0.01 \leq q \leq 0.1$.
- p Complemento de probabilidad: $p=1-q$.
- N Total de elementos de la población.
- no Cantidad teórica de elementos de la muestra (Dixon y Massey, 1966; Spiegel, 1971; Ostle, 1977).
- n Cantidad real de muestras necesarias.

3) **Método de muestreo conveniente para la toma de las muestras.**

Se propone el método de selección aleatorio sistemático, el cual calcula el parámetro ce en la **Ecuación 4** (Dixon y Massey, 1966; Spiegel, 1971; Ostle, 1977):

$$ce = \frac{N}{n} \quad (4)$$

4) Metodología para la toma de las muestras de suelo.

Están establecidas por la práctica una serie de recomendaciones para el muestreo de los suelos (Franco, 2010), son:

- a) Se muestrea el suelo a una profundidad de 20 centímetros tomando de 20 a 25 submuestras por cada muestra a enviar al laboratorio de análisis de suelo, utilizando un barreno de suelo o una pala pequeña.
- b) Se extraerán las submuestras eliminando terrones, piedras y plantas.
- c) Distribución de los puntos de las submuestras siguiendo una dirección en zig-zag o equis dentro de la parcela.
- d) Mezclar todas las submuestras sobre un plástico grande de forma homogénea y seleccionar de ella una muestra representativa de un peso aproximado de 1 kg.
- e) Recolectar la muestra en doble bolsa plástica con una etiqueta adjunta, la cual indicará los datos específicos de la muestra (fecha, nombre del productor, nombre de finca, comunidad, municipio, y otros elementos identificativos). Evitar envolver en papel periódico para que no haya alteraciones en el contenido de nutrientes de la muestra recolectada.
- f) Las actividades de muestreo se realizarán después de la cosecha en la época que los suelos se encuentren con menos humedad, antes de fertilizar.
- g) La frecuencia del muestreo se hará en un intervalo de tres a cinco años.

5) Estimación de cada uno de los atributos para los nodos de la red de la región de trabajo y la determinación del error de las estimaciones para cada atributo.

Si se lleva a cabo una toma de muestra de suelo

conforme a lo explicado con anterioridad, con todos los requerimientos expuestos, se dice que la muestra es probabilística, entonces se estimará cada uno de los atributos de las muestras de suelos en los nodos de la región de trabajo, mediante el método de interpolación ponderado por el inverso de la distancia (Davis, 1986; Henríquez y otros, 2013).

Si no se tomarán espacialmente las muestras de suelo, acorde a los requerimientos en el paso anterior (paso 4), la muestra no sería probabilística, esto implicaría que pudieran aparecer agrupaciones de muestras en forma de cúmulos, entonces sería conveniente estimar cada uno de los atributos de las muestras de suelos, en cada uno de los nodos de la región, por el método de regionalización de variables Kriging (Davis, 1986). Para estimar el error de la regionalización de la variable se utiliza el método de validación cruzada (Cross Validation) (Davis, 1986).

6) Clasificación del tipo de suelo, índice de confiabilidad en la clasificación y el grado de fertilidad para cada nodo de la red de la región de trabajo.

En este paso será necesario explicar, previamente, el proceso de depuración de la matriz de aprendizaje (MA) de la TOP suministrada en cada caso particular de un área de trabajo determinado, antes de entrar en los detalles del proceso mismo de clasificación en cada uno de los nodos de la red.

Depuración de la matriz de aprendizaje

Se seleccionan los atributos más significativos para la TOP, para ello se aplica el método de componentes principales (CP). Esta es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.

Con respecto a la depuración de la matriz de aprendizaje, se tratará en todo lo posible de tolerar las

posibles contaminaciones, debido a la clasificación a priori de las clases, para esto se implementará el método de selección y comparación del vecino más cercano (Nearest Neighbor) (Schulcloper, 1990).

Como el espacio es métrico, se utilizará alguna variante de la distancia euclidiana como medidas de similitud para este tipo de espacio y comprobar con cuál de ellas la eficiencia en la clasificación es mayor (Schulcloper, 1990).

Los atributos de la matriz de aprendizaje (MA) se someterán a una transformación de rango, como la normalización o la tipificación (Spiegel, 1971), para eliminar el inevitable efecto de las diferencias de rangos.

La clasificación de una muestra de suelo en el tipo de suelo irá acompañada de un índice de confiabilidad de la clasificación (ICC) (**Ecuación 5**).

$$ICC(O_o) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Signo_i}{Dist_{i_o}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Dist_{i_o}}} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

Dist_{i_o} Distancia del objeto O_o a clasificar respecto al objeto i-ésimo más cercano de la matriz de aprendizaje.

Signo_i Tiene valor de 1 si C_i = C_o y valor de -1 si C_i <> C_o (donde C_i es la clase del objeto i-ésimo más cercano de la matriz de clasificación y C_o es la clase del objeto a clasificar).

7) Obtención para cada clasificación del tipo de suelo, grado de fertilidad, cultivos propuestos,

las posibles enfermedades, sus remediaciones y el coeficiente de costo aproximado por hectárea.

Posterior a la clasificación de los tipos de suelo, se calcula el porcentaje de área que corresponde a cada clasificación (sobre la base del área total de trabajo) y se estima el costo aproximado para el cultivo seleccionado en cada tipo de suelo.

Con respecto a la fertilidad, esta será escalonada en tres niveles: bajo, medio y alto (**Figura 4**). A esta escala se le adjunta un rayo numérico para tratar de cuantificar y de generalizar el nivel de fertilidad para los atributos fisico-químicos obtenidos en el laboratorio o simplemente estimados por el método de interpolación. Se considera el nivel bajo de fertilidad en un rango de 1 a 4. El nivel medio de fertilidad estará en el rango de 4 a 7 y finalmente el nivel alto de fertilidad estará en el rango de 7 a 10.

Se harán las definiciones de los siguientes índices:

Índice de fertilidad por atributo (IFA). Cada atributo aportará con su valor una contribución a la fertilidad total de la muestra (**Tabla 2**). Para los rangos de contribución a la fertilidad de los atributos: conductividad eléctrica y nitrógeno total, fue necesario auxiliarse de las tablas 3 y 4.

- Si el atributo correspondiente clasifica como bajo, entonces el IFA=1.
- Si el atributo correspondiente clasifica como medio, entonces el IFA=5.5.
- Si el atributo correspondiente clasifica como alto, entonces el IFA=10.



Figura 4. Índice de fertilidad (IF) asociado a un rayo numérico en el intervalo de 1 a 10.

Índice de fertilidad (IF). Es un valor que se encuentra en el rango de 1 a 10 y que transita por cada una de las categorías de la fertilidad de una muestra de suelo dada, por lo que el índice de fertilidad se calcula a partir de los índices de fertilidad de cada atributo, mediante una media pesada por los pesos informativos de cada atributo que participa en el cálculo y que fueron establecidos mediante la aplicación del método de CP, esto es:

$$IF = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{var}}} (P_{\text{Info}_i})(IFA_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{var}}} (P_{\text{Info}_i})} \quad (6)$$

Si IF es <4, entonces la fertilidad se clasifica como **baja**.

Si IF está en el intervalo 4, 7, entonces la fertilidad se clasifica como **media**.

Si IF es >7, entonces la fertilidad se clasifica como **alta**.

Grado de certeza del índice de fertilidad. Indica la seguridad que se tiene al resultar un valor de índice de fertilidad determinado desde el punto de vista porcentual. A partir de las **ecuaciones 7, 8 y 9**, se estimará el grado de certeza de la fertilidad a partir de la ubicación del índice de fertilidad.

Si la fertilidad clasifica como baja, el grado de certeza porcentual será:

$$CF = 100\left(\frac{4 - IF}{3}\right) \quad (7)$$

Si la fertilidad clasifica como media, el grado de certeza porcentual será:

$$CF = \begin{cases} 100\left(\frac{7 - IF}{1.5}\right) & IF > 5.5 \\ 100\left(\frac{IF - 4}{1.5}\right) & IF < 5.5 \end{cases} \quad (8)$$

Tabla 2. Índice de fertilidad para cada atributo (IFA).

Atributo	IFA		
	Bajo	Medio	Alto
CE ⁽¹⁾	<2	[2, 8]	>8
pH ⁽²⁾	<5	[5, 7]	>7
MO ⁽²⁾	<2	[2, 10]	>10
NT ⁽⁴⁾	<0.08	[0.08, 0.15]	>0.15
NTR ⁽²⁾	<15	[15, 50]	>50
P ⁽²⁾	<12	[12, 50]	>50
K ⁽²⁾	<60	[60, 200]	>200
Ca ⁽³⁾	<800	[800, 3000]	>3000
Mg ⁽³⁾	<600	[600, 1800]	>1800
Fe ⁽²⁾	<5	[5, 50]	>50
Zn ⁽²⁾	<2	[2, 10]	>10
Mn ⁽²⁾	<5	[5, 50]	>50
Cu ⁽²⁾	<0.5	[0.5, 20]	>20

⁽¹⁾ Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura INTAGRI (2017).

⁽²⁾ Ortiz, 2013.

⁽³⁾ Molina y Meléndez, 2002.

⁽⁴⁾ Ramírez, *et al.*, 2015.

Tabla 3. Relación de la escala de conductividad, las clases salinas y los efectos en los cultivos.

Escala de conductividad [ds/m a 25°C]	Clase de salinidad	Efectos en los cultivos	Nivel de Fertilidad
0-2	No salino	Efecto despreciable de salinidad	Alto
2-4	Ligeramente salino	Rendimiento de cultivos muy sensibles pueden ser restringidos	Medio
4-8	Medianamente Salino	Rendimientos de muchos cultivos son restringidos	Medio
8-16	Fuertemente Salino	Solo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente	Bajo
>16	Extremadamente Salino	Muy pocos cultivos tolerantes con rendimiento satisfactorio	Bajo

Tabla 4. Clasificación según el nitrógeno total [%] (Tomado de: <http://www.agroinformación.com>).

Nitrógeno total [%]	Clasificación	Nivel de fertilidad
<0.05	Muy Bajo	Bajo
[0.05, 0.08)	Bajo	Bajo
[0.08, 0.10)	Levemente bajo	Medio
[0.10, 0.15)	Normal	Medio
[0.15, 0.18)	Levemente alto	Alto
≥0.18	Alto	Alto

Si la fertilidad clasifica como alta, el grado de certeza porcentual será:

$$CF = 100\left(\frac{IF - 7}{3}\right) \quad (9)$$

Rendimientos de los cultivos. No todos los cultivos tendrán la misma respuesta a un mismo nivel de salinidad. Algunas especies producen rendimientos aceptables a niveles altos. Cultivos sensibles tienen rendimientos pobres al incrementar mínimamente la

CE del suelo. La diferencia de estas especies está estrechamente relacionada con su fisiología, y para ser más precisos con la adaptación osmótica (reducen su potencial osmótico al igual que el agua salina) que tienen sus raíces para mantener el flujo de agua del suelo hacia ellas (Rodríguez y otros, 1977).

CONCLUSIONES

Se propuso un procedimiento general para el pronóstico del tipo de suelo y su grado de fertilidad como herramienta para la agricultura de precisión, el cual tributa sus resultados al proyecto AGRICOS de la empresa Getinsoft.

La importancia de este procedimiento es que:

- ? Involucra normas adecuadas del muestreo espacial del suelo.
- ? Incluye el método Kriging de interpolación como alternativa al inverso de la distancia, para la regionalización de los atributos edáficos, pues es un método que representa mejor la naturaleza del atributo a regionalizar.
- ? Propuesta de aplicación del método de componentes principales para determinar los atributos más importantes en la depuración de la matriz de aprendizaje para la clasificación del tipo de suelo y su grado de fertilidad.
- ? Definición del índice de fertilidad por atributo, el índice de fertilidad del suelo y el grado de certeza de este índice, los cuales aportarán un criterio adecuado a la contribución del conocimiento de la fertilidad del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agronoticias, 2018, Aplicar en México agricultura de precisión es todo un reto económico.htm. Sitio: <http://www.agromarketing.mx/empresas/aplicar-en-mexico-agricultura-de-precision-todo-un-reto-economico/>, [Consultado: mayo de 2019].

Aguilar, A., Etchevers J., Castellanos J.Z., 1987, Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Ed. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/medida.htm> Methods of Soils Analysis Part 3 – Chemical Methods Ed. D.L. Sparks.

Bautista, F., Rivas S. H., Durán C., Palacio G., 1998, Caracterización y clasificación de suelos con fines productivos en Córdoba, Veracruz, México, 1998. Boletín de Investigaciones Geográficas, no 36. Sitio: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46111998000200003. [Consultado: mayo de 2019].

Catálogo aGRICOS revista, 2018, aGRICOS, agricultura de precisión. Soluciones tecnológicas. (sitio: <https://online.flippingbook.com/view/856820/>) [Consultado: mayo de 2019].

Catálogo Getinsoft, 2018, Catálogo v.3.0. Soluciones tecnológicas. (sitio: <https://online.flippingbook.com/view/152869/>) [Consultado: mayo de 2019].

Davis, J. C., 1986, Statistics and data analysis in geology. John Willey and Sons. Inc. New York, 550 pp.

Dixon, W., Massey, F., 1966, *Introducción al análisis estadístico*. Editora del Castillo, Madrid.

Franco, H. F. A., 2010, *Muestreo y metodologías de análisis de suelos con fines de fertilidad*. Multilab, Agroanalítica.

Hernández, A. J.; Pérez J. M. J.; Bosch, D. I.; Castro, N. S., 2015, Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Instituto de Suelos, Ediciones INCA. ISBN: 978-959-7023-77-7. http://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/clasificacionsueloscuba_%202015.pdf [Consultado: mayo de 2017].

Henríquez, C.; J. C. Méndez, R. Masis, 2013, Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el análisis Kriging y su validación. Agronomía costarricense 37(2): 71-82. ISSN: 0377-9424/2013. Sitio: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/12763>. [Consultado: mayo de 2017].

- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (Intagri)**, 2017, La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>. [Consultado: mayo de 2017].
- Méndez, J. C.; F. Bertsch**, 2012, El uso de bases de datos en el estudio de la fertilidad de los suelos agrícolas de Costa Rica: Estado actual y principales cambios en el tiempo. IAH 8 -Diciembre 2012. <http://www.suelos.ucr.ac.cr/htdocs/acces/> [Consultado: mayo de 2019].
- Maldonado-Zapata, G. S.**, 2016, *Determinación de la aptitud de uso del suelo en la comunidad de Karhuiza, La Paz*. Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. Carrera de Ingeniería Agronómica.
- Molina, E., G. Meléndez**, 2002, *Proyecto de calidad de cultivares de café bajo diferentes condiciones de suelos y cobertura de sombras en cinco municipios de Las Segovias*, UCATSE, UNA, PAC, Exportadora Atlantic S. A.
- Nolasco, M., Willington E., Bocco M.**, 2014, Clasificación del uso de suelo en agricultura a partir de series temporales de imágenes LANDSAT. 6° Congreso Argentino de AgroInformática, CAI 2014. 43 JAIIO-CAI 2014-ISSN 1852-4850 - Página 64. Sitio: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/41984>. [Consultado: mayo de 2017].
- Ortiz, R. I.**, 2013, *Evaluación de dosis y fuentes de enmiendas calcáreas en la fertilidad del suelo y el crecimiento de piña en finca Tres Amigos, Pital, San Carlos*. Trabajo final de graduación presentado a la Escuela de Agronomía como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede regional San Carlos.
- Ostle, B.**, 1977, *Estadística Aplicada*. Editora Científico-Técnica. Ciudad de La Habana, 629 pp.
- Ramírez, J. F., Y. Fernández, P. J. González, X. Salazar, J. M. Iglesias y Y. Olivera**, 2015, Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrus maximus*. *Pastos y Forrajes*. Vol. 38. No. 4, octubre-noviembre, 393-402.
- Rodríguez, J.; C. Sierra, F. Araos**, 1977, Nivel de fertilidad de los suelos de la Zona Centro-Norte. *Ciencia e Investigación Agraria*. Vol. 4 No. 4. Octubre-diciembre 1997. ISSN 0304-5609.
- Schulcloper, J. R.**, 1990, *Modelos Matemáticos para el Reconocimiento de Patrones*. Facultad de Matemática, Física y Computación. Universidad Central de Las Villas (Folleto), pp. 245.
- Spiegel. M. R.**, 1971, *Teoría y problemas de estadística*. Editora Ciencia y Técnica. Instituto Cubano del Libro. La Habana, 359 pp.
- Villatoro, M.; Henríquez, C.; Sancho, F.**, 2008, Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía costarricense* 32(1): 95-105.

Fue:	recibido	10-marzo-2020
	corregido	14-mayo-2020
	aprobado	29-mayo-2020