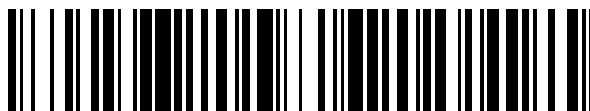


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 597 742**

51 Int. Cl.:

A01G 7/00 (2006.01)

A01M 7/00 (2006.01)

G01N 21/27 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.05.2013 PCT/DE2013/000274**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.12.2013 WO13182179**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.05.2013 E 13732811 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2016 EP 2854506**

54 Título: **Método para determinar sin contacto el estado nutricional actual de un cultivo vegetal y para procesar esta información**

30 Prioridad:

04.06.2012 DE 102012010912

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

20.01.2017

73 Titular/es:

**YARA INTERNATIONAL ASA (100.0%)
Bygdoy Allé 2
0240 Oslo, NO**

72 Inventor/es:

REUSCH, STEFAN

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 597 742 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para determinar sin contacto el estado nutricional actual de un cultivo vegetal y para procesar esta información

5 La invención se refiere a un método para determinar sin contacto el estado nutricional actual de un cultivo vegetal según el preámbulo de la reivindicación 1.

Estado de la técnica

10 Se conoce de la publicación DE 10 2005 0503 02 A1 un método para averiguar sin contacto el estado nutricional actual de un cultivo vegetal y para procesar esta información considerando parámetros adicionales como el tipo de fruto y/o la variedad y/o la fase de desarrollo y/o el objetivo de rendimiento en una recomendación de abonado, en el que se captura, de una parte del cultivo vegetal, al menos una imagen digital a través de un sistema de captura de imágenes en canales de al menos dos espectros, partiendo de la imagen se determina el estado nutricional actual mediante un análisis de la imagen y, de este último, se extrae la recomendación de abonado.

15 Este estado de la técnica conocido cuenta con la desventaja de que el sistema de captura de imágenes requiere una superficie de referencia con la que se tienen que calibrar radiométricamente los grados de reflexión de los canales de la imagen RGB (del inglés, red, green blue (rojo, verde y azul)).

20 La fijación de la superficie de referencia a los sistemas de captura de imágenes es complicada, y suele provocar anomalías cuando se utiliza en la agricultura en condiciones adversas, de modo que no se pueden descartar resultados erróneos o, al menos, mediciones no representativas. Además, la necesidad de montar una superficie de referencia especial en el sistema de captura de imágenes genera costes y esfuerzos adicionales, con lo que el círculo de usuarios se reduce.

Se conoce de las publicaciones US 6 68370 B1, WO 9014635 A1 y US 5 841 883 A el análisis de imágenes digitales de plantas recurriendo a los valores triestímulo de píxeles aislados.

Tarea de la invención

25 Ante este estado de la técnica, la invención tiene como tarea mejorar el método para determinar sin contacto el estado nutricional de un cultivo vegetal y para procesar esta información de forma que, con una exactitud de medida al menos inalterada para los parámetros vegetales, se reduzcan los costes, se consiga un manejo significativamente simplificado para el agricultor y el círculo de usuarios potenciales se amplíe considerablemente.

Esta tarea se resuelve mediante un método del tipo nombrado al principio con las características de la reivindicación 1.

30 De las reivindicaciones dependientes se deducen configuraciones ventajosas del método.

35 La solución según la invención parte del conocimiento de que la imagen digital se calibra por sí misma, mediante la determinación de los valores triestímulo relativos de los píxeles individuales de la imagen en el análisis de la imagen, para las distintas condiciones lumínicas, configuraciones de imagen y sistemas de captura de imágenes después de la captura de la imagen, en el que la proporción de suelo o de fondo no cubierto de plantas es de al menos entre un 10 y un 20 % de la superficie total de la imagen digital.

Ello se consigue mediante las siguientes etapas:

- 40 a) determinar un valor triestímulo para cada píxel de la imagen digital, preferentemente, asignando un tono de color del espacio de color HSB (Hue-Saturation-Brightness), una diferencia V-R (verde menos rojo) o un valor de gris;
- b) elaborar un histograma para todos los valores triestímulo de la imagen;
- c) determinar automáticamente un valor umbral a través de herramientas estadísticas partiendo de la dispersión de los valores triestímulo para separar el histograma en los píxeles que pertenecen al suelo o al fondo, y los que pertenecen a las hojas del cultivo;
- d) binarizar el cultivo con el valor umbral determinado en la etapa c);
- 45 e) determinar la proporción de los píxeles que pertenecen a las hojas en la cantidad total de la imagen y establecer el estado nutricional actual partiendo de esta proporción;
- f) deducir la recomendación de abonado y/o fitosanitaria partiendo del estado nutricional determinado en la etapa e).

Para el procesamiento de la imagen binaria ha resultado ser práctico suavizar los bordes de la imagen binaria mediante erosión o dilatación, eliminar píxeles distorsionados aislados y clasificar los píxeles sobreexpuestos como pertenecientes a las hojas independientemente del valor de estímulo determinado.

5 El método según la invención se caracteriza por que se pueden emplear teléfonos inteligentes o cámaras digitales disponibles habitualmente en el mercado como sistemas de captura de imágenes sin mecanismos adicionales específicos, como soportes y superficies de referencia, y ordenadores disponibles habitualmente en el mercado como sistemas de evaluación de imágenes, descartando las fuentes de error de la calibración de los dispositivos físicos a las distintas condiciones lumínicas, las configuraciones de imagen y los distintos sistemas de captura de imágenes, y simplificando el uso por parte del agricultor.

10 En otra configuración del método según la invención, el sistema de captura de imágenes es mantenido perpendicularmente por el usuario sobre el cultivo vegetal o hacia el fondo para capturar al menos una imagen, esta se guarda y se analiza inmediatamente en el lugar de la captura mediante un algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes consultando los parámetros respectivos, como el tipo de fruto y/o la variedad y/o la fase de desarrollo y/o el objetivo de rendimiento y, a partir de ello, se visualiza y se extrae una recomendación de abonado y/o fitosanitaria actual.

15 Resulta especialmente ventajoso que un sensor de posición dispuesto en el teléfono inteligente garantice que la captura de imagen solo se active si la cámara del teléfono inteligente adopta una posición perpendicular, con lo que se evita la captura de imágenes desde un ángulo oblicuo y, con ello, se descartan fuentes de error adicionales.

20 De forma alternativa, el teléfono inteligente cuenta con un software cliente que dirige la cámara integrada y consulta las entradas de usuario, como el tipo de fruto y/o la fase de desarrollo y/o las expectativas de rendimiento. Las imágenes se almacenan en la memoria intermedia del teléfono inteligente y, finalmente, se envían por medio de una conexión a internet junto con las entradas de usuario consultadas a un servidor central en el que está instalado el algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes. Las imágenes digitales se procesan y se evalúan en el servidor central a través del algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes, se determina la recomendación de abonado y/o fitosanitaria y esta se envía de vuelta al teléfono inteligente por medio de la conexión a internet. Acto seguido, el resultado se muestra en la pantalla del teléfono inteligente mediante el software cliente.

25 Así, con medios sencillos, el agricultor puede obtener valores de medida actuales sobre el estado del cultivo vegetal y adoptar las medidas oportunas para el abonado y/o para la aplicación de productos fitosanitarios.

30 En otra configuración del método según la invención, el algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes está instalado en un servidor central que consulta las entradas de usuario, como el tipo de fruto y/o la variedad y/o la fase de desarrollo y/o el objetivo de rendimiento, por medio de un servicio web implementado en el mismo o en otro servidor y que permite al usuario subir imágenes RGB capturadas anteriormente con una cámara digital al servidor. Estas imágenes se procesan en el servidor junto con las entradas de usuario a través del algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes, y la recomendación de abonado y/o fitosanitaria resultante se visualiza en el navegador de internet del usuario.

35 Resulta especialmente ventajoso que sea posible vincular las imágenes capturadas con la cámara digital con los datos de posición utilizando el receptor GPS integrado en el teléfono inteligente o por red de telefonía móvil y transmitirlos al servidor central, con lo que se pueden generar recomendaciones de abonado y/o fitosanitarias específicas del lugar para el agricultor.

40 Se deducen otras ventajas y detalles de la siguiente descripción con referencia a los dibujos adjuntos.

Ejemplo de realización

La invención se explica a continuación con mayor detalle con dos ejemplos de realización.

45 En estos la Fig. 1a es un ejemplo de una representación esquemática del sistema de captura y de evaluación de imágenes con una cámara digital integrada en un teléfono inteligente con acceso a internet que, durante la captura de la imagen, se mantiene de forma horizontal sobre el cultivo vegetal para la captura de una imagen RGB,

la Fig. 1b es un sistema típico de captura y de evaluación de imágenes con un teléfono inteligente y un servidor local/central,

la Fig. 2 es una representación esquemática del desarrollo del método según la invención,

la Fig. 3 es un ejemplo de una imagen RGB de un quiñón en el que se ha cultivado colza de invierno,

la Fig. 4 es un ejemplo de una imagen en valores triestímulo determinada según el método de la diferencia verde menos rojo (V-R),

5 la Fig. 5 es un ejemplo de un histograma de los valores triestímulo con un valor umbral determinado según el método Isodata,

la Fig. 6 es un ejemplo de una imagen binaria obtenida de la imagen en valores triestímulo mediante la aplicación del valor umbral,

la Fig. 7 es un ejemplo de una imagen binaria suavizada,

10 la Fig. 8 es un ejemplo de la determinación de la absorción de nitrógeno partiendo de la proporción de los píxeles clasificados como hoja,

la Fig. 9 es un ejemplo de una recomendación de abonado con nitrógeno determinada según la invención y

15 la Fig. 10 es otra variante del sistema de captura y de evaluación de imágenes con una cámara digital integrada en un teléfono inteligente con acceso a internet que, durante la captura de la imagen, se mantiene perpendicularmente hacia arriba orientado hacia el follaje de un cultivo arbóreo.

Ejemplo 1

El método según la invención para determinar sin contacto el estado nutricional actual de un cultivo vegetal 1 y para procesar esta información para proporcionar una recomendación para el abonado y/o la protección vegetal del cultivo se aplica en un quiñón en el que se ha cultivado colza de invierno.

20 Como se muestra en la Fig. 1a, para el método según la invención que se realiza de forma manual, el agricultor emplea un teléfono inteligente 2 con acceso a internet como sistema de captura de imágenes, en el que está integrada una cámara digital 3, y como sistema de calibración y de evaluación de imágenes, un algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes implementado en la memoria 4 de un servidor central 5 para llevar a cabo la calibración de una imagen ya capturada y, al mismo tiempo, el análisis de la imagen. Mediante una inspección
25 visual del cultivo vegetal 1, el agricultor comprueba que el cultivo vegetal presente suficiente visibilidad de tierra, esto es, que no esté completamente tapado por plantas. Para que se puedan obtener resultados representativos, se tiene que dar la condición de que al menos del 10 al 20 % del suelo sea visible.

Después de la consulta de datos específicos del cultivo sobre el cultivo vegetal 1, como el tipo de fruto y/o la variedad y/o la fase de desarrollo y/o el objetivo de rendimiento, mediante un software cliente incorporado en el
30 teléfono inteligente 2, las imágenes RGB (rojo-verde-azul) del cultivo 1 capturadas por la cámara digital 3 e incorporadas en su memoria intermedia 6 y los datos de usuario consultados se transmiten por internet 7 al servidor central 5.

La imagen RGB 8 mostrada a modo de ejemplo en la Fig. 3 se calibra en el servidor 5 mediante el algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes y, al mismo tiempo, se procesa para proporcionar una recomendación de
35 abonado y/o fitosanitaria que se envía de vuelta al teléfono inteligente 2 por internet 7 y se visualiza en la pantalla del teléfono inteligente 2 (véase Fig. 1b). En ese momento, si es necesario, el agricultor puede adoptar las medidas oportunas para un abastecimiento óptimo del cultivo vegetal 1.

Sin embargo, la realización del método según la invención no va ligada al servidor central 5, sino que también se puede realizar directamente en el teléfono inteligente 2 si se ha incorporado el algoritmo de calibración y de
40 evaluación de imágenes según la invención en la memoria del teléfono inteligente 2.

De forma alternativa, también es posible subir al servidor 5 las imágenes RGB 8 capturadas previamente con una cámara digital, procesarlas en el servidor 5 junto con las entradas de usuario a través del algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes y visualizar la recomendación de abonado y/o fitosanitaria resultante en el navegador web del usuario.

ES 2 597 742 T3

La cámara digital 3 del teléfono inteligente 2 se sitúa perpendicularmente en una posición horizontal a entre aprox. 1 y 3 m sobre el cultivo vegetal 1, y se captura al menos una imagen RGB 8 del cultivo vegetal 1.

La cámara digital 3 tiene una resolución de, p. ej., 1,3 megapíxeles.

5 El método según la invención se desarrolla, como se muestra esquemáticamente en la Fig. 2, de la siguiente forma.

El agricultor captura una imagen RGB 8 con la cámara digital 3 del teléfono inteligente 2 con acceso a internet, la almacena en la memoria intermedia del teléfono inteligente 2 y envía la imagen 8 por internet 7 al servidor 5, en el que está instalado un algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes para calibrar la imagen RGB y para procesarla (etapa S1).

10 Es indispensable que el cultivo vegetal 1 no cubra completamente el suelo 9, de forma que en la imagen RGB 8 se pueda ver un mínimo de fondo de color distinto al verde, típicamente suelo, y esté lo suficientemente iluminado. Se ha demostrado que un mínimo de entre aprox. un 10 y un 20 % de píxeles de fondo de color distinto al verde es suficiente para alcanzar resultados representativos.

15 Resulta especialmente ventajoso que el agricultor no tenga que hacer preparativos con superficies de referencia ni medios de soporte en la cámara digital 2, y que tampoco tenga que emprender ninguna corrección específica de la cámara.

En la etapa de trabajo S2 se determina un valor triestímulo para cada píxel de la imagen RGB 8, el cual constituye un contraste lo más significativo posible entre el fondo (suelo) y la hoja verde de la planta, y elimina así en gran medida las diferencias de claridad.

20 Para seleccionar el valor triestímulo ha resultado ser especialmente adecuado el croma, es decir, el tono de color, del espacio de color HSB, de forma que el croma se caracteriza por la longitud de onda de la luz que es reflejada o absorbida por un objeto, en este caso, el suelo o las hojas. El tono de color se define mediante su posición en el círculo cromático estándar y puede adoptar ángulos de entre 0 grados y 360 grados. Así, el valor 0 grados = 360 grados define el tono de color rojo, el valor 120, el tono de color verde, y el valor 240, el tono de color azul.

25 Sin embargo, la diferencia de dos canales de color, por ejemplo, la diferencia verde menos rojo (V-R), da lugar a contrastes útiles en la imagen en valores triestímulo, como muestra la Fig. 4.

Partiendo de todos los valores triestímulo de una imagen, en la etapa de trabajo S3 se elabora un histograma, que en la Fig. 5 es un ejemplo de la frecuencia relativa de los píxeles asignados al fondo y a las hojas de las plantas en función de los valores triestímulo.

30 En el histograma se indica un valor umbral determinado automáticamente que permite separar los píxeles que pertenecen al fondo de los píxeles que pertenecen a las hojas. Para determinar automáticamente el valor umbral, se pueden considerar los métodos de Otsu conocidos o el algoritmo Isodata, por ejemplo.

35 Partiendo del histograma elaborado en la etapa de trabajo S4 se puede obtener una imagen binaria en la etapa de trabajo S5. Un ejemplo de una imagen binaria de este tipo se muestra en la Fig. 6, que deja ver claramente bordes y píxeles distorsionados aislados.

Opcionalmente, los bordes y/o los píxeles distorsionados de este tipo se pueden eliminar o suavizar mediante una erosión, es decir, una reducción, y una dilatación, es decir una extensión de los objetos de la imagen. En la Fig. 7 se muestra una imagen suavizada de esta forma.

40 En la etapa de trabajo S6, partiendo de la imagen binaria, se determina la proporción de píxeles clasificados como hoja en la cantidad total de píxeles de la imagen y, después, se determina a partir de ello el estado nutricional actual por medio de funciones de calibración determinadas empíricamente. La Fig. 8 muestra, a modo de ejemplo, la relación entre la proporción de los píxeles de hojas y el estado nutricional en el ejemplo de absorción de nitrógeno de la colza de invierno.

45 En la Fig. 9 se representa un gráfico ilustrativo de una recomendación de abonado con nitrógeno en función de la absorción de nitrógeno determinada en la etapa S6 y del que se puede deducir un objetivo de rendimiento previsto. Así, el agricultor puede adaptar sencillamente el suministro de abono de nitrógeno posterior de acuerdo con sus objetivos de rendimiento.

Ejemplo 2

El método según la invención se emplea en una plantación en la que se han plantado árboles (véase Fig. 10).

5 La cámara digital 3 se orienta perpendicularmente hacia arriba en una posición definida entre los troncos de los árboles y el fondo, o lo que es lo mismo, hacia el cielo, de forma que se tiene que garantizar que el follaje del árbol no cubra completamente el fondo. Es indispensable que al menos entre el 10 y el 20 % del fondo permanezca visible.

En este caso, basta con utilizar la información de la claridad en lugar del tono de color o de la diferencia R-V como valor triestímulo, puesto que el contraste de claridad entre las hojas y el fondo del cielo suele ser muy elevado.

Por lo demás, el desarrollo del método según la invención se corresponde con el del Ejemplo 1.

10 Listado de números de referencia

	Cultivo vegetal	1
	Teléfono digital	2
	Cámara digital	3
	Memoria de 5	4
15	Servidor	5
	Memoria intermedia de 3	6
	Internet	7
	Imagen RGB	8
	Suelo/subsuelo/fondo/cielo	9

20

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar sin contacto el estado nutricional actual de un cultivo vegetal que no está completamente tapado respecto al suelo o que no cubre completamente el fondo, y para procesar esta información considerando otros parámetros como el tipo de fruto y/o la variedad y/o la fase de desarrollo y/o el objetivo de rendimiento para proporcionar una recomendación de abonado y/o fitosanitaria, en el que se captura una imagen digital de una parte del cultivo vegetal compuesta de píxeles en dos canales espectrales a través de un sistema de captura de imágenes, se determina a partir de la imagen el estado nutricional actual partiendo de un análisis de la imagen y se extrae a partir de ello la recomendación de abonado y/o fitosanitaria, caracterizado por que la imagen digital se calibra por sí misma, mediante la determinación de los valores triestímulo relativos de los píxeles aislados de la imagen, para las distintas condiciones lumínicas, configuraciones de imagen y sistemas de captura de imágenes después de la captura de la imagen, en el que la proporción del suelo que no está cubierto de plantas en la superficie total de la imagen digital es de al menos entre un 10 y un 20 %.
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado por las siguientes etapas:
- a) determinar un valor triestímulo para cada píxel de la imagen digital, preferentemente, asignando un tono de color del espacio de color HSB (Hue-Saturation-Brightness), una diferencia V-R (verde menos rojo) o un valor de gris;
 - b) elaborar un histograma para todos los valores triestímulo de la imagen;
 - c) determinar automáticamente un valor umbral a través de herramientas estadísticas partiendo de la dispersión de los valores triestímulo para separar el histograma en píxeles asociados al suelo o al fondo, y a las hojas del cultivo;
 - d) binarizar la imagen con el valor umbral determinado en la etapa c);
 - e) determinar la proporción de la cantidad total de píxeles perteneciente a la imagen que pertenece a las hojas y concluir el estado nutricional actual partiendo de esta proporción;
 - f) deducir la recomendación de abonado y/o fitosanitaria partiendo del estado nutricional determinado en la etapa e).
3. Método según la reivindicación 2, caracterizado por que, en la imagen binaria según la etapa d), los bordes se suavizan mediante erosión o dilatación y se eliminan los píxeles distorsionados aislados.
4. Método según la reivindicación 2, caracterizado por que los píxeles sobreexpuestos se clasifican como pertenecientes a las hojas, independientemente del valor triestímulo determinado.
5. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que el estado nutricional se determina mediante la absorción actual de nitrógeno, particularmente, la cantidad de nitrógeno en la parte aérea del cultivo vegetal por unidad de superficie del suelo.
6. Método según las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la absorción de nitrógeno se deduce de la proporción de píxeles clasificados como hoja según la etapa e) por medio de, al menos, una función determinada empíricamente entre la absorción de nitrógeno y la proporción de los píxeles.
7. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que el sistema de captura de imágenes es mantenido perpendicularmente por el usuario sobre el cultivo vegetal o hacia el fondo para capturar al menos una imagen, la imagen capturada se analiza directamente y se visualiza una recomendación de abonado y/o fitosanitaria actual.
8. Método según la reivindicación 7, caracterizado por que la posición perpendicular del sistema de captura de imágenes es detectada por un sensor de posición que activa la captura de imagen mediante el sistema de captura de imágenes.
9. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que el sistema de captura de imágenes se mueve sobre el cultivo vegetal y, durante el movimiento, se generan continuamente imágenes que se analizan a tiempo real, de forma que se deduce continuamente una recomendación de abonado y/o fitosanitaria actual y esta se transforma en una variable de regulación para un aparato esparcidor que se puede regular de forma variable.
10. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que se utiliza una cámara digital con tres canales espectrales (rojo, azul y verde) como sistema de captura de imágenes y un ordenador para el análisis de la imagen.

ES 2 597 742 T3

11. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que la al menos una imagen digital se transfiere de la cámara digital a un servidor o a un ordenador independiente para la ejecución de la calibración y el análisis de la imagen.

5 12. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que se utiliza como sistema de captura de imágenes un teléfono inteligente con acceso a internet disponible habitualmente en el mercado con una cámara digital integrada, cuya imagen es procesada por el algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes y se visualiza directamente.

10 13. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que se utiliza como sistema de captura de imágenes un teléfono inteligente con cámara o un teléfono móvil con cámara, cuya imagen se transfiere a un servidor de internet, de forma que la calibración y el análisis de la imagen son desarrollados por el algoritmo de calibración y de evaluación de imágenes implementado en el servidor y el resultado del análisis se envía de vuelta y se muestra al usuario.

14. Método según la reivindicación 12 o 13, caracterizado por que las imágenes digitales y/o los resultados de los análisis determinados a partir de las mismas se vinculan con datos de posición obtenidos por un receptor GPS.

15

Fig. 1a

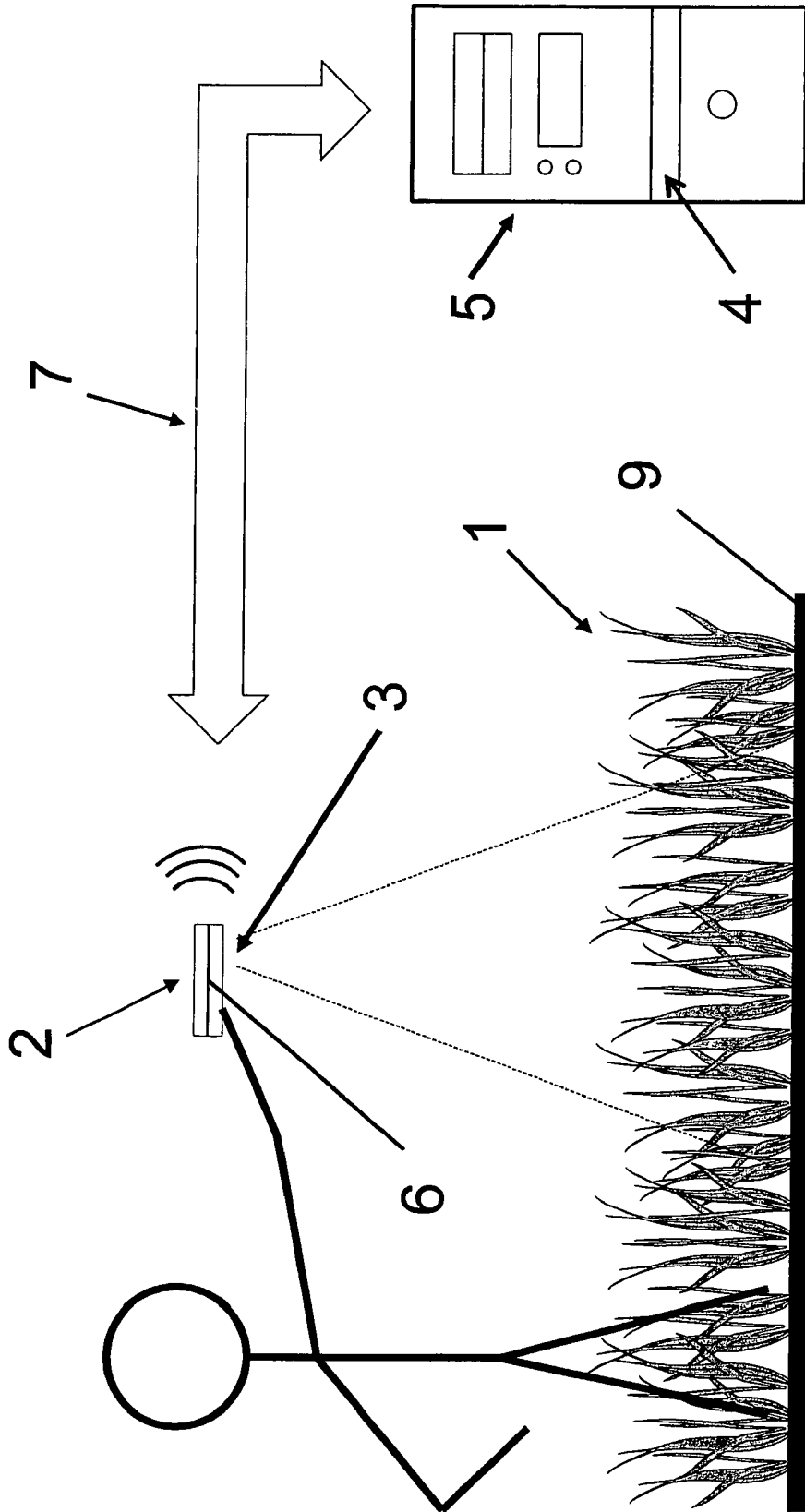
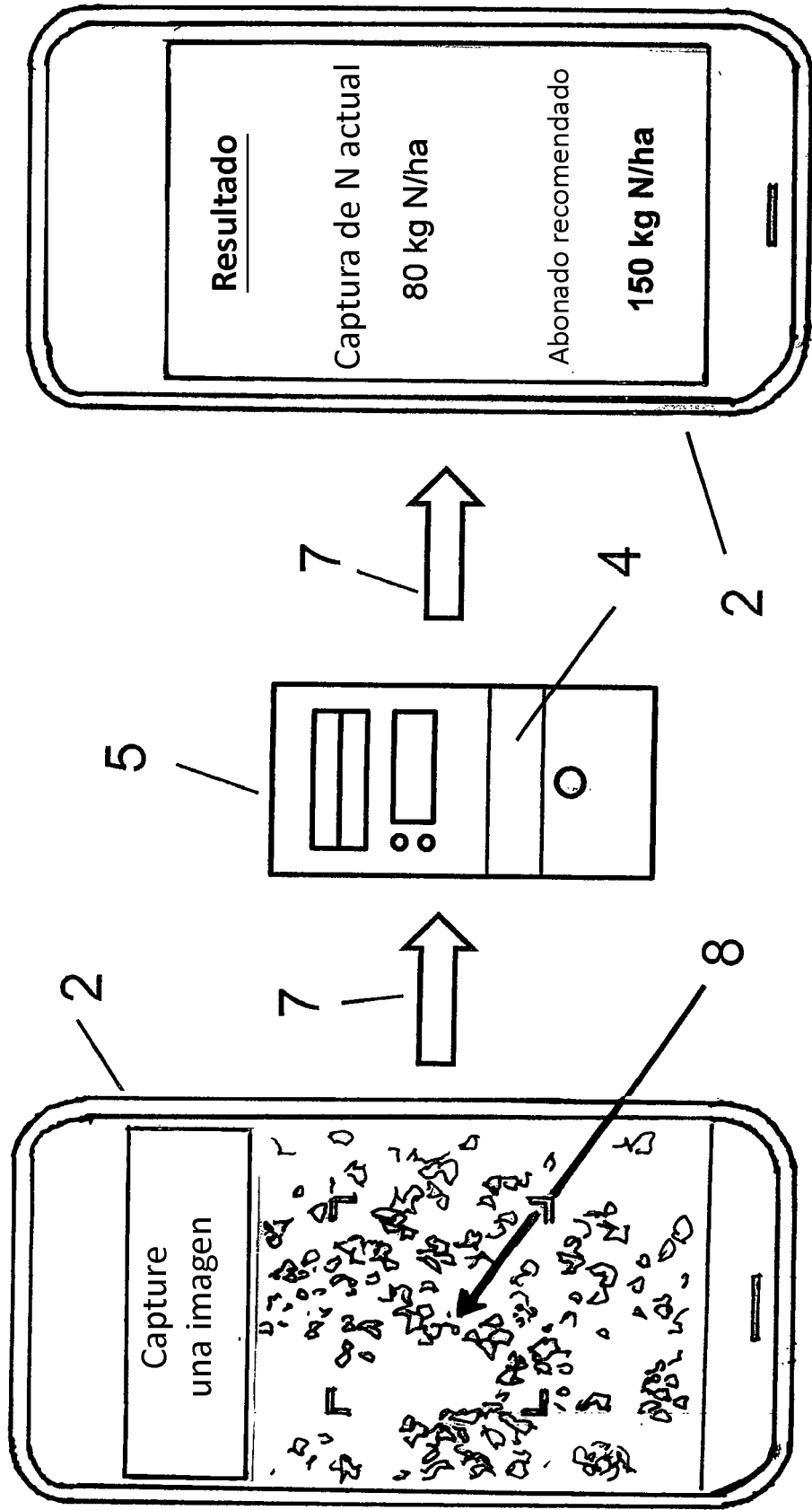


FIG. 1b



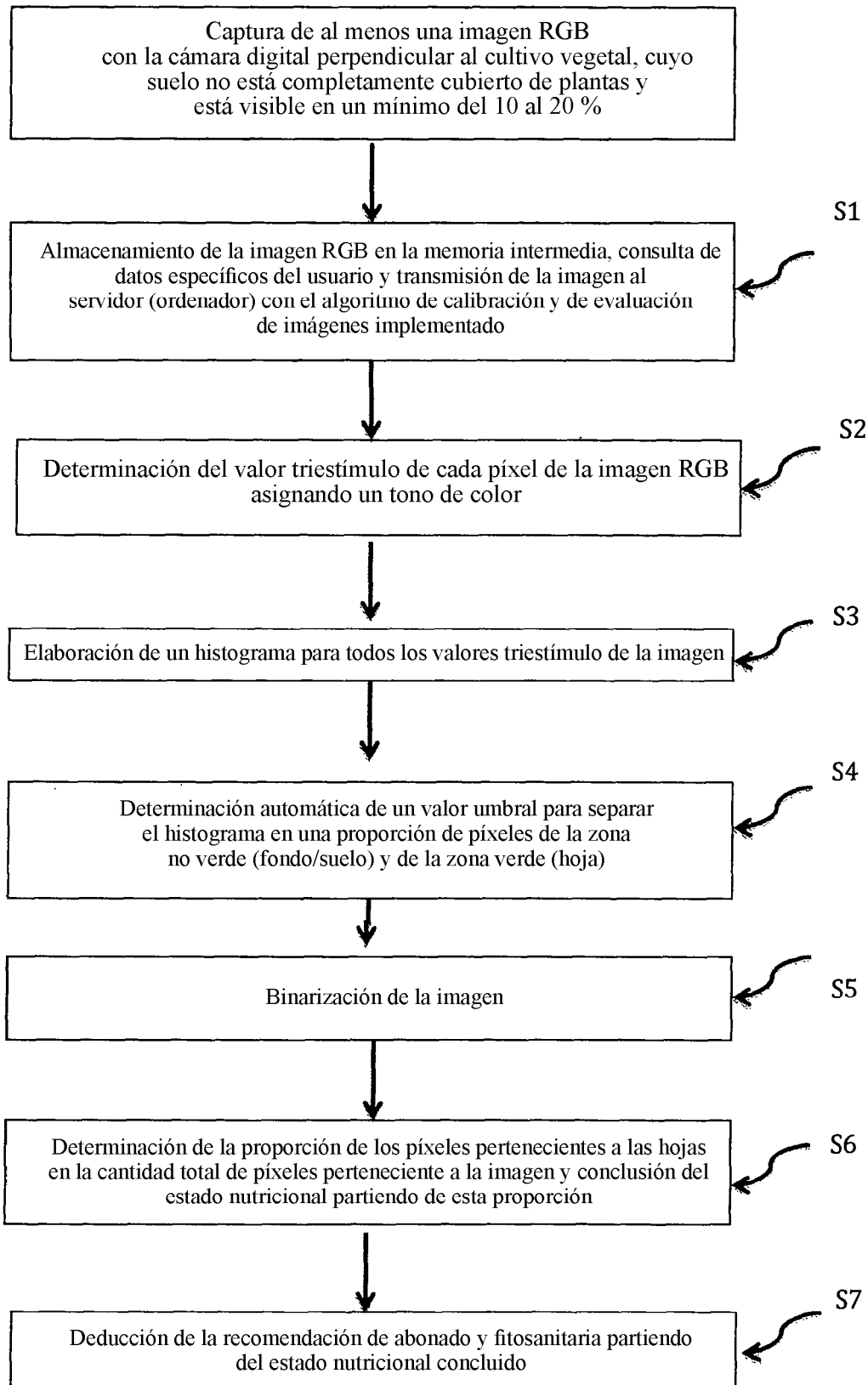


FIG. 2

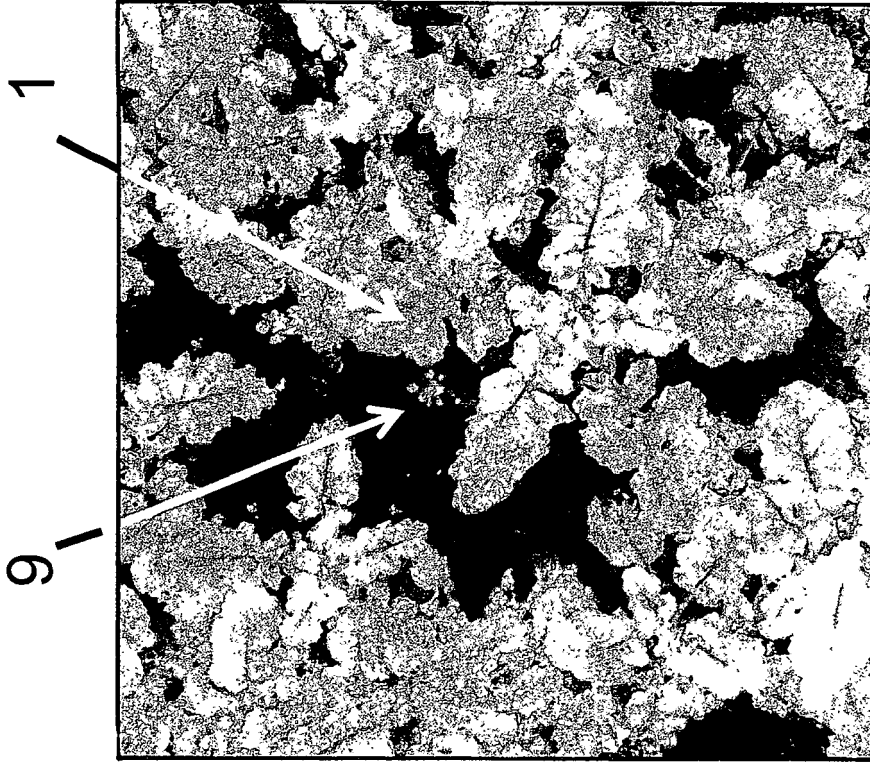


FIG. 4

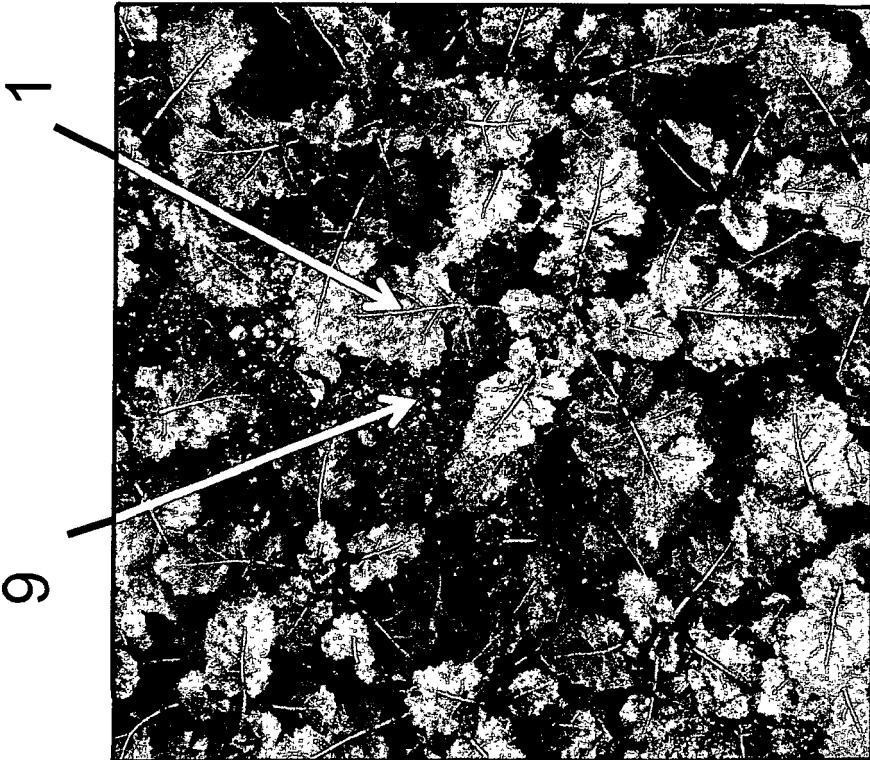


FIG. 3

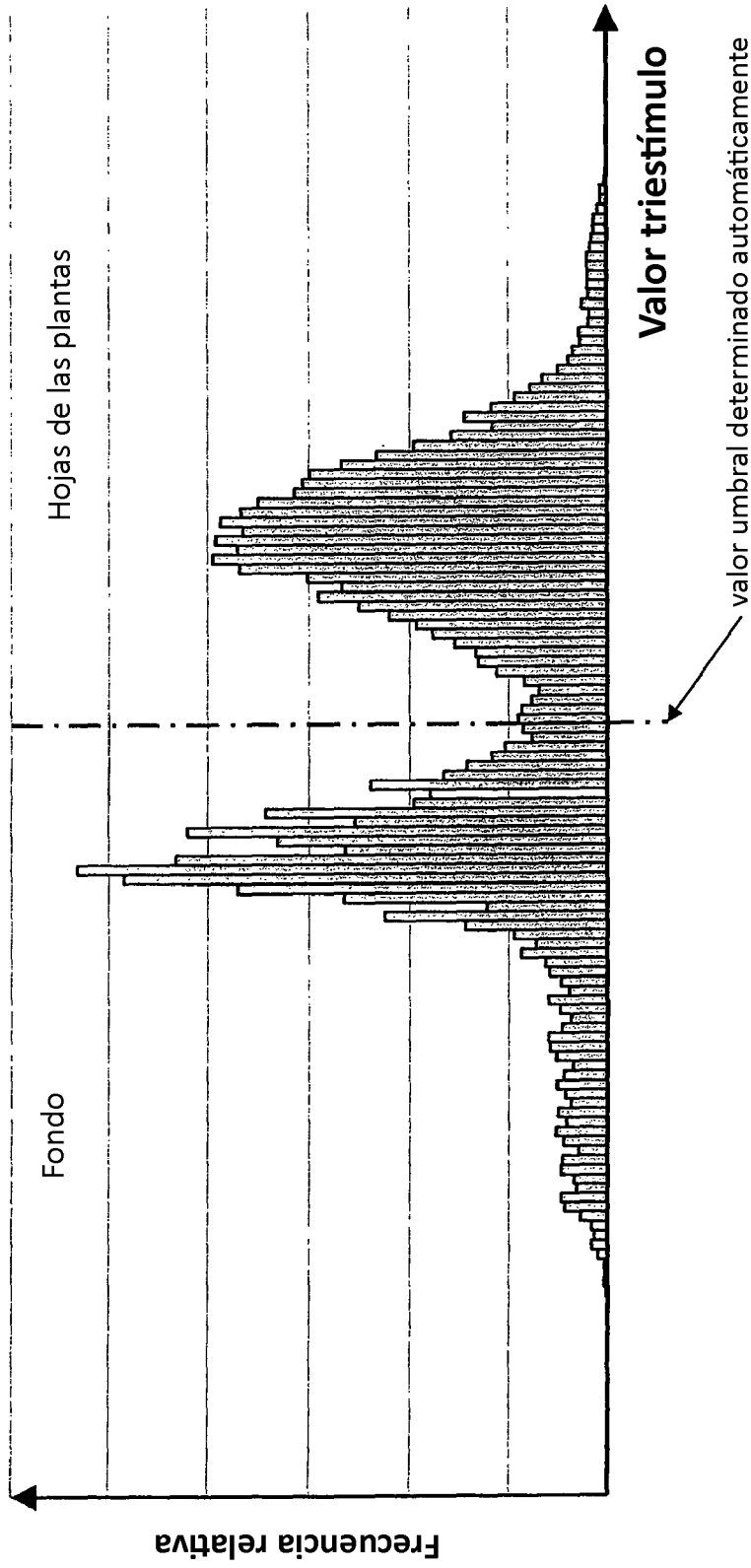


FIG. 5

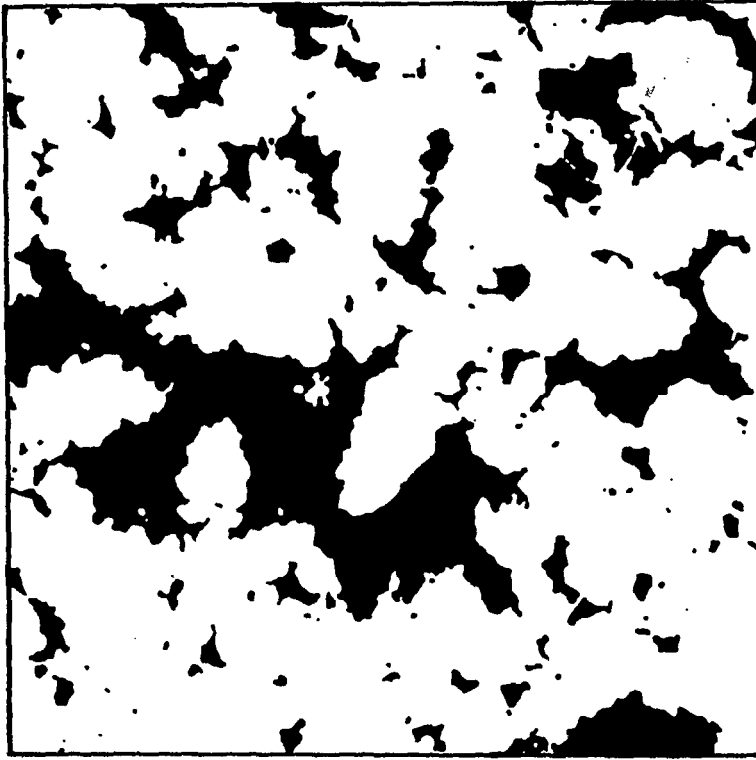


FIG. 7

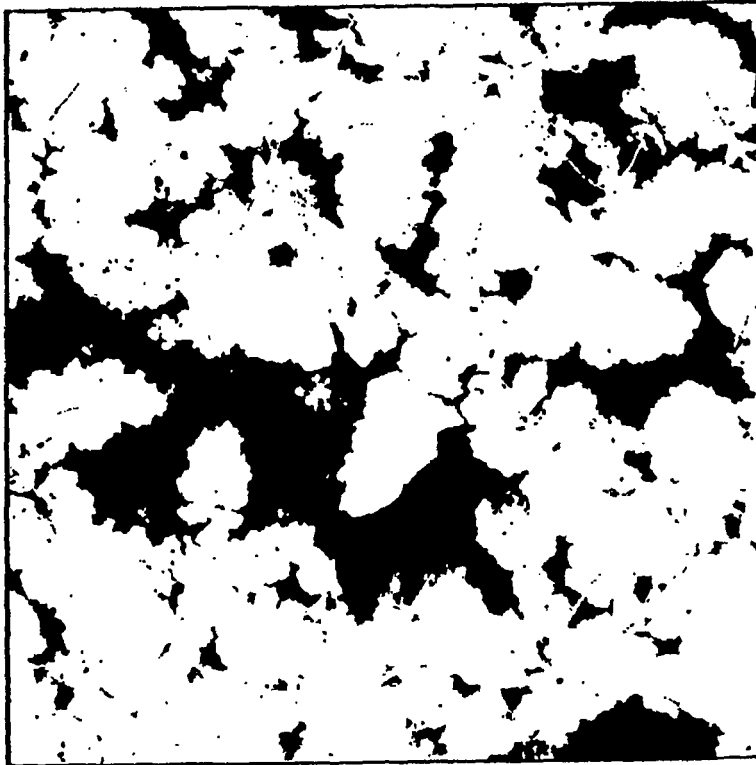


FIG. 6

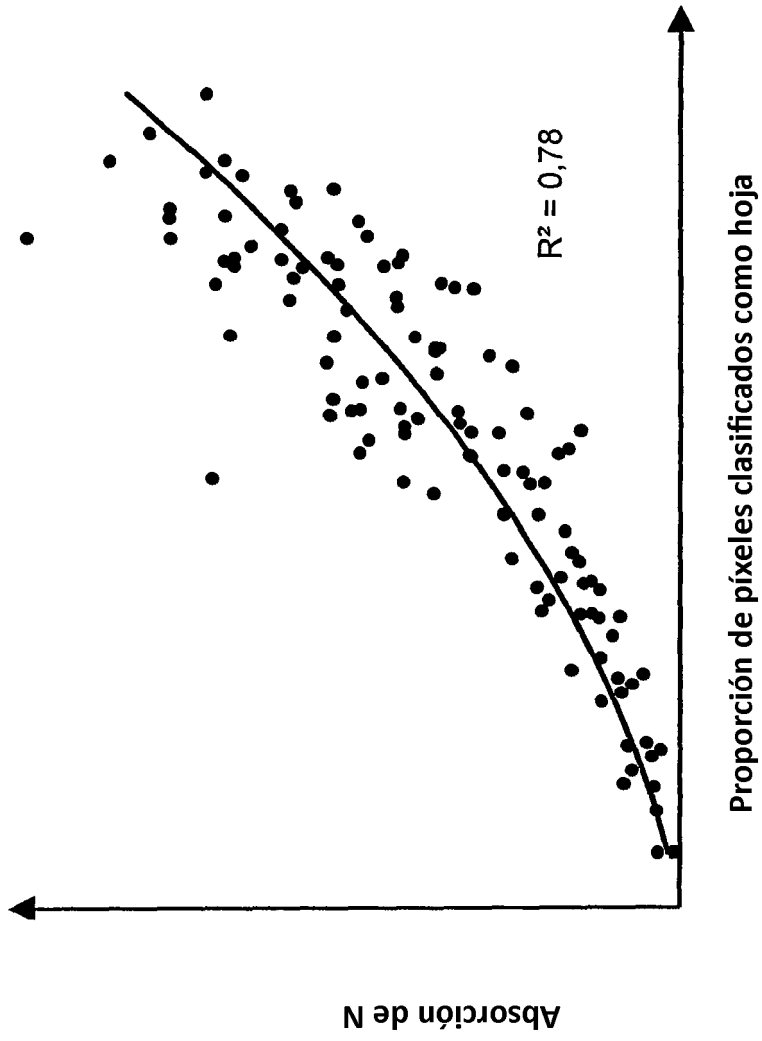


FIG. 8

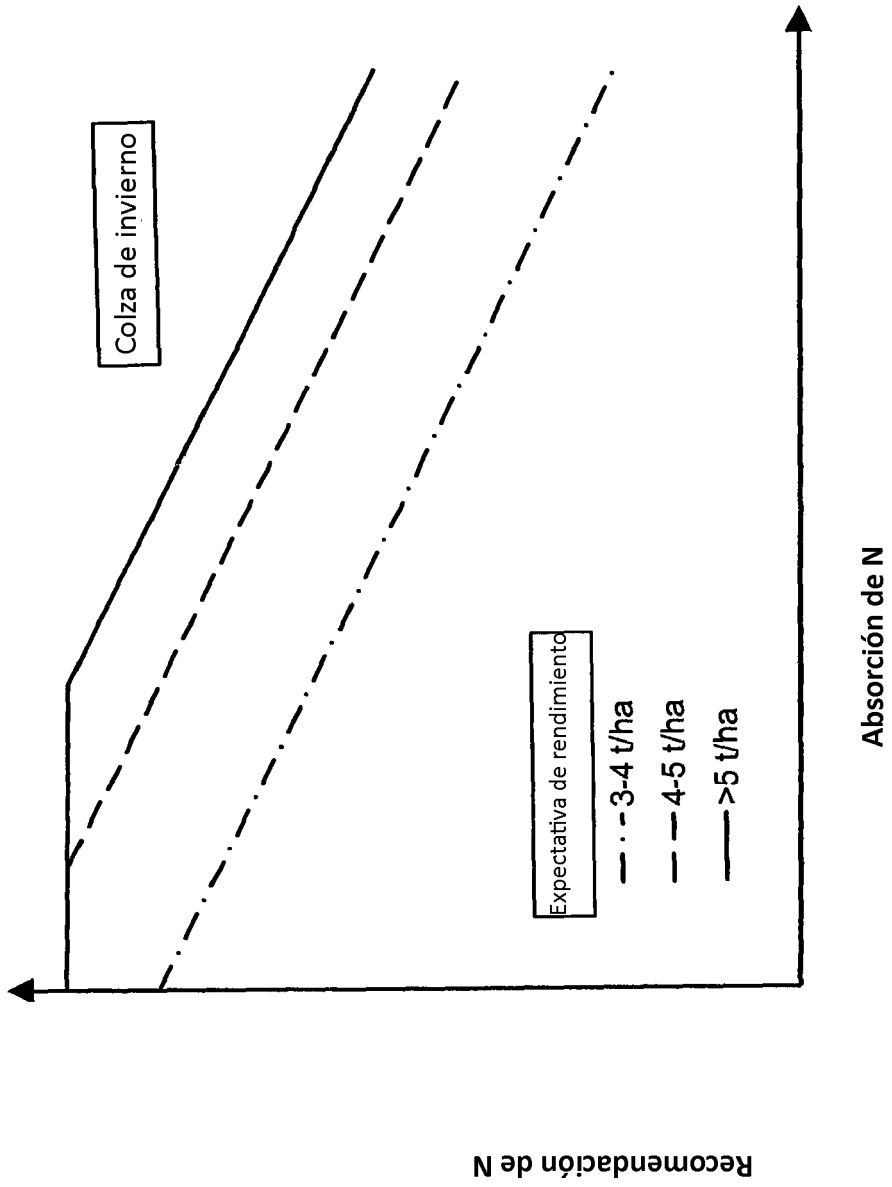


FIG. 9

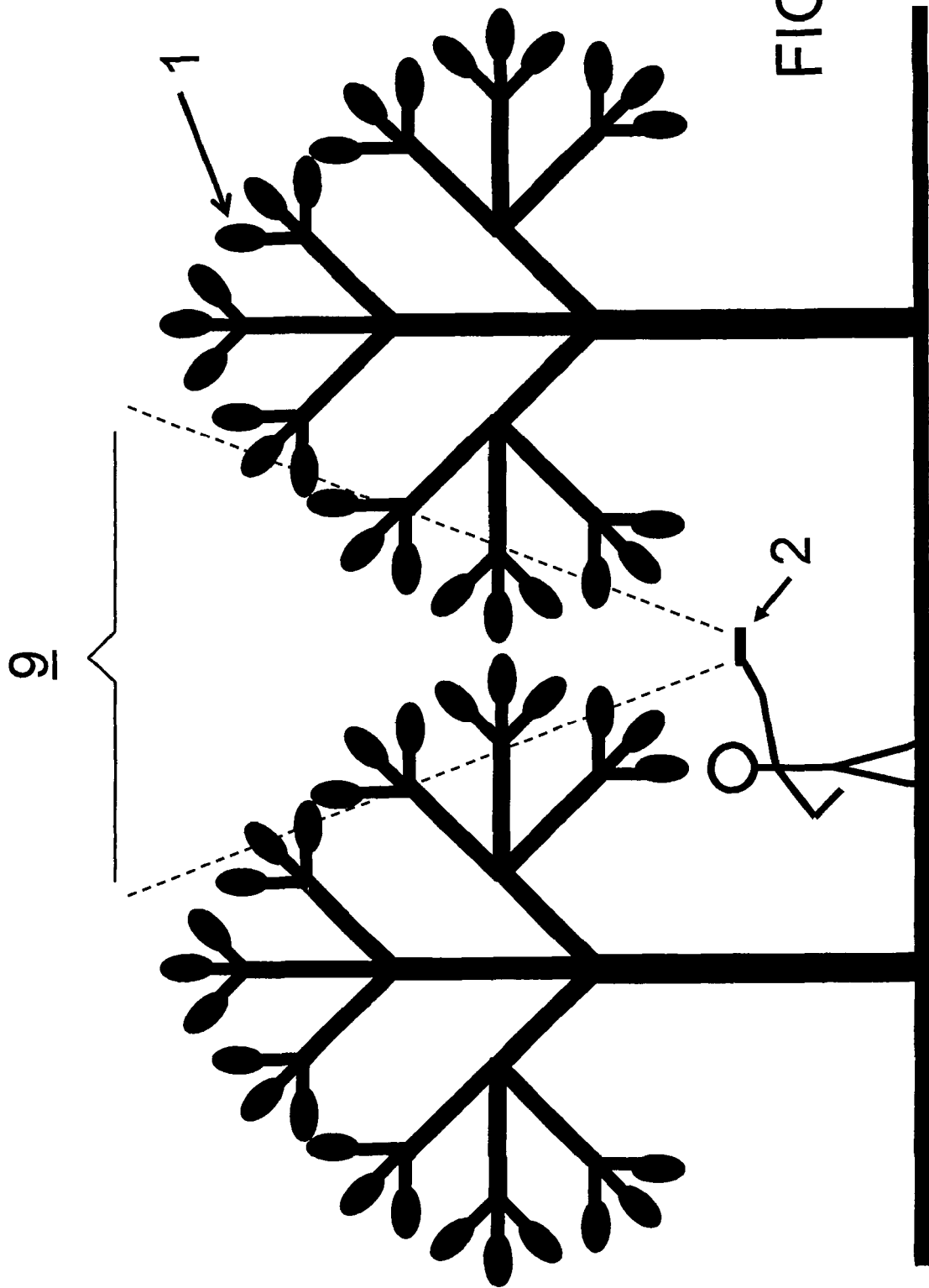


FIG. 10