

SISTEMA Y MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE FENOTIPADO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS

5

CAMPO DE LA TÉCNICA

La presente invención se relaciona con el campo técnico de la fenómica, en especial, el fenotipado de cultivos agrícolas. Particularmente, la presente
10 invención se refiere a un sistema y método para el fenotipado de múltiples cultivos a gran escala y con alta resolución, empleando adquisición y procesamiento remoto de datos por medio de una amplia variedad de sensores.

15 OBJETO DE LA INVENCION

Proporcionar un método y/o sistema que permita la caracterización de rasgos fenotípicos de cultivos en tiempo real, y su correspondiente análisis de correlación con el genotipo, por medio de adquisición y procesamiento de datos
20 adquiridos por diferentes sensores remotos de manera síncrona o asíncrona. El método y/o sistema permite identificar la respuesta de la planta a estreses bióticos y abióticos, y facilitar el desarrollo y mejoramiento de variedades agrícolas de mayor tolerancia a dichos estreses.

25

ESTADO DE LA TÉCNICA

La fenómica se centra en medir diferentes rasgos de ciertos organismos, en diferentes niveles ontogenéticos y bajo diferentes entornos. Involucra la
30 aplicación y desarrollo de herramientas para el descubrimiento de tales rasgos.

En el desarrollo de los cultivos, los cultivadores lo usan para satisfacer la creciente demanda de variedades estables y flexibles. El progreso en la aplicación del enfoque fenómico en grandes poblaciones reproductivas o paneles de diversidad ha sido retrasado por tres desafíos: 1) Restricciones en la capacidad de fenotipado de campo y la caracterización ambiental, 2) los costos de tecnologías convencionales como las comunicaciones de persona a persona y persona-computador; y 3) el análisis de los datos recopilados.

Las técnicas no destructivas de fenotipado de alta precisión han ganado interés como una forma eficiente de elucidar la expresión genética de los cultivos dentro de entornos específicos.

Las tecnologías de fenotipado de alto rendimiento es empleada en el cultivo de plantas y la agricultura de precisión, para desentramar rasgos cualitativos claves involucrados en la respuesta de las plantas al estrés biótico y abiótico, y que facilitarían el proceso de tamizaje para el desarrollo de nuevas variedades mejoradas de plantas para diferentes condiciones de campo.

La solicitud de patente US 2017/032544 muestra un método implementado por computadora, que comprende: recibir, en uno o más dispositivos informáticos, una o más especificaciones y una o más limitaciones de recursos para un cultivo que se está monitoreando; generar, en uno o más dispositivos informáticos, una simulación utilizando un algoritmo de aprendizaje automático para determinar si una o más especificaciones y una o más restricciones dan como resultado una solución de crecimiento para el cultivo, la simulación está limitada aún más por los datos históricos sobre uno o más variables que afectan la producción de cultivos; recibir, en uno o más dispositivos informáticos, una modificación de al menos una restricción después de que la simulación no genere una solución de cultivo para el cultivo; y ejecutando, en uno o más dispositivos informáticos, la simulación para predecir el crecimiento del cultivo a intervalos de tiempo

específicos de un ciclo de cultivo para el cultivo después de la simulación que genera una solución de cultivo para el cultivo.

La patente US 5,253,302 muestra un método para la clasificación óptica automática de plantas que comprende los pasos de: (a) obtener una imagen de una planta con una cámara de video en color; (b) digitalizar en píxeles las señales de video en color obtenidas por la cámara de video en color; (c) clasificar en píxeles las señales de video de color digitalizadas de acuerdo con clases de color predeterminadas, comprendiendo dichas clases de color conjuntos de vectores de color dispuestos arbitrariamente a los que se atribuye un código de clase respectivo bajo aprendizaje supervisado sobre la base de su pertenencia a las mismas regiones significativas ; (d) segmentar la imagen de la planta de al menos una de la imagen del fondo y las imágenes de diferentes partes de la planta entre sí sobre la base de la asignación de los píxeles de la imagen almacenada a las clases de color predeterminadas; (e) determinar al menos una de las características de forma geométrica y características de color a partir de al menos una de la imagen segmentada de la planta y las imágenes segmentadas de las partes de la planta; y (f) evaluar al menos una de las características de formulario y características de color determinadas para derivar una medida de calidad.

La patente US 6,009,186 muestra un método para cosechar material de cultivo agrícola por medio de una máquina, que comprende los pasos de: determinar una proporción de al menos un producto en una mezcla de productos que contienen frutas y cuerpos extraños a la fruta mediante los siguientes pasos secundarios: tomar fotografías en el infrarrojo cercano mediante un aparato en dicha máquina para obtener al menos una imagen inicial de la mezcla a examinar; umbralización que comprende la asignación, a cada píxel de la imagen, de uno de cada dos niveles de gris extremos, correspondiente al nivel de gris inicial del píxel en relación con un umbral determinado; y cálculo de dicha proporción que comprende el registro, en al menos una zona de la imagen

producida por el umbral, del número de píxeles de al menos un nivel de gris extremo para determinar una relación de área entre zonas ocupadas respectivamente por material de cultivo y cuerpos extraños en el imagen; y usando la proporción determinada para adaptar al menos un parámetro operativo de la máquina que tiene un efecto sobre dicha proporción.

De acuerdo a estado de la técnica citado, la presente invención resuelve la problemática relacionada con los procedimientos de caracterización de fenotipado de cultivos, proporcionando un sistema que integra un componente estructural, electrónico y de soporte lógico para realizar la medición y transmitir datos de variables del suelo, atmosféricas y de plantas en tiempo real a estaciones fijas geo-referenciadas.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

5

La presente invención surge como respuesta a la necesidad de resolver los diferentes problemas relacionados con los métodos de fenotipado de cultivos agrícolas de grandes extensiones y paneles de diversidad mediante un sistema que integra procesos y transmite datos de variables del suelo, atmosféricas y de plantas en tiempo real a estaciones fijas geo-referenciadas a través de un entorno de almacenamiento en la nube, y en un motor impulsado por una base de datos para el análisis y la visualización en la web, que captura datos fenotípicos de fuentes distribuidas, tanto fijas como móviles terrestres y aéreas.

10

15 La descripción de la realización de la presente invención, no pretende limitar su alcance, sino servir como un ejemplo particular de la misma. Se espera que una persona versada en la materia comprenda que las modalidades equivalentes no se apartan del espíritu y alcance de la presente invención en su forma más amplia.

20

Para una mejor comprensión de la presente invención, a continuación, se detallarán ciertos términos técnicos utilizados en la descripción de la misma.

25

Dentro del contexto de la presente invención, se entenderá “fenotipado” como la forma de caracterizar la expresión genética de cultivos en entornos específicos.

30

La presente invención revela un sistema para el fenotipado de cultivos agrícolas, que comprende tres componentes: un componente mecánico-estructural, un componente electrónico y un componente de soporte lógico.

El sistema de la presente invención integra dichos componentes para caracterizar cultivos de forma no destructiva con variables medibles relacionadas con el suelo, la atmósfera y las plantas para incrementar la capacidad del personal encargado de realizar estudios o identificación genética de los mismos para abarcar largas extensiones de cultivos agrícolas.

La presente invención resuelve la problemática derivada de las restricciones en la capacidad de fenotipado de campo y la caracterización ambiental; los costos de tecnologías convencionales como las comunicaciones de persona a persona y persona-computador; y el análisis de los datos recopilados.

El sistema objeto de la presente invención mide variables del suelo, de la planta y de la atmósfera, por medio de sensores dedicados y las procesa por medio de microcontroladores embebidos. Los estados de las variables medidas son coordinados por el microcontrolador central que contiene un módulo Wi-Fi, otro de 3G y otro de LoRa que es una tecnología de red de área amplia y baja potencia. De igual manera el sistema comprende una cámara de bajo costo con filtro multiespectral para la captura de imágenes, que son procesadas in-situ para el cálculo de diferentes índices/rasgos de la planta.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5

Las figuras 1 a 6 revelan un dispositivo de soporte que es el componente estructural del sistema, donde el dispositivo de soporte se divide en cuatro partes: un cuerpo de anclaje (10) unido a un cuerpo inferior (20) que está asociado a un cuerpo telescópico intermedio (30) y este está unido a un cuerpo superior (40) con dos grados de libertad rotacionales (cintura y hombro).

Donde la figura 1 es una vista isométrica del dispositivo de soporte, la figura 2 una vista frontal, la figura 3 una vista lateral.

15 El cuerpo de anclaje (10) tiene un vástago (11) en forma de eje sobre el cual se forma o fija un medio de anclaje como una rosca o hélice (12), para poderse fijar el dispositivo de soporte de manera estable al suelo. El cuerpo de anclaje (10) podría tener otras realizaciones como bridas o soportes para ser fijado a una base fija o móvil.

20

El cuerpo inferior (20) contiene la unidad central de procesamiento para manipular mediciones del suelo, una batería recargable alimentada por paneles solares y aditamentos de sensores del suelo. Este módulo puede trabajar de manera independiente, con la unidad central de procesamiento para la comunicación de estados de manera inalámbrica sobre su parte superior. Este cuerpo inferior (20) contiene además una cavidad hueca que es una la cámara con volumen controlado (21) para medición de gases de efecto invernadero, donde se pueden ubicar por ejemplo sensores de metano u óxido nitroso.

25 30 El cuerpo intermedio (30) contiene un cuerpo telescópico retráctil que extiende la altura relativa del cuerpo superior hasta 2 metros y se ajusta en tiempo real al

crecimiento de los cultivos. Esto permite mantener el nivel de resolución y minimizar las varianzas en las medidas por imágenes de la planta, así como maximizar la captura de fotones en los paneles fotovoltaicos.

- 5 El cuerpo superior (40) que contiene una unidad de comunicación inalámbrica (que puede instalarse en el cuerpo inferior para que éste pueda operar de manera autónoma), sensores de variables atmosféricas y un brazo (41) con efector final de cámara multiespectral (210) para calcular el índice diferencial de vegetación (o NDVI por sus siglas en inglés) de un cultivo. Todas las partes se
10 comunican a través de un bus común.

- La figura 4 revela el dispositivo de soporte donde el cuerpo intermedio (30) tiene un grado de libertad traslacional a lo largo del eje de referencia Z ejecutado por el cuerpo intermedio (30), un grado de libertad rotacional alrededor del eje de
15 referencia Z ejecutado por el cuerpo superior (40) y un grado de libertad rotacional ejercido por el brazo (41), en el extremo distal del brazo (41) se ubica la cámara multiespectral (210). Donde el brazo (41) tiene un grado de libertad rotacional para maximizar la exposición a la radiación de los paneles fotovoltaicos, permitir la captura de imágenes en diferentes puntos del cultivo, y
20 minimizar el perfil del sistema ante condiciones de viento extremas debidas a retracción automática en velocidades de viento superiores a 60km/h.

- La figura 5 revela el dispositivo de soporte en una vista superior donde se muestra el grado de libertad rotacional del cuerpo superior (40).

25

La figura 6 revela una vista isométrica inferior del dispositivo de soporte, y muestra el cuerpo inferior (20), el cuerpo intermedio (30) y el cuerpo superior (40).

- 30 La figura 7 asociada a las figuras 1 a 6 revela el sistema para caracterización de fenotipado, conformado por al menos un dispositivo de soporte que incluye un

microcontrolador central (100) que puede estar embebido conectado a sensores atmosféricos (110) ubicados en el cuerpo superior (40), donde el microcontrolador de cámara (200) adquiere señal de la cámara multispectral (210) ubicada en el extremo distal del brazo (41); donde el microcontrolador central está conectado a un microcontrolador de base (300) que adquiere señales de los sensores de suelo (310); donde el microcontrolador central (100) obtiene energía de una unidad reguladora (400) que es alimentada por un panel solar (500); donde el sistema para caracterización de fenotipado que además tiene una unidad de comunicación (600) que incluye a un enrutador (610) que está conectado a la internet (620) y a la nube.

Donde los cuerpos intermedios (30) y cuerpo superior (40) tienen asociados a una unidad motriz (320) que incluye el controlador de motores (329) y los motores de elevación (321) asociado al cuerpo intermedio (30) y el motor de giro (322) y motor de brazo (323) asociados al cuerpo superior (40).

El cuerpo superior (40) de la estructura que dispone el componente estructural del sistema realiza la medición de las variables atmosféricas: velocidad y dirección del viento, humedad relativa y temperatura del aire, concentración de metano en el aire libre a través de los sensores atmosféricos (110).

Donde los sensores atmosféricos (110) pueden incluir de manera parcial, combinada o completa, sensores seleccionados entre: sensor de velocidad y dirección del viento (111), sensor de humedad relativa (112), sensor de temperatura (113), sensor de concentración de metano (114), sensor de radiación (115), entre otros sensores.

En una modalidad particular, el sistema utiliza un sensor de velocidad del viento QS-FS con 0,2 m/s como umbral inicial y una precisión de 1 m/s. Esta unidad cuenta con un voltaje de salida entre 12 y 24 V que se convierte en forma digital a través de un ADC.

El sistema emplea un protocolo de comunicación estándar Modbus para transmitir estos datos a la central de procesamiento en el cuerpo superior del componente estructural del sistema. Esto se complementa con una unidad de
5 dirección del viento que entrega entre 0 y 12 V de forma proporcional a la orientación relativa.

En una modalidad particular, el sistema emplea un sensor para medir la humedad relativa y la temperatura atmosférica. La humedad relativa varía entre
10 0 y 100%, RH con una precisión de 4,5% y una precisión de 0,1% RH, con un tiempo de respuesta de 8 segundos. Nuevamente, este sensor es análogo por lo que su señal es convertida a digital con una resolución de 12 bits, 0,05% RH/bit. Puede operar entre -40 y 124 ° C con una precisión de 0,5 ° C y una resolución de 0,1 ° C. Tiene un tiempo de respuesta de 30 segundos.

15 En una modalidad particular, el sistema utiliza un sensor para medir el nivel de radiación solar. Tiene una sensibilidad de 0.2 mV por $\mu\text{mol} / \text{mms}$, un factor de calibración de 5.0 $\mu\text{mol} / \text{mss}$ por mV (recíproco de la sensibilidad), con una incertidumbre de calibración de $\pm 5\%$, un repetibilidad menor al 1%, con un drift
20 menor al 2% por año y no linealidad menor al 1% (hasta 4000 $\mu\text{mol} / \text{mms}$).

En una modalidad particular, el sistema emplea un sensor de metano CH₄ que detecta concentraciones entre 300 y 10000 partes por millón (ppm) en el aire libre, que tiene el propósito de lograr una medida diferencial entre el sensor
25 atmosférico de metano (114) respecto a la medición del sensor de metano (314) en la cámara con volumen controlado (21) del cuerpo inferior (20). Tiene una salida análoga, funciona con +5,0 voltios y consume en promedio 150 miliamperios.

30 Además, donde en la parte inferior del dispositivo de soporte tiene ubicados un mínimo de cuatro sensores de suelo (310) instalados en o sobre el suelo que

adquiere datos de las variables de pH (311), la humedad (312), la temperatura (313) y un sensor concentración de metano (314) ubicado en la cámara con volumen controlado (21).

- 5 En una modalidad particular, el sistema emplea un sensor de pH (311), el cual mide el rango de 0 a 14 con un voltaje lineal de salida entre 0 y 5 V, con un error de +/- 0,1 pH.

- 10 En una modalidad particular, el sistema emplea un sensor de pH (311) que requiere de una pre-calibración con un fluido de referencia. La unidad consume 10 mA, tiene un tiempo de respuesta de 60 segundos y opera con una humedad relativa del 95% y una humedad nominal relativa de 65%.

- 15 En una modalidad particular, el sistema tiene un punto de referencia cero en 7,0 ± 0,5 pH y ofrece un error alcalino de 0,2 pH. Su temperatura de trabajo se mantiene en un rango entre -10 y 50° C y nuevamente su señal análoga de salida entre -400 y 400 mV requiere, además, de un conversor ADC.

- 20 En una modalidad particular, el sistema emplea un sensor de humedad (312) especificado como un sensor capacitivo que opera a + 5,0 voltios a 10 mA, con un tiempo de respuesta de 10 ms para determinar la humedad del suelo. Utiliza un sensor para medir la humedad del suelo, entregando una salida de 0-3 voltios y con una precisión del 2%. Esta señal es convertida en digital mediante un conversor ADC de 14 bits.

- 25 En una modalidad particular, el sistema emplea un sensor de temperatura (313) con un rango entre -55 y 125 °C, con una precisión de 0,5 °C, para medir la temperatura del suelo. Requiere de un ADC de 12 bits y una conexión I2C, a una tasa de 750 ms por conversión.

30

En una modalidad particular, el sistema emplea un sensor de CH₄ metano (314) que detecta concentraciones entre 300 y 10.000 ppm, en el volumen controlado del cuerpo inferior (que tiene el propósito de lograr una medida diferencial con el nivel de metano en aire libre, en el módulo superior). Tiene una salida análoga, funciona con +5,0 voltios y consume en promedio 150 miliamperios.

Donde la unidad de regulación (400) esta tiene un regulador (410) conectado a un regulador para los motores (430) y un regulador de los microcontroladores (440); donde el regulador (410) está conectado a una batería (420); donde la unidad de regulación (400) es alimentada por un panel solar (500).

La fuente de alimentación está conformada por un panel solar (500), el cual tiene una variación de voltaje, para lo cual se emplea un regulador que asegura un voltaje fijo todo el tiempo. El regulador suministra el voltaje para cargar la batería, de la cual sale el voltaje de alimentación para dos reguladores más, un regulador para la tensión de los motores y otro regulador para la tensión de los microcontroladores, los cuales se habilitan dependiendo de si se está sensando variables o se envía una señal hacia los actuadores (motores).

En una modalidad particular, el cuerpo superior (40) del dispositivo de soporte del sistema integra una cámara (210) al final del brazo rotado por gravedad (41) para captura de imágenes NIR, multiespectral, térmicas y RGB que permite la recolección de datos para calcular el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) en plantas, además niveles de nitrógeno en hoja. Esto se procesa a través de una unidad de microprocesamiento embebida, o un microcontrolador embebido, donde esta unidad de procesamiento embebida se refiere e incluye por ejemplo placas base o placas reducidas.

En una modalidad particular, la cámara es del tipo PiNoIR V2.

Además, el sistema tiene una plataforma de software que ejecuta el análisis de los datos recopilados, donde la plataforma de software integra los mencionados componentes, configurándose en el sistema los siguientes elementos y fuentes

5 de datos:

- Los nodos fijos geo-referenciado de sensado de bajo costo para las variables de suelo / plantas / aire;
- Las unidades móviles (en tierra o aéreas, drones),
- 10 - Imágenes satelitales,
- Una arquitectura de red inalámbrica distribuida de largo alcance y bajo consumo con capacidad de descarga / carga desde la nube, y
- Herramientas de procesamiento y análisis de datos en la nube.

15 En una modalidad preferida de la invención, se realiza la medición con cada sensor con un tiempo de muestreo predeterminado entre 1 minuto a 24 horas. Para esto los microcontroladores se encienden, se da un tiempo de espera para estabilización de la señal, se toma la muestra de todos los sensores, se enciende el circuito Wi-Fi/3G o LoRa, se envía la información de cada sensor y finalmente

20 se apaga el microcontrolador hasta el próximo evento de sensado. Los datos son transmitidos de manera inalámbrica y se almacenan en una plataforma de software (base de datos temporizada).

El microcontrolador de base controla el movimiento del cuerpo del sistema mecánico articulado mediante los actuadores o motores de dos maneras:

25 primero con un algoritmo que con valores predeterminados y una periodicidad definida activa el motor de elevación para que el cuerpo se desplacé en el eje vertical con el objetivo de incrementar su altura de manera proporcional al crecimiento de la planta o (2) mediante la cámara que realiza captura de

30 imágenes, el algoritmo realiza un procesamiento de dichas imágenes y envía una señal al motor de elevación para desplazarse o no en el eje vertical

dependiendo del crecimiento de la planta. Asimismo, en el momento que el actuador de elevación se eleva, el actuador de giro hace las diferentes capturas de imágenes.

- 5 En la modalidad preferida de la invención, donde el cuerpo superior (40) del dispositivo de soporte que constituye el componente estructural, tiene tres grados de libertad con un movimiento traslacional de entre 60 a 120 cm, en el cuerpo intermedio, uno rotacional de entre 180 a 360 grados y uno rotacional de entre 0 a 180 grados en el brazo, donde todos los ejes son accionados por
10 motores DC sin escobillas, o motores paso a paso de imán permanente, alimentados por energía eléctrica, derivada de la fuente solar.

El componente electrónico del sistema comprende un grupo de micro-controladores alimentados por energía eléctrica derivada de la fuente solar que
15 se encargan del sensado, las comunicaciones inalámbricas y el control de los actuadores, conectados a un servicio alojado en la nube.

El sistema provee un análisis de imágenes digitales adquiridas por medio de cámaras de infrarrojo cercano NIR, multiespectrales, térmicas y RGB para
20 calcular los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en terrenos agrícolas a través de una plataforma de detección proximal de alta precisión y bajo costo.

El sistema comprende, además, un soporte lógico a partir de un sistema operativo basado en microcontroladores que impulsa los mecanismos y
25 componentes electrónicos y, a su vez, de un portal web para extraer, almacenar, monitorear, clasificar y procesar datos en tiempo real.

Los experimentos en campo demuestran que los valores calculados de NDVI
30 están altamente correlacionados con las mediciones de NDVI proporcionadas

por un espectro-radiómetro profesional ASD-FieldSpec 2, el cual opera en un rango de 325 – 1075 nm.

La figura 8 revela el flujo de trabajo y los datos NDVI para un cultivo ejemplo de Brachiaria, que compara los datos obtenidos con un dispositivo comercial NDVI, habiendo una relación directamente proporcional entre NVDI espectro en función del NVDI de la presente invención.

El sistema emplea un método empírico de calibración en línea (ELCM) para el ajuste radiométrico de la cámara, como lo muestra la figura 8.

El componente del soporte lógico del sistema incluye un portal con una interfaz gráfica de usuario (GUI) específico para usuarios y agricultores generales.

El “back-end” se estructura de la siguiente forma:

- Un API para mapas (con navegación y geo-referenciación de objetos en el mapa): Google Earth, un CMS de back-end, que los usuarios pueden manipular en lenguaje natural y a través de un navegador estándar, con soporte para varios idiomas: WordPress, Joomla, Drupal.
- Un diseño de base de datos para el almacenamiento temporal de variables de estado: MySQL. Esta base de datos se utiliza recolectar los datos en tiempo real.
- Servicios web administrables: SOA, SOAP.
- Capacidad de programación e incorporación de scripts de procesamiento y análisis a través de Python.
- Soporte para plataformas móviles: iOS o Android.

La estructura de la base de datos con referencia a las fuentes de sensado, contiene las siguientes tablas:

- 5
 - Región (contiene: país, sub-región, agricultor – alfanumérico)
 - Cultivos (tipos de cultivos: granos, arroz, Brachiaria, yuca, caña, otras por definir – alfanumérico)
- 10
 - Genotipos por cultivo (contiene código alfanumérico y descripción, ej. G1, G2, G3 ... Gn)
 - Redes (estaciones: nombre, región, sub-región, satélite, móvil o fija – alfanumérico)

15

Cada definición de red contiene soporte para los siguientes elementos:

- Estación satélite (imágenes satelitales en áreas específicas y contiene: nombre del satélite, origen, región, fecha y hora).
- 20
 - Estaciones móviles (contiene: nombre, sub-región, cultivo, autonomía de vuelo, datos de trayectoria temporizada en forma de puntos de paso - o coordenadas geográficas, imágenes 2D y 3D). Permite al usuario seleccionar la trayectoria registrada que debe seguir un dron en el tiempo planeado.
- 25
 - Estaciones fijas (1, 2, n) que contiene: nombre, sub-región, cultivo, coordenadas, y provee información sobre el:
 - 30
 - a) Entorno climático (ej. precipitación, dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, CO2, CH4, radiación). Cuenta con la

posibilidad de añadir componentes de sensado, como etiquetas asociadas con los tipos de datos declarados posteriormente.

5 b) Plantas (ej. índices numéricos de vegetación, imágenes 2D y 3D, videos...) Cuenta con la posibilidad de añadir nuevas etiquetas asociadas con los tipos de datos declarados posteriormente.

10 c) Suelo (ej. temperatura, humedad relativa, N2, pH, contenido de agua, contenido gravimétrico...). Cuenta con la posibilidad de añadir nuevas etiquetas asociadas con los tipos de datos declarados posteriormente.

15 Los tipos de datos esperados serían: Numéricos (enteros, flotantes), Imágenes (en bruto, JPG, PNG), Video (MP4).

El sistema divulgado en la presente invención permite la identificación de relaciones entre el fenotipo y el genotipo.

20 La presente invención además divulga un método para caracterización de fenotipado de cultivos agrícolas que comprende las etapas de:

- a. Energizar el sistema por medio de un panel solar (500) y transmitir energía hacia la unidad de regulación (400).
- b. Activar sensores (110) (210) (310).
- 25 c. Adquirir datos desde los sensores (110) (310).
donde los sensores adquieren señales del suelo y atmosféricos;
donde los sensores atmosféricos (110) son de velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura, concentración de metano, sensor de radiación, entre otros sensores; y
30 donde los sensores del suelo (310) son de pH, humedad y temperatura.

- d. Ajustar posición del dispositivo de soporte, por medio de una unidad motriz (320) que incluye el controlador de motores (329) y los motores de elevación (321) asociado al cuerpo intermedio (30) y el motor de giro (322) y motor de brazo (323) asociados al cuerpo superior (40).
- 5 e. Calibrar para ajuste radiométrico de la cámara (210).
- f. Adquirir imágenes con cámara (210) del tipo multiespectral.
- g. Transmitir de datos adquiridos por medio de una unidad de comunicación (600) que incluye un enrutador (610).
- h. Detener e hibernar y volver a la etapa b.
- 10 i. Procesar imágenes y datos adquiridos por los sensores (110) (210) (310).
- j. Calcular el NVDI para caracterizar el fenotipo con asociación al genotipo.
- 15 Donde en la etapa c., se hace una medición diferencial en ppm entre el sensor de metano (114) y el sensor de metano (314) contenido en la cámara con volumen controlado (21).

Así de la manera anteriormente descrita la presente invención divulga un sistema y método para la caracterización de fenotipado de cultivos agrícolas, que incluye tres componentes: estructural, electrónico y de soporte lógico, que resuelve la problemática derivada de las restricciones en la capacidad de fenotipado de campo y la caracterización ambiental; los costos de tecnologías convencionales como las comunicaciones de persona a persona y persona-computador.

otra, además se ha relacionado con el sistema de referencia de dibujo técnico ISO E.

5 Aunque la presente invención ha quedado descrita con las realizaciones preferentes mostradas, queda entendido que las modificaciones y variaciones que conserven el espíritu y el alcance de esta invención se entienden dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

10

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

5 Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características técnicas del invento, se acompaña a la presente memoria descriptiva como parte integrante de la misma, un conjunto de figuras definidas así:

10

Figura 1. Vista isométrica general del dispositivo de soporte.

Figura 2. Vista frontal del dispositivo de soporte.

15

Figura 3. Vista lateral del dispositivo de soporte.

Figura 4. Vista frontal del dispositivo de soporte.

Figura 5. Vista superior del dispositivo de soporte

20

Figura 6. Vista isométrica general del dispositivo de soporte.

Figura 7. Esquema general del sistema para caracterización de fenotipado de cultivos agrícolas.

25

Figura 8. Esquema de procesamiento de imágenes y comparación.

Figura 9. Captura de pantalla de una visualización de la interfaz gráfica del sistema.