

METODO PARA EL MEJORAMIENTO DIFERENCIAL DE LA FERTILIDAD
DE SUELOS AGRICOLAS MEDIANTE LA INTEGRACION ESPACIAL
PONDERADA DE MULTIPLES VARIABLES AGRONOMICAS

5

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se ubica dentro del campo técnico de la agronomía, y más específicamente, a métodos que permiten ayudar a mejorar las técnicas agrícolas en suelos.

10

Así, la presente invención está dirigida a un proceso que corresponde a un modelo de gestión integral para la recopilación geo localizada, procesamiento y análisis de múltiples variables agronómicas a escala detallada, que permite caracterizar los diferentes micro ambientes productivos de un predio cultivado, contrastarlos con índices de desarrollo/vigorosidad obtenidos satelitalmente y seleccionar las combinaciones físicas, químicas y estructurales del suelo que han logrado mayor desarrollo y representatividad para usarlas como patrón en el modelamiento de planes de gestión diferencial, sistemática y evolutiva para el mejoramiento de la fertilidad en el cultivo. De este modo, el presente método es en esencia la estructuración, sistémica, ordenada y trazable de procesos operativos, tecnológicos y analíticos previamente validados que en conjunto permiten desarrollar una agricultura evolutiva sustentada en identificar al interior de un cultivo específico, los microambientes más eficientes, representativos y parametrizables, para replicarlos de manera diferencial en todo el cultivo y avanzar evolutivamente en el mejoramiento de la fertilidad apoyados con herramientas y algoritmos especializados en el autoaprendizaje supervisado.

15

20

25

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

30

Así las cosas, en el estado del arte existe una pluralidad de divulgaciones relacionadas con herramientas que pueden ser usadas para mejorar la fertilidad de suelos en campos agrícolas, dentro de las que se encuentra el documento

RU 2747930 que se relaciona con un método que incluye la distribución uniforme de polvo de tabaco sobre la superficie del suelo, junto con la aplicación uniforme en el área a ser tratada de un componente que acelera la descomposición de dicho polvo de tabaco, donde dicha aplicación se hace por medio de la inserción de unos discos en el suelo a una profundidad específica entre 5 y 10 cm una vez al mes antes de realizar la siembra de cultivos agrícolas. Preferiblemente, se utiliza desperdicio de azúcar como componente para acelerar la descomposición del tabaco.

- 10 Así mismo, se tiene la divulgación CN 112740862 que enseña un método para el mejoramiento del suelo y la aplicación del mismo, donde dicho método se basa en el hecho que se adopta un acondicionar para mejorar el ambiente d suelo de suelos ácidos, y dolomita, ceniza de planta, sepiolita, espirulina, un portador orgánico y otros materiales que son proporcionados para preparar el
- 15 acondicionador, de modo que se puede mejorar efectivamente el efecto del suelo y la fertilidad de éste, mientras se ajusta la acidez de dicho suelo. Adicionalmente, el portador orgánico debe ser empapado en agua de amonio, y se adiciona feniletilamina bajo una condición de calentamiento para someter el componente orgánico a una interacción sinérgica, y así lograr el objetivo de la
- 20 mejora de la fertilidad del suelo.

- De otra parte, en el estado del arte está el documento CN 111328685 que divulga un método de irrigación agrícola multimodal, el cual se basa en una información de suelo adquirida mediante el internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés),
- 25 donde dicho método permite plantear una ayuda para resolver el problema de la utilización de información de agrícola recolectada y realizar irrigación efectiva automática. De este modo, una serie de nodos son usados para transmitir datos a un control maestro y corresponden a nodos de recolección de datos sobre la humedad del suelo, con los cuales se crea una estructura de paquete de datos
- 30 con la información recolectada sobre la humedad y fertilidad del suelo para poder tomar decisiones. Este método tiene los efectos que se puede lograr la transmisión efectiva de datos de nodo y el uso de la información recolectada en

cada nodo, de modo que se puede realizar la correspondiente irrigación de acuerdo con la información nodal.

Finalmente, se encuentra el documento RU 2455660 relacionado con un método para la identificación acelerada de contornos internos estables de campo de fertilidad de suelos en campos agrícolas, en donde el método se basa en la determinación de una serie de factores sobre la base de escaneo, utilizando sistemas para la activación paralela de agregados agrícolas usando sistemas de posicionamiento global (GPS) o GLONASS. Luego, se genera un mapa electrónico del suelo analizado, donde se identifican los contornos agrícolas, y se toman muestras del suelo usando dispositivos de navegación portátiles para análisis agroquímico y mediante la introducción de dosis diferenciadas de fertilizantes, de acuerdo con la información recolectada de las muestras de suelo tomadas y los criterios topográficos, así como los contornos agrícolas identificados.

A partir de la información anterior, es claro que los documentos existentes en el estado del arte corresponden a una serie de métodos que permiten ayudar a mejorar la fertilidad del suelo, donde en algunos casos esto se logra mediante la aplicación de una serie de productos que bajan la acidez del suelo o la ajustan de acuerdo con los requerimientos, y en otros casos se hace mediante herramientas electrónicas que ayudan a hacer un mapa digital e identificar ciertas zonas que deben ser tratadas, con el fin de hacer el método más automático y fácil de utilizar.

De acuerdo con la información anterior, es claro para el experto en la materia que en el estado del arte existe una necesidad por diseñar e implementar un método para el mejoramiento de la fertilidad de suelos, el cual se adapte de forma específica al suelo donde se va a realizar, es decir, que sea diseñado de forma concreta para la tipología del suelo a tratar, y donde el método permita realizar la aplicación automática de irrigación o de fertilizantes que permitan mejorar el suelo. Adicionalmente, se hace necesario que se cuente con

información geolocalizada y se tengan en cuenta las variables agronómicas detalladas a una escala deseada, para poder determinar los ambientes productivos de un área específica, teniendo un punto de comparación y así tomar las decisiones acertadas al respecto.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

Considerando los problemas y/o necesidades anteriores mencionadas, los presentes inventores han propuesto un nuevo método para el mejoramiento
10 diferencial de la fertilidad de suelos agrícolas mediante la integración espacial ponderada de múltiples variables agronómicas, el cual se basa en la gestión geo espacializada de recopilación, procesamiento, análisis y retroalimentación de variables físicas, químicas y biológicas de suelo, agua, ambiente y planta a escala detallada, que permite identificar los diferentes micro ambientes
15 productivos de cualquier cultivo, y evaluar su relación con índices de desarrollo/vigorosidad obtenidos satelitalmente y determinar el desarrollo del cultivo en cada microambiente, seleccionar los de mejores resultados y determinar las combinaciones multivariadas más exitosas, representativas y replicables para usarlas como patrón en el modelamiento de planes de gestión
20 diferencial, sistemática y evolutiva para el mejoramiento de la fertilidad en el cultivo.

Así las cosas, el método de la presente invención corresponde o se basa en la utilización de Inteligencia Artificial en la estructuración, sistémica, ordenada y
25 trazable de procesos operativos, tecnológicos y analíticos previamente validados que en conjunto permiten desarrollar una agricultura evolutiva sustentada en identificar al interior de un cultivo específico, los microambientes más eficientes, representativos y parametrizables, para replicarlos de manera diferencial en todo el cultivo y avanzar evolutivamente en el mejoramiento de la fertilidad apoyados
30 con herramientas y algoritmos especializados en el autoaprendizaje y aprendizaje profundo (Deep learning).

De forma concreta, el método de la presente invención cuenta con los pasos de delimitación física del área cultivada, pre-identificación sensorizada de microambientes productivos, caracterización geolocalizada de la distribución de minerales y demás variables en el suelo, el agua, la planta y el ambiente, 5 caracterización fisicoquímica del contenido y distribución espacial de arenas, limos, arcillas, materia orgánica, dureza, densidad y profundidad efectiva del suelo, integración y depuración no supervisada de los datos recopilados en una base de datos espaciales, modelamiento de mapas predictivos de la presencia y distribución de minerales, análisis geoestadístico por IDW, IDW2 y medias 10 móviles, para determinar microambientes de mayor fertilidad, representatividad y vigor en el cultivo, modelamiento digital de planes específicos para gestión de fertilidad por microambientes productivos, implementación de procesos de fertilización diferencial autónoma por microambientes productivos vía empapado y foliar, monitoreo satelital a la evolución de los cultivos, y retroalimentación de 15 resultados para replica evolutiva periódica del método en el cultivo.

De acuerdo con lo anterior, el método de la presente invención permite el mejoramiento diferencial de la fertilidad de suelos agrícolas mediante la integración espacial ponderada de múltiples variables agronómicas, al tiempo 20 que también permite la implementación de estrategias de Inteligencia artificial y agricultura 4.0 en cualquier tipo y tamaño de cultivos eliminando la brecha tecnológica de los agricultores en países en desarrollo frente a economías agrícolas mucho más desarrolladas, como se encuentran en países desarrollados. Así mismo, el método de la presente invención tiene la 25 característica que se adapta a cualquier esquema local productivo y permite la construcción de una gran base de conocimiento sin depender de maquinaria especializada, al tiempo que permite aprender de los resultados inmediatos, sistematizar múltiples variables y perfeccionar de manera evolutiva los métodos productivos de locales.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La presente invención se entiende de forma más clara a partir de las siguientes figuras donde se muestran los pasos asociados al presente método o proceso, así como las características novedosas con respecto al estado del arte, en donde las figuras no pretenden limitar el alcance de la invención, el cual está únicamente dado por las reivindicaciones adjuntas, en donde:

La Figura 1 corresponde a un diagrama de flujo del método de mejoramiento de fertilidad de suelos de la presente invención, donde se muestran todas las etapas que forman parte del mismo y que permiten obtener un resultado deseado y claramente superior a lo existente en el estado del arte.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención está dirigida a un método para el mejoramiento diferencial de la fertilidad de suelos agrícolas mediante la integración espacial ponderada de múltiples variables agronómicas, el cual está basado en la gestión integral para la recopilación geolocalizada, el procesamiento y el análisis de múltiples variables agronómicas a escala detallada, para determinar los diferentes ambientes productivos de un área o campo cultivado.

De esta forma, la Figura 1 presenta los pasos generales que debe cumplir el método de la presente invención, con el fin de cumplir con el objetivo de mejorar la fertilidad de suelos agrícolas, en donde dicho método comprende o consiste esencialmente, en general, sin limitaciones, de las siguientes etapas o pasos:

- a) Identificar límites del cultivo
- b) Diseñar distribución de toma de muestras geo localizadas de suelo, agua y plantas
- c) Muestrear de suelo, agua y planta con mínimo 6 muestras diferenciadas por hectárea

- d) Envío de datos de geolocalización de muestras a la nube
- e) Digitalizar en pantalla el polígono de los límites físicos del cultivo sobre imagen satelital de la zona
- f) Análisis físico, químico, y biológico de las muestras tomadas usando
5 sensores electrónicos capacitivos, espectrofotómetros y/o métodos estándar de laboratorio
- g) Caracterización ambiental y Análisis satelital de índices de salud/vigorosidad del cultivo
- h) Interpolación geolocalizada IDW-IDW2 de resultados de los análisis
- 10 i) Identificación de microambientes productivos;
- j) Identificación del microambiente objetivo: microambiente con valor de NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) más aproximado por arriba al valor NDVI promedio del cultivo;
- k) Construcción de mapas de distribución de variables físicas, químicas y
15 biológicas de suelo, agua y planta
- l) Construcción de mapas de distribución de variables físicas, químicas y biológicas de suelo, agua y planta tales como Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl), Silicio (Si), Azufre (Z) y aluminio (Al), y las condiciones de éste, tales como pH, humedad, conductividad eléctrica, salinidad y temperatura en el suelo, el contenido y distribución espacial de arenas, limos, arcillas, materia orgánica, dureza, densidad y profundidad efectiva del suelo;
- 20 m) Alimentación de base de datos geográfica con el muestreo geolocalizado, la caracterización ambiental, los análisis satelitales y los resultados de los análisis físicos, químicos y biológicos
- 25 n) Análisis con modelos de aprendizaje profundo (Deep learning) de Inteligencia Artificial para encontrar las combinaciones de variables físicas, químicas y biológicas de suelo, agua y planta más representativas del microambiente objetivo
- 30 o) Modelamiento autónomo de enmiendas para replica diferencial del microambiente objetivo en todos los microambientes del cultivo

- p) Construcción de planes de gestión para el mejoramiento diferencial de la fertilidad en el cultivo;
- q) Implementar procesos asistidos de fertilización diferencial por microambientes productivos por empapado y foliar;
- 5 r) Monitoreo satelital, evaluación de resultados y retroalimentación evolutiva del sistema.

Así las cosas, este método es aplicable a cualquier tipo de cultivo, y es necesario inicialmente identificar visualmente sus límites y diseñar distribución de toma de

10 muestras geo localizadas de suelo, agua y plantas buscando que se cubra de manera homogénea y representativa totas las áreas del mismo, procediendo a tomar las muestras de suelo, agua y planta con métodos standard de la agronomía procurando tomar como mínimo 6 muestras diferenciadas por hectárea , la geolocalización e identificación de las muestras se realiza con la

15 ayuda de dispositivos móviles y la utilización de un aplicativo que permita la gestión georreferenciada de datos y el envío de datos de geolocalización de las muestras a la nube, posteriormente se procede a identificar y digitalizar en pantalla el polígono de los límites físicos del cultivo sobre imagen satelital de la zona; luego se procede a realizar el análisis físico, químico, y biológico de las

20 muestras tomadas, esto puede ser usando sensores electrónicos capacitivos tipo mod-bus, espectrofotómetros y/o métodos estándar de laboratorio, de manera alterna se procede a la caracterización ambiental de la zona y el análisis satelital de índices de salud/vigorosidad del cultivo y utilizar modelos matemáticos de IDW-IDW2 aplicados a datos geo referenciados para obtener una Interpolación

25 predictiva y geolocalizada de los resultados de los análisis y construir mapas predictivos de la distribución de variables físicas, químicas y biológicas de suelo, agua y planta tales como Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl), Silicio (Si), Azufre (Z) y aluminio (Al) , pH, humedad,

30 conductividad eléctrica, salinidad y temperatura en el suelo, el contenido y distribución espacial de arenas, limos, arcillas, materia orgánica, dureza, densidad y profundidad efectiva del suelo y otros que sean necesarios según los

requerimientos edafoclimáticos de cada cultivo, con ellos se procede a la alimentación de una base de datos geográfica con el muestreo geolocalizado, la caracterización ambiental, los análisis satelitales y los resultados de los análisis físicos, químicos y biológicos de las muestras y los mapas predictivos que de ellas se derivaron, para que sobre todos estos datos se pueda aplicar análisis de Inteligencia Artificial diseñados para encontrar las combinaciones de variables físicas, químicas y biológicas de suelo, agua y planta más representativas del microambiente objetivo, entendido este como aquel microambiente con valor de NDVI más aproximado por arriba al valor NDVI promedio del cultivo el cual servirá de patrón para que los algoritmos implementados puedan realizar un modelamiento autónomo de enmiendas para replica diferencial del microambiente objetivo en todos los microambientes del cultivo utilizando una grilla cuadriculada de 10 metros de lado de la cual se calcula la profundidad efectiva y la densidad aparente del suelo para saber el peso del suelo en cada unidad de análisis y emplearlo para calcular los kilogramos de nutrientes a aplicar de cada elemento, esto en conjunto deriva en la construcción de planes de gestión para el mejoramiento diferencial de la fertilidad en el cultivo.

Una vez definido el plan de gestión para el mejoramiento diferencial de la fertilidad en el cultivo se pasa a implementar los procesos de fertilización diferencial por microambientes productivos que pueden ser por fuentes o abonos comerciales aplicados directamente al suelo, por empapado o foliar según sea el caso; esto generará resultados en el corto plazo los cuales serán objeto de monitoreo satelital que utilizando análisis de respuesta espectral permitirá la evaluación de índices como NDVI para cuantificar resultados y retroalimentación evolutiva, permanente y periódica del sistema.

La anterior descripción define las modalidades preferidas de la invención y se enumera una pluralidad de pasos que permiten llevar a obtener un resultado para el método que se desea proteger. Sin embargo, un experto en la materia entiende y conoce claramente que los pasos anteriormente definidos no están limitados a un orden específico, sino que se pueden llevar a cabo en cualquier

orden, dependiendo de su aplicación, donde dicho orden de pasos pretende estar cubierto por el presente documento y se contempla la realización de los pasos del método en cualquier orden deseado.

- 5 Aunque la presente invención ha sido definida en términos de las modalidades y/o configuraciones preferidas que permiten obtener el resultado deseado, se entiende entonces que dentro de la presente divulgación se contemplan las múltiples modificaciones y/o alternativas que se puedan derivar de forma evidente para un experto en la materia, razón por la cual el alcance de la presente
- 10 invención no está definido únicamente por las implementaciones preferidas definidas acá, sino que, por el contrario, el mismo está enteramente definido por las reivindicaciones adjuntas.