

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 795 499**

21 Número de solicitud: 201930443

51 Int. Cl.:

G01N 21/84

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

21.05.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

23.11.2020

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

05.11.2021

Fecha de concesión:

10.12.2021

45 Fecha de publicación de la concesión:

17.12.2021

73 Titular/es:

AMBLING INGENIERIA Y SERVICIOS, S.L.
(100.0%)

Ctra. de Cáceres, 14
10600 PLASENCIA (Cáceres) ES

72 Inventor/es:

RODRÍGUEZ PULIDO, Francisco José;
GUTIÉRREZ MUÑOZ, Cristina;
TALAVÁN MARTÍN, Daniel y
GUZMÁN CABALLERO, Raúl Felipe

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

54 Título: **Método y sistema mejorados para la determinación de características de frutos mediante imágenes hiperespectrales**

57 Resumen:

Método y sistema mejorados para la determinación de características de frutos mediante imágenes hiperespectrales.

La presente invención propone un método y sistema para la medida de características de frutos antes de su cosecha a partir de tecnología de imágenes hiperespectrales. Este procedimiento incluye la captura óptima de imágenes del fruto en la planta (árbol, vid, arbusto...) en campo (en condiciones ambiente), el procesamiento de la misma, la obtención de resultados analíticos y su presentación al usuario; también permite la creación de imágenes donde se muestran los resultados de análisis cuantitativos en mapas de color.

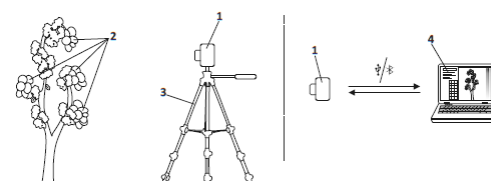


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 795 499 B2

DESCRIPCIÓN

Método y sistema mejorados para la determinación de características de frutos mediante imágenes hiperespectrales

5

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo de la monitorización de productos agrícolas y más concretamente, a un método y sistema mejorados para la obtención de ciertas características de frutos antes de su cosecha (que permiten determinar, por ejemplo, tanto la evolución del estado de la maduración de los frutos como su calidad) mediante captura, procesado y análisis de imágenes hiperespectrales.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

En el campo de la agricultura, es a menudo deseable analizar los productos agrícolas y en especial los frutos para determinar una o más características de interés. Por ejemplo, los agricultores que cosechan frutos, suelen usar algunas características físicas y/o químicas del fruto para estimar su calidad, madurez, aspecto o necesidades de abonos o productos químicos, entre otros.

20

Por ello, el conocimiento del estado fisicoquímico de los productos de la industria agroalimentaria ha sido siempre un aspecto fundamental en la agricultura aunque lo es aún más en los últimos tiempos. En primer lugar, es necesario para realizar un seguimiento de la maduración del fruto que ayude a decidir el momento óptimo para su recolección. Históricamente, este proceso se ha llevado a cabo de manera sensorial por los agricultores que, basados en su experiencia, estiman el punto en el que un fruto debe ser recogido. Sin embargo, la agricultura intensiva y la globalización han hecho que esta tarea sea prácticamente inabordable, por lo que se requieren métodos rápidos, precisos e independientes de la experiencia del agricultor que realicen estas medidas sobre frutos.

25

30

En la industria agrícola actual la importancia de la planificación es clave, siendo imprescindible una adecuada toma de decisiones durante el cultivo y la recolección, para conseguir un producto de máxima calidad con el mayor rendimiento y una óptima gestión logística y organizativa entre productor, cooperativa e industria de transformación. Esto es

35

especialmente importante en algunos frutos como por ejemplo el tomate; ya que la planta de tomate no presenta maduración de los frutos de manera uniforme, sino que generalmente es escalonada a lo largo de un periodo de tiempo, de modo que una recolección temprana conllevará un alto % de frutos verdes o inmaduros, que serán desechados en la máquina cosechadora. Además, en la entrada en fábrica se muestrearán los tomates entregados por el agricultor, penalizando los frutos verdes. Si por el contrario, se retrasa la recolección, habrá un % mayor de frutos sobremaduros, los cuales o bien se quedan en la tierra y no los recoge la cosechadora, y si pasan a fábrica serán igualmente penalizados. Teniendo en cuenta que tanto los frutos verdes como los sobremaduros son penalizados, es decir, que el agricultor verá mermados sus beneficios, el momento óptimo de recolección se convierte en un proceso crítico a optimizar. Además, las producciones están cada vez más orientadas a satisfacer la demanda de productos de calidad, estando cada vez más los precios ligados a este factor. Por otro lado, y debido al aumento de los requisitos legales en cuestiones de seguridad alimentaria, la concienciación sobre la alimentación saludable y la alta competencia, son necesarios análisis rápidos y automatizables de análisis, no solo de la madurez sino también de la calidad en general, que permitan evaluar una alta proporción de la producción total y lo que es más importante, que este análisis sea no destructivo.

Los métodos que se han utilizado tradicionalmente para evaluar la calidad de los frutos incluyen tanto análisis sensorial (por ejemplo, inspección visual o cata) como técnicas analíticas de laboratorio. Los métodos sensoriales tienden a consumir mucho tiempo y son potencialmente subjetivos. Las técnicas analíticas de laboratorio tienen grandes desventajas como ser procedimientos largos y tediosos, destrucción de la muestra o necesidad de personal especializado. Las muestras deben recogerse, embolsarse, etiquetarse, secarse y, finalmente, enviarse al laboratorio, molerse y analizarse para el análisis de los componentes. Este manejo excesivo de la muestra agrega tanto tiempo como costo al análisis. Los agricultores preferirían tomar decisiones informadas con respecto a los frutos antes de la cosecha y este tipo de métodos no se prestan para una evaluación en el campo, por eso están interesados en acceder a técnicas analíticas que puedan evaluar rápida y eficientemente las cualidades del fruto.

Las técnicas ópticas también se han usado para el análisis del estado fisicoquímico de los frutos. Gracias a los avances en la electrónica y en concreto, al perfeccionamiento de los sensores radiométricos, es posible medir la interacción entre la radiación electromagnética y la materia de una manera rápida y precisa. Una vez que se mide esa interacción, no es

necesaria una computación muy potente para procesar la información espectral y obtener el resultado de un análisis. Dentro de las técnicas ópticas, las técnicas de imágenes hiperespectrales (HSI, del inglés “Hyperspectral imaging”) han revolucionado la manera de evaluar la calidad en el sector agroalimentario, entre otras razones porque suponen procedimientos rápidos, no-destructivos y libres de reactivos químicos. Una imagen hiperespectral o hipercubo es una batería de imágenes de una misma escena donde cada una representa la reflectancia a una única longitud de onda, por lo que podemos conocer el perfil espectral de cualquiera de los puntos que componen dicha imagen.

Existen en la actualidad algunos equipos comerciales portátiles que realizan medidas espectroscópicas como Viavi MicroNIR Pro®, Konica Minolta CM-700d®, Felix Instruments F-750® o WiSci: Wireless Spectrometer® que difieren principalmente en el intervalo espectral útil. Entre ellos destaca el equipo Konica Minolta CM-700d® (que, al ser específicamente un espectrocolorímetro de mano, provee información colorimétrica en términos del espacio de color CIELAB) o el Viavi MicroNIR Pro® (que, además de adquirir espectros de reflectancia en el intervalo infrarrojo cercano, es capaz de realizar transformaciones espectroscópicas como conversión a unidades de absorbancia, realizar transformaciones como *standard normal variate* o derivación de espectros). No obstante, ninguno de estos equipos es capaz de medir varios frutos a la vez, ya que miden por contacto directo con la muestra; además las medidas se hacen en el intervalo visible del espectro y a partir de cámaras RGB (del inglés, “Red, Green, Blue”, rojo, verde, azul), por lo que, aunque existen muchas soluciones basadas en visión artificial, si la característica a determinar no puede ser identificada en el espectro visible, estas técnicas no tienen validez.

El uso de cámaras hiperespectrales no está todavía tan normalizado y, aunque existen cada vez más cámaras que permiten el uso en entornos reales, no existen soluciones integrales óptimas para el análisis en el sector agroalimentario.

Existen algunas soluciones técnicas de análisis hiperespectral para obtener características de frutos pero se realizan en laboratorio (es decir, hay que recolectar un fruto o una muestra del fruto del árbol, trasladarlo al laboratorio y analizar sus características mediante el uso de técnicas hiperespectrales). Por lo que presentan las desventajas que hemos indicado anteriormente para las técnicas analíticas de laboratorio (consumen tiempo, no se hacen en tiempo real de manera automática, suponen una manipulación de los frutos, se hacen sobre una muestra recogida y no sobre el total de los frutos a cosechar...). También existen

soluciones que capturan imágenes hiperespectrales del campo mediante el uso de drones, pero por la distancia entre las muestras y la cámara, no sirven para discriminar y obtener características de los frutos individuales, sino que trabaja sobre todo el cultivo para obtener propiedades macroscópicas del cultivo, como es riego, fertilización, número de plantas o árboles...

A la vista de los problemas de las soluciones existentes, existe la necesidad de un procedimiento que permita monitorizar la calidad y maduración del fruto durante el ciclo de cultivo, de manera que puedan conocerse de manera rápida, fiable, no-destructiva, objetiva, limpia, versátil, sin manipulación del fruto y a tiempo real de los parámetros de calidad del fruto, así como el momento óptimo para la cosecha, permitiendo una mejor y más rápida planificación y gestión de la plantación evitando además pérdidas de rendimiento.

SUMARIO DE LA INVENCION

La presente invención propone un método y sistema mejorados para la determinación (medida) de características y/o propiedades en productos de la industria agroalimentaria y más específicamente en frutos (especialmente tomate y uva pero también se puede aplicar a cualquier otro frutos) a partir de tecnología de imágenes hiperespectrales. Este procedimiento incluye la metodología para la captura óptima de las imágenes de la planta (árbol, arbusto, vid...) donde el fruto crece, el procesado de las imágenes hiperespectrales y la obtención de resultados analíticos; también permite la creación de imágenes donde se muestran los resultados de análisis cuantitativos en mapas de color.

La obtención de las características (parámetros físicos o químicos) se realizará a partir de la generación de firmas espectrales que permitan detectar cambios en la composición espectral y detección de sustancias de interés incluyendo longitudes de onda fuera del intervalo visible del espectro, extrayendo y definiendo aquellas firmas (patrones) espectrales que estén relacionadas con los diferentes parámetros. A partir de un proceso de entrenamiento mediante aprendizaje automático, se establecerán las relaciones que existen entre el perfil espectral y distintas propiedades fisicoquímicas del fruto. Estas propiedades podrán ser cualitativas, como detección de cierto parámetro o presencia de compuestos indeseables (pesticidas, plagas...) o cuantitativas, como la concentración o grado de intensidad de un compuesto o parámetro (grado de maduración, concentración de azúcares, acidez, firmeza...).

A partir de las firmas (patrones) espectrales definidas para cada parámetro, se estimarán las

distintas características de un fruto mediante la captura, procesado y análisis de imágenes espectrales de dicho fruto antes de cosecharlo (es decir, en el árbol o planta). La monitorización (determinación/estimación de características) mediante el empleo de imágenes hiperespectrales permite la cuantificación y caracterización de los parámetros de manera objetiva, con precisión y de manera rápida sin necesidad de manipulación del material vegetal.

En una realización de la presente invención se utiliza el intervalo espectral más común en este tipo de instrumentación. Éste comprende el intervalo visible desde 400 nanómetros y alcanza el infrarrojo cercano hasta los 1000 nm. Este intervalo es muy útil, ya que es capaz de detectar los cambios en compuestos que afectan a la región visible, pero al mismo tiempo es capaz de considerar otros cambios que no tienen por qué repercutir en la apariencia de los frutos. Esto es solo un ejemplo y en general se puede usar cualquier intervalo de longitudes de onda, preferiblemente abarcando parte del espectro no visible.

Hay que destacar que la captura de las imágenes del fruto se realizará sin recoger el fruto, es decir, se realizará en el árbol, vid, arbusto (en general, planta) donde crece el fruto. Además la medida se realizará únicamente sobre los frutos, discriminándolos del resto de vegetación y elementos de la imagen (mediante un proceso de identificación de objetos llamado segmentación en análisis de imagen). Gracias a la segmentación, hay posibilidad de identificar y caracterizar de manera independiente, tanto fruto, como otros elementos (hojas, ramas, suelo...).

El sistema también puede permitir la presentación de los resultados obtenidos en un dispositivo electrónico del usuario (teléfono móvil, PC, tableta, portátil o cualquier otro tipo de dispositivo electrónico) y puede permitir el almacenamiento histórico de los parámetros para cada fruto de una parcela para conocer el estado y la evolución de la cosecha (por ejemplo, cuantificando la producción y calidad en diferentes zonas de una misma parcela).

Además, el procedimiento se realizará de manera automática. Es decir, el sistema propuesto capturará las imágenes del fruto, las procesará, determinará a partir de ellas los distintos parámetros de interés en el fruto y almacenará los resultados y/o los presentará al usuario (por ejemplo, el agricultor) en su dispositivo electrónico. Por lo que todo el procedimiento se realiza, sin requerir formación específica del usuario ni conocimiento de la tecnología que se aplica.

Así, la técnica propuesta permitirá realizar el control (de calidad, madurez, seguridad...) del fruto de manera no destructiva durante el ciclo de cultivo (antes de la cosecha), de manera automática, sencilla, en tiempo real y mejorando la exactitud, calidad, rapidez, seguridad, fiabilidad y costes en los procesos, permitiendo una mejor planificación del cultivo y cosecha.

5

En un primer aspecto, la presente invención propone un método para la determinación de un grupo de características de frutos, donde el método comprende los siguientes pasos:

10 - Capturar, con luz natural, al menos una imagen hiperespectral de al menos una parte de una planta con frutos con una cámara (hiperespectral) en el terreno donde está plantada la planta (en campo), es decir, la cámara estará situada en el terreno donde está plantada la planta; y donde en dicha imagen hiperespectral, se obtienen datos de reflectancia de los píxeles de la imagen a distintas longitudes de onda de un rango del espectro (de frecuencia);

15 donde el método comprende además los siguientes pasos realizados por un equipo electrónico de procesamiento:

20 - Recibir los datos de la imagen hiperespectral y a partir de ellos, seleccionar automáticamente aquellos píxeles pertenecientes a la imagen de al menos un fruto, aplicando un algoritmo de clasificación;

25 - Para cada una de las características que se desea determinar, comparar los datos obtenidos de la imagen hiperespectral para cada uno de los píxeles seleccionados para cada longitud de onda del rango, con una firma espectral preestablecida (obtenida en un proceso previo de entrenamiento) que corresponde a dicha característica del al menos un fruto;

30 - A partir de dicha comparación del paso anterior, determinar la cantidad de cada una de las características del grupo del al menos un fruto en cada uno de los píxeles seleccionados, a partir de la comparación del paso anterior.

30

En una realización, las características del grupo son características internas del al menos un fruto. En una realización, el grupo de características puede comprender una o más de las siguientes: sólidos solubles, pH, firmeza, contenido en licopeno, grados BRIX, polifenoles, el aspecto exterior del al menos un fruto o cualquier otra característica del mismo (En general, se puede decir que se puede obtener mediante este procedimiento cualquier parámetro físico

35

o químico del fruto y en especial aquellos que determinan su calidad o grado de madurez).

En una realización el método además comprende: presentar el equipo electrónico de procesamiento a un usuario (mediante una interfaz de usuario), la cantidad determinada para cada pixel de cada una de las características y/o el equipo electrónico enviar, mediante una red de comunicación, a un dispositivo electrónico del usuario la cantidad determinada para cada pixel de cada una de las características.

En una realización el método además comprende hacer un mapa de color a partir de los resultados obtenidos y, para ello, se pueden realizar los siguientes pasos: - realizar una reconstrucción en el espectro visible, de la imagen del al menos un fruto; - para cada característica, representar cada pixel de la imagen en un color dependiendo de la cantidad de dicha característica determinada para cada pixel.

En una realización, la distancia a la que se coloca la cámara de la planta depende al menos de uno o más de los siguientes parámetros: el tamaño de al menos un fruto, la resolución espacial de la cámara, la tecnología óptica de la cámara y la iluminación (en general, preferentemente la distancia se calcula de acuerdo a uno o más de estos parámetros, para que el fruto a analizar tenga un tamaño mínimo deseado en la imagen).

En una realización, la imagen se captura cuando la luz natural incide aproximadamente a 45° respecto a la vertical.

Preferentemente, el rango del espectro en el que la cámara recoge datos de la imagen hiperespectral es un rango de longitudes de onda entre 400 y 1000 nm.

En una realización, antes de la captura de la imagen se realiza una calibración de la cámara usando un elemento válido para la calibración (por ejemplo un marco de calibración) colocado junto al objeto a capturar (al menos una parte de la planta).

En una realización, la selección de los píxeles se realiza mediante métodos de aprendizaje automáticos (máquina de vectores de soporte).

El equipo electrónico y la cámara pueden formar parte del mismo dispositivo o estar separados y comunicados a través de una red de comunicación y en este segundo caso, el equipo electrónico recibe la imagen hiperespectral capturada a través de la red de comunicación (o

se la descarga en el equipo electrónico después de la captura de la misma).

En una realización, la cámara está instalada en un vehículo que se mueve por el terreno donde está plantada la planta.

5

En una realización, la firma espectral de cada característica comprende un vector con el valor de reflectancia, para cada longitud de onda del rango, obtenido durante un proceso de entrenamiento previo, que corresponde a la presencia de una cantidad (por ejemplo, una unidad) de dicha característica en un fruto.

10

En un segundo aspecto, la presente invención propone un sistema para la determinación de un grupo de características de frutos, donde el sistema comprende los siguientes pasos:

- Una cámara para capturar, con luz natural, al menos una imagen hiperespectral de al menos una parte de una planta con frutos, donde la cámara para capturar la imagen se sitúa en el terreno donde está plantada la planta y donde dicha imagen hiperespectral comprende datos de reflectancia de los píxeles de la imagen a distintas longitudes de onda de un rango del espectro;

15

- Al menos un equipo electrónico de procesamiento configurado para:

20

- Recibir los datos de la imagen hiperespectral y a partir de los mismos, seleccionar automáticamente aquellos píxeles pertenecientes a la imagen de al menos un fruto, aplicando un algoritmo de clasificación;

25

- Para cada una de las características del grupo, comparar los datos obtenidos de la imagen hiperespectral para cada uno de los píxeles seleccionados para cada longitud de onda del rango, con una firma espectral preestablecida que define dicha característica del fruto;

- Determinar la cantidad de cada una de las características del grupo del al menos un fruto en cada uno de los píxeles seleccionados, a partir de dicha comparación.

30

Finalmente, se presenta un programa de ordenador que comprende instrucciones ejecutables por ordenador para implementar el método descrito, al ejecutarse en un ordenador, un procesador digital de la señal, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

35

Dichas instrucciones pueden estar almacenadas en un medio de almacenamiento de datos digitales.

5 Para un entendimiento más completo de estos y otros aspectos de la invención, sus objetos y ventajas, puede tenerse referencia a la siguiente memoria descriptiva y a las figuras adjuntas.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

10 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con unos ejemplos preferentes de realizaciones prácticas de la misma, se acompaña como parte integrante de esta descripción un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

15

La Figura 1 muestra de manera esquemática el sistema en funcionamiento de acuerdo a una realización de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

20

La presente invención propone un método y sistema mejorado e integral de obtención de diversas características de frutos a partir de imágenes hiperespectrales.

25 El método y sistema propuesto permite, entre otras cosas, adquirir y procesar las imágenes en campo (en condiciones ambiente) sin recolectar el fruto (o frutos) ni manipularlo ni trasladarlo a un laboratorio para su análisis; identificar (discriminar) automáticamente el fruto dentro de la imagen; obtener varios parámetros del fruto (caracterización multiparamétrica); estimar la cantidad de distintos parámetros físico-químicos de interés en fruto; representar los resultados en mapas de color a partir de los frutos identificados y de los parámetros obtenidos
30 para cada fruto; presentar la información al usuario en su dispositivo electrónico (con posibilidad de creación de informes automáticos de resultados).

Estas características obtenidas serán características internas del fruto como por ejemplo (esta es una lista no limitativa) sólidos solubles, pH, firmeza, contenido en licopeno, grados BRIX, polifenoles; opcionalmente también se pueden obtener alguna característica externa del fruto
35

(relacionados con el aspecto exterior) como color, manchas, rugosidad.... En general, se puede decir que se puede obtener mediante este procedimiento cualquier parámetro físico o químico del fruto (y en especial aquellos que determinan su calidad o grado de madurez).

- 5 En una realización, las imágenes hiperespectrales adquiridas, independientemente de sus dimensiones espaciales, tendrán preferentemente un intervalo espectral comprendido entre 400 a 1000 nm. Por otro lado, aunque en algunos ejemplos se menciona como fruto el tomate, la invención es propuesta es ampliable a cualquier otro tipo de fruto.
- 10 En una realización preferente, los frutos monitorizados serán tomates aunque la presente invención también se puede aplicar a uvas, aceitunas o a cualquier otro tipo de fruto.

En la figura 1 se puede ver de manera esquemática las distintas partes del sistema. Primeramente tenemos la cámara (1) para capturar las imágenes hiperespectrales de los
15 frutos (2) en el árbol. Dicha cámara (llamada cámara hiperespectral o sensor hiperespectral) puede ser de cualquier tipo conocido. En una realización dicha cámara obtendrá imágenes de $a \times b$ píxeles (también llamada resolución espacial de la cámara, donde a es el número de filas de píxeles y b el número de columnas de píxeles, por ejemplo, 512x512 píxeles aunque cualquier otro número de píxeles es posible) en el intervalo de 400 a 1000 nm con una
20 resolución espectral aproximada de 3 nm (por lo que, en este ejemplo, en la cámara se obtendrán medidas de reflectancia para 204 longitudes de onda distintas, o en otra palabras, para 204 bandas de longitudes de onda).

Después habrá un equipo electrónico de procesamiento (4) (también llamado simplemente
25 unidad, equipo, módulo o dispositivo de procesamiento o más simplemente procesador) que recibe las imágenes capturadas y las procesa para obtener los parámetros deseados (aunque por simplicidad, hablamos de un equipo de procesamiento puede haber una sola unidad que realiza todo el procesado o haber varias unidades, cada una de las cuales realizar alguna de las acciones del procesado). El equipo de procesamiento puede mostrar los resultados al
30 usuario (mediante un interfaz de usuario como por ejemplo una pantalla) y/o puede enviar los resultados obtenidos a un dispositivo electrónico del usuario (por ejemplo, un teléfono móvil, un ordenador, etc.) a través de una red de comunicación sin hilo, de telefonía móvil, red cableada o de cualquier tipo. El dispositivo electrónico del usuario y/o el equipo de procesamiento pueden almacenar los resultados numéricos (valores de los parámetros
35 obtenidos) e incluso los posibles mapas de color generados, en archivos que podrán ser

procesados en masa posteriormente.

En la figura 1 dicho equipo de procesamiento es un ordenador portátil pero esto es solo un ejemplo no limitativo, pudiendo usarse cualquier tipo de equipo electrónico de procesamiento de datos.

El equipo electrónico de procesamiento puede estar conectado a la cámara mediante cualquier tipo de red de comunicación (cableada o sin hilo, red de telefonía móvil, etc) usando cualquier tipo de tecnología, como Bluetooth, telefonía móvil o cualquier otra. Asimismo, en una realización, no es necesaria una conexión permanente entre la cámara y el equipo informático. La cámara podrá disponer de una unidad de almacenamiento de las imágenes, que permitirá su procesado posterior al transferir (descargar) la información al equipo electrónico de procesamiento correspondiente (como se muestra en la figura de la derecha en la figura 1).

Por otro lado, la cámara y el equipo electrónico de procesamiento pueden estar separados como en la figura 1, pero también pueden estar dentro de la misma carcasa formando parte del mismo equipo (es decir, un mismo equipo captura las imágenes y las procesa para obtener los resultados). O haber varios equipos de procesamiento algunos de los cuales están incorporados en la cámara y otros separados de ella (o en otras palabras, la cámara puede realizar además de la captura, algunas de las acciones para el procesado de imágenes).

En el procedimiento propuesto se distinguen dos etapas principales, adquisición (captura) de la imagen (realizada en la cámara) y procesado de la imagen y obtención de resultados (realizada en el uno o varios equipos de procesamiento). Después los resultados obtenidos se pueden procesar de distintas maneras para presentarlos al usuario. Cada una de estas etapas tendrá a su vez distintos pasos o acciones.

Adquisición de la imagen (esto es solo un ejemplo de los pasos a realizar y no todos los pasos son esenciales y, por lo tanto, necesarios para el procedimiento propuesto):

- Colocar la cámara (1) para la captura de la imagen. Preferentemente, la cámara apuntará de manera perpendicular al objeto (2) cuya imagen se quiere capturar (parte del árbol o en general, de la planta en la que están el fruto o los frutos que se quieren monitorizar) aunque

en otras realizaciones la orientación puede ser distinta. En una realización, para mayor estabilidad de la foto capturada, la cámara se dispondrá en un soporte o trípode (3).

Aunque en la figura 1, la cámara aparece de manera aislada y hay que transportarla de un árbol a otro para ir realizando las fotos, en una realización alternativa la cámara puede estar instalada en algún dispositivo con capacidad de desplazamiento (por ejemplo, un tractor, cosechadora o cualquier tipo de máquina movable o vehículo) que se va desplazando por el campo de cultivo, parándose y tomando las distintas fotos de cada árbol cuyos frutos se quieren analizar.

Esté la cámara aislada o montada en algún tipo de máquina (por ejemplo, un vehículo), para la adquisición de la imagen debe colocarse de manera que se permita una visión directa y cercana del fruto (o frutos) que posibilite la captura de una imagen. Además debe colocarse a una distancia compatible con la distancia de trabajo de la óptica empleada por la cámara. La resolución espacial del sensor de la cámara junto con las características específicas de la óptica, conlleva el uso de distancias de trabajo concretas para la obtención de una definición suficiente, que se ajustará a las características de la muestra a analizar (fruto). Por ejemplo, la relación entre la distancia a la que se coloca la cámara del fruto a analizar, puede venir dada según la relación $L(m) = \frac{1,024}{R(px/mm)}$, donde $R(px/mm)$ es la resolución en píxeles por milímetro y L es la distancia medida entre el fruto y la óptica de la cámara (esto es solo un ejemplo, y se pueden emplear otras fórmulas para obtener la relación entre la resolución y la distancia); esta distancia ha de encontrarse dentro del rango de distancias en que la óptica es capaz de enfocar correctamente. La proporción 1,024 está calculada específicamente para la cámara empleada en el presente ejemplo (donde la resolución espacial es de 512 x 512 píxeles).

En general, se puede decir que la distancia entre la cámara y los frutos dependerá de factores como el tamaño del fruto, la resolución espacial del sensor de la cámara, la óptica empleada y la iluminación. La identificación de los frutos está basada en una discriminación espectral respecto al resto de elementos de la imagen, pero es conveniente que el fruto abarque un área de píxeles que permita, por un lado, reconocer la morfología del fruto y, por otro lado, realizar una estadística a partir de un número determinado de píxeles a partir de su espectro medio. Por ejemplo, en una realización preferente, se ha usado una

distancia que hace que el fruto o frutos tengan un tamaño mínimo de 500 píxeles en la imagen.

En la captura de imágenes hiperespectrales el control de la iluminación es crítico ya que el espectro de reflectancia obtenido es una medida relativa que depende de la radiación incidente en la muestra; por ello, la inmensa mayoría de los trabajos con este tipo de imágenes se adquieren en laboratorio, donde es fácil controlar la luz. Así, en las soluciones propuestas del estado de la técnica las imágenes se capturan en un laboratorio sobre muestras ya cosechadas (y se usan por lo tanto, equipos de laboratorio con iluminación controlada). En la presente invención, sin embargo, las imágenes se capturan en el campo donde está plantada la planta que da el fruto y, donde por lo tanto se usa luz natural (que puede variar de manera no controlada). Teniendo en cuenta estos aspectos, la metodología propuesta preferentemente incluye un sistema que calibra la iluminación para cada una de las capturas, lo que lo hace robusto a cambios en las condiciones ambientales. Esta calibración se puede realizar midiendo el espectro de reflectancia de un material de referencia; el espectro de este material es estable en el tiempo, por lo que el perfil espectral de las muestras se mide de manera relativa a este material, eliminando la dependencia con las condiciones ambientales. Además, en la parte computacional (en el equipo de procesamiento o en la propia cámara) se cuentan con herramientas de preprocesado espectral que minimizan las posibles incongruencias espectrales ocasionadas por una iluminación irregular. Así, la extrapolación de modelos de procesamiento de imágenes de laboratorio (con iluminación controlada) a imágenes capturadas con luz natural no es trivial.

En la presente invención, la iluminación es directa del sol. En este caso, en una realización preferente, la imagen se tomará si es posible cuando la luz (del sol) incida a 45° de inclinación respecto a la vertical, aproximadamente. En cualquier caso, si no se puede tomar la imagen a 45° respecto a la vertical, debe evitarse tomarla a las horas donde la luz es más cenital ya que la calidad de la fotografía empeora. Esta geometría es la más utilizada ya que es la que mejores resultados ofrece en medidas espectrales por reflectancia.

- Una vez se ha colocado la cámara (a la orientación, distancia y condiciones de iluminación adecuadas) preferentemente se produce la calibración de la imagen. Para ello, por ejemplo, se coloca un elemento válido para la calibración (como por ejemplo, un marco de calibración) orientado hacia la cámara y junto al objeto cuya imagen se quiere capturar y

se realiza la calibración de la cámara (mediante la opción correspondiente en la cámara o posteriormente durante el procesamiento de la imagen). El marco de calibración consiste en una figura geométrica (por ejemplo, en forma de marco cuadrado), de un área suficientemente amplia como para quedar representada en la imagen por un conjunto de
 5 píxeles suficiente para la ejecución de la normalización, que sirve de referencia de blancos al estar compuesto por un material que consta de una reflectancia máxima en todo el rango espectral, por lo que estará fabricado preferentemente de PTFE (politetrafluoroetileno).

- Por último se captura la imagen o imágenes deseadas.

Procesado de la imagen y obtención de resultados (esto es solo un ejemplo de los pasos a realizar y no todos los pasos son esenciales y, por lo tanto, necesarios para el procedimiento
 10 propuesto):

- 15 – Como hemos indicado, aunque se habla de “imagen” hiperespectral, en verdad, lo que se obtiene es una batería de imágenes de una misma escena (de un mismo objeto) donde cada una representa la reflectancia a una longitud de onda del espectro. Por lo que al final, lo que se obtiene de la cámara hiperespectral es una matriz de tres dimensiones (llamada hipercubo) con la reflectancia de cada punto de la imagen (pixel) a cada longitud de onda.

20 Para su procesamiento, lo primero que se hace es la conversión de dicha matriz de tres dimensiones o hipercubo a una matriz plana (bidimensional) este proceso se llama desplegamiento o más conocido por su término en inglés, “*unfolding*”. En el ejemplo citado anteriormente donde las imágenes son de $a \times b$ píxeles y se capturan datos en 204
 25 longitudes de onda distintas, las dimensiones de la matriz pasan de ser de $a \times b \times 204$ (tridimensional) a $a \cdot b \times 204$ (bidimensional).

- 30 – Ahora se realiza la identificación de los píxeles que corresponden a la región de interés (fruto o frutos cuyas características se desean obtener). Para ello en cada uno de los espectros individuales (de cada pixel) se evalúa mediante un clasificador si pertenecen o no a fruto. Esta clasificación es multivariante e influyen en diferente medida las 204 longitudes de onda disponibles para cada uno de los puntos de la imagen. Este clasificador puede utilizar cualquier herramienta conocida (por ejemplo, en máquina de vectores de soporte, del inglés “Support Vector Machine, en inteligencia artificial), normalmente

basadas en un entrenamiento (previo) donde se definen las características de los píxeles que pertenecen a fruto (que variarán para cada tipo de fruto). El resultado es un vector de longitud igual al número de espectros (que es coincidente con el número de píxeles), donde para cada pixel se indica con 0 y 1 la pertenencia a la región de interés. La suma de este vector son el número de píxeles (F) píxeles donde hay muestra (fruto) en la imagen. En una realización, el clasificador usado para identificar los píxeles que pertenecen a la región de interés se basa en la búsqueda de hiperplanos que separan las muestras dentro de las 204 dimensiones disponibles. La clasificación se realiza a partir de unas imágenes utilizadas para el entrenamiento del algoritmo de clasificación que, una vez puesto a punto, es verificado al comprobar su idoneidad con muestras externas. Durante la puesta a punto de la solución propuesta, los modelos de clasificación usados preferentemente son verificados con decenas de imágenes disponibles, para asegurarse de que son lo más exactos posibles.

- Después se repliega el vector a las dimensiones espaciales del hipercubo. El resultado es una matriz plana ($a \times b$) donde se muestran estas regiones en el hipercubo.
- A continuación, se recopilan los espectros de los píxeles seleccionados, es decir, los píxeles que pertenecen a la región de interés (a un fruto) a los que se le ha asignado un 1 en la clasificación realizada anteriormente. También se recopilan las coordenadas (x, y) de estos puntos (píxeles) en la imagen. El resultado es una matriz ($F \times \text{número de bandas de longitud de onda}$, 204 en el ejemplo usado anteriormente) con los espectros de interés y otra matriz ($F \times 2$) con las coordenadas, donde F es el número de píxeles de la imagen que se ha considerado que pertenecen a un fruto

En este paso, a partir de los espectros obtenidos en el paso anterior y de la firma espectral obtenida previamente para cada parámetro y cada tipo de fruto, se determina (estima) la medida de uno o más parámetros de interés en el fruto que se está monitorizando. Para ello, en un proceso de entrenamiento previo (usando por ejemplo técnicas de inteligencia artificial como “*machine learning*”) se ha obtenido la firma espectral (también llamada patrón espectral) que caracteriza cada uno de los parámetros que se quiere medir en cada tipo de fruto. Es decir, se han capturado imágenes espectrales de prueba de distintos frutos en los que sí se conocía la medida de los parámetros de interés, se ha correlacionado los datos de estas imágenes hiperespectrales con la cantidad de cada parámetro presente en

cada fruto y, a partir de ahí, se ha obtenido el valor en cada una de las longitudes de onda que cuantifica la presencia de cada uno de los parámetros. Es decir, la firma espectral de cada parámetro comprende un vector con el valor de reflectancia, para cada longitud de onda que corresponde a la presencia de una cantidad de dicho parámetro en un fruto de un determinado tipo (uva, tomate...).

Para asegurar la precisión del modelo, se ha construido un diseño experimental para el entrenamiento previo, que en primer lugar separa las muestras en sets de calibración y de validación. Con las muestras de calibración se han entrenado los modelos y con las de validación se ha verificado la idoneidad de los mismos. Existen en quimiometría herramientas estadísticas y parámetros de calidad que aseguran el correcto funcionamiento de los mismos, la falta de fenómenos no deseados de sobreajuste y que al mismo tiempo asegura que el modelo seguirá funcionando con nuevas muestras en un futuro.

En una realización, en el caso de que el análisis sea cuantitativo lo que se obtiene es un modelo de regresión multivariante como son, por ejemplo, la regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR) o la regresión múltiple lineal (MLR). El resultado final de estos modelos de entrenamiento es un vector con un coeficiente por cada longitud de onda más un término independiente que, aplicado a un espectro problema, arroja un valor numérico que corresponde con la magnitud a analizar. Dichos coeficientes dependen del analito (es decir, del parámetro físico o químico que se quiere medir) y del fruto en concreto (tomate, uva, aceituna, manzana...).

Así, en el proceso de entrenamiento, se obtendrá un vector (patrón o firma espectral) para cada analito y cada tipo de fruto que se quiera monitorizar. En el caso en concreto que se citó anteriormente, estos vectores tendrá 204 coeficientes (uno por cada una de las 204 longitudes de onda de la imagen hiperespectral) más un término independiente. A continuación, se compara el espectro de la imagen capturada con estos coeficientes de la firma espectral para estimar la presencia de dicho analito (caracterizado por la firma espectral) en el fruto o frutos cuya imagen se ha capturado. Para ello, en una realización, para cada uno de los F píxeles de fruto de la imagen hiperespectral capturada, se multiplica cada valor del espectro del píxel (para cada longitud de onda) obtenido de la(s) imagen(es) hiperespectral(es) capturada(s) (paso anterior) por su coeficiente correspondiente, se

suman los valores obtenidos y se añade el término independiente. El dato obtenido es resultado de dicho analito en ese punto (pixel). Se aplica este procedimiento a cada uno de los F espectros y se obtiene la matriz de resultados con la medida estimada del parámetro en estudio (analito) en cada pixel del fruto (esto es solo un ejemplo y la comparación para obtener los resultados se puede realizar de cualquier otro modo conocido).

Procesado y presentación de resultados

- Los resultados obtenidos en el paso anterior se pueden procesar de distintas maneras para presentarlos al usuario. Los datos obtenidos se pueden exportar a un archivo (por ejemplo, un archivo.xlsx) mostrando los datos en bruto o con algún tipo de análisis estadístico (valor medio de cada uno de los analitos en la imagen, dispersión de los resultados, etc). Este archivo se puede almacenar en el equipo electrónico de procesamiento y/o enviar a un dispositivo electrónico del usuario para que él acceda al mismo (y lo almacene en su dispositivo si así lo desea).
- También para que los resultados sean más fácilmente entendibles y visualizados por el usuario, se pueden presentar en forma de un mapa de color de los frutos identificados. En estos mapas, a través de una gradación de color para cada pixel, se representa visualmente una escala numérica de modo que, de un simple vistazo, es posible ver la magnitud de un parámetro dentro de una imagen. Así, los resultados se pueden acompañar del mapa de color resultante para la mejora de la comprensión de los resultados.

Aunque muchas realizaciones de la presente invención se han referido a tomate y uva y a la medición (estimación) de ciertos parámetros, la presente invención es aplicable a cualquier otro tipo de frutos y parámetros.

En este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (como "comprendiendo", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir más elementos, etapas, etc.

Algunas realizaciones preferidas de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes que se incluyen seguidamente.

Descrita suficientemente la naturaleza de la invención, así como la manera de realizarse en la práctica, hay que hacer constar la posibilidad de que sus diferentes partes podrán fabricarse en variedad de materiales, tamaños y formas, pudiendo igualmente introducirse en su constitución o procedimiento, aquellas variaciones que la práctica aconseje, siempre y cuando las mismas, no alteren el principio fundamental de la presente invención.

La descripción y los dibujos simplemente ilustran los principios de la invención. Por lo tanto, debe apreciarse que los expertos en la técnica podrán concebir varias disposiciones que, aunque no se hayan descrito o mostrado explícitamente en este documento, representan los principios de la invención y están incluidas dentro de su alcance. Además, todos los ejemplos descritos en este documento se proporcionan principalmente por motivos pedagógicos para ayudar al lector a entender los principios de la invención y los conceptos aportados por el (los) inventor(es) para mejorar la técnica, y deben considerarse como no limitativos con respecto a tales ejemplos y condiciones descritos de manera específica. Además, todo lo expuesto en este documento relacionado con los principios, aspectos y realizaciones de la invención, así como los ejemplos específicos de los mismos, abarcan equivalencias de los mismos.

Aunque la presente invención se ha descrito con referencia a realizaciones específicas, los expertos en la técnica deben entender que los anteriores y diversos otros cambios, omisiones y adiciones en la forma y el detalle de las mismas pueden realizarse sin apartarse del alcance de la invención tal como se definen mediante las reivindicaciones siguientes.

Definición de términos.

Se definen aquí algunos términos usados, para mayor claridad de la descripción:

Resolución espacial del sensor de la cámara: es el número de píxeles de que consta el sensor de la cámara, generalmente expresado por el producto de los píxeles de la línea horizontal por los de la línea vertical en un sensor rectangular.

Resolución espectral del sensor de la cámara: Es el número de longitudes de onda a que es sensible el sensor de la cámara dentro de un rango determinado.

Distancia de trabajo: Rango de distancias en que la óptica de la cámara es capaz de enfocar correctamente la muestra.

REIVINDICACIONES

1. Método para la determinación de un grupo de características de frutos, donde el método comprende los siguientes pasos:

5

- Capturar, con luz natural, al menos una imagen hiperespectral de al menos una parte de una planta con frutos con una cámara en el terreno donde está plantada la planta; y donde en dicha imagen hiperespectral, se obtienen datos de reflectancia de los píxeles de la imagen a distintas longitudes de onda de un rango del espectro;

10

donde el método comprende además los siguientes pasos realizados por un equipo electrónico de procesamiento:

15

- Recibir los datos de la imagen hiperespectral y a partir de ellos, seleccionar automáticamente aquellos píxeles pertenecientes a la imagen de al menos un fruto, aplicando un algoritmo de clasificación;

20

- Para cada una de las características del grupo, comparar los datos obtenidos de la imagen hiperespectral para cada uno de los píxeles seleccionados para cada longitud de onda del rango, con una firma espectral preestablecida que corresponde a dicha característica del al menos un fruto, donde la firma espectral de cada característica comprende un vector con el valor de reflectancia, para cada longitud de onda del rango, obtenido durante un proceso de entrenamiento previo, que corresponde a la presencia de una unidad de dicha característica en un fruto;

25

- A partir de dicha comparación del paso anterior, determinar la cantidad de cada una de las características del grupo del al menos un fruto en cada uno de los píxeles seleccionados, a partir de la comparación del paso anterior;

30

donde para cada captura, con luz natural, se realiza una calibración midiendo el espectro de reflectancia de un material que se usa de referencia para las medidas de reflectancia;

donde las características del grupo comprenden parámetros físico-químicos del al menos un fruto; y

35

donde la distancia a la que se coloca la cámara de la planta depende del tamaño del al menos un fruto y de la resolución espacial de la cámara.

2. Método de acuerdo a la reivindicación 1 donde las características del grupo son características internas del al menos un fruto.

5 3. Método de acuerdo a la reivindicación 1 donde el grupo de características comprende una o más de las siguientes: sólidos solubles, pH, firmeza, contenido en licopeno, grados BRIX, polifenoles o características externas relacionadas con el aspecto exterior del al menos un fruto.

10 4. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende:

- presentar el equipo electrónico de procesamiento a un usuario, la cantidad determinada para cada pixel de cada una de las características y/o

15 - el equipo electrónico enviar, mediante una red de comunicación, a un dispositivo electrónico del usuario la cantidad determinada para cada pixel de cada una de las características.

5. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que, además comprende:

20 - realizar una reconstrucción en el espectro visible, de la imagen del al menos un fruto;

- para cada característica, representar cada pixel de la imagen en un color dependiendo de la cantidad de dicha característica determinada para cada pixel.

25 6. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la distancia a la que se coloca la cámara de la planta depende además de al menos de uno o más de los siguientes parámetros: la tecnología óptica de la cámara y la iluminación.

30 7. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la imagen se captura cuando la luz natural incide aproximadamente a 45° respecto a la vertical.

8. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el rango del espectro en el que se recogen datos de la imagen hiperespectral es un rango de longitudes de onda entre 400 y 1000 nm.

35

9. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde antes de la captura de la imagen se realiza una calibración de la cámara usando un elemento válido para la calibración colocado junto al objeto a capturar.

5 10. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la selección de los píxeles se realiza mediante métodos de aprendizaje automáticos.

11. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el equipo electrónico y la cámara forman parte del mismo dispositivo o están separados y comunicados
10 a través de una red de comunicación y en este segundo caso, el equipo electrónico recibe la imagen hiperespectral capturada a través de la red de comunicación.

12. Sistema para la determinación de un grupo de características de frutos, donde el sistema comprende:

15

- Una cámara configurada para capturar, con luz natural, al menos una imagen hiperespectral de al menos una parte de una planta con frutos, donde la cámara para capturar la imagen se sitúa en el terreno donde está plantada la planta y donde dicha imagen hiperespectral comprende datos de reflectancia de los píxeles de la imagen a distintas longitudes de onda
20 de un rango del espectro;

- Al menos un equipo electrónico de procesamiento configurado para:

25

- Recibir los datos de la imagen hiperespectral y a partir de los mismos, seleccionar automáticamente aquellos píxeles pertenecientes a la imagen de al menos un fruto, aplicando un algoritmo de clasificación;

30

- Para cada una de las características del grupo, comparar los datos obtenidos de la imagen hiperespectral para cada uno de los píxeles seleccionados para cada longitud de onda del rango, con una firma espectral preestablecida que define dicha característica del fruto, donde la firma espectral de cada característica comprende un vector con el valor de reflectancia, para cada longitud de onda del rango, obtenido durante un proceso de entrenamiento previo, que corresponde a la presencia de una unidad de dicha característica en un fruto;

35

- Determinar la cantidad de cada una de las características del grupo del al menos un fruto en

cada uno de los pixeles seleccionados, a partir de dicha comparación;

donde para cada captura, con luz natural, se realiza una calibración midiendo el espectro de reflectancia de un material que se usa de referencia para las medidas de reflectancia;

- 5 donde las características del grupo comprenden parámetros físico-químicos del al menos un fruto; y

donde la distancia a la que se coloca la cámara de la planta depende del tamaño del al menos un fruto y de la resolución espacial de la cámara.

- 10 13. Programa de ordenador que comprende instrucciones ejecutables por ordenador para implementar el método según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, al ejecutarse en un ordenador, un procesador digital de la señal, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

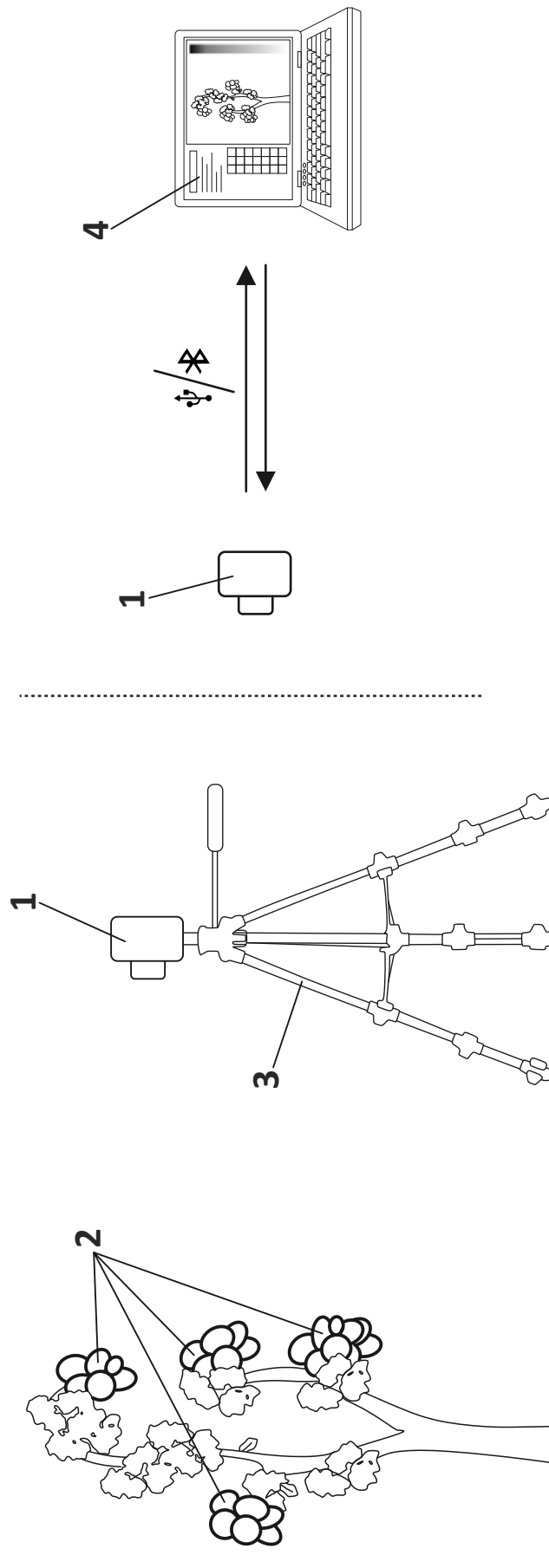


FIG. 1