

MÉTODO Y DISPOSITIVO PARA DETERMINAR UN DATO DEL ESTADO DE MADUREZ FISIOLÓGICA DE UNA FRUTA A PARTIR DE DESCRIPTORES DE TEXTURA DE SU IMAGEN

Campo de la invención

La presente invención se relaciona con métodos y dispositivos para determinar la madurez de una fruta a través del procesamiento de imágenes. Particularmente, determinar la madurez de la fruta a través de descriptores de textura obtenidos de su imagen.

Descripción del estado de la técnica

Es importante conocer el mejor momento para cosechar la siembra, con el objetivo de tener un producto de alta calidad que cumpla los estándares para consumo y también, para que no se pudra durante su transporte, en exhibición en puntos de venta o en su proceso de exportación. Uno de los factores más importantes para saber el mejor momento para cosechar es el estado de madurez fisiológica de la fruta. Cosechar antes o después que la fruta este madura afecta la calidad del producto a comercializar. Ahora bien, en ciertas frutas existe dificultad de determinar el estado de madurez fisiológica ya que no permiten una clasificación visual para conocer su estado de madurez, entre estas se encuentra el aguacate Hass.

En este caso en particular, el mejor enfoque para determinar la madurez fisiológica del aguacate Hass para la exportación, implica el uso de técnicas no destructivas directamente en el árbol. El uso de imágenes es un método potencialmente superior para determinar el momento óptimo de cosecha, ya que es rápido y menos costoso. Se conocen el uso de imágenes para inferir el contenido de materia seca de la fruta de aguacate, sin embargo, las investigaciones se han realizado en postcosecha. Existen estudios en frutas como manzanas, bananos, tomates y piñas para determinar el momento óptimo de cosecha mediante la técnica de procesamiento de imágenes visuales, enfatizado en medidas del color. Sin embargo, el color no sirve como parámetro de clasificación de la madurez fisiológica del aguacate.

Por todo lo anterior, existe la necesidad de encontrar un dispositivo y método para determinar la madurez fisiológica de frutos que sea invariable a la rotación e iluminación y que al tiempo sea rápido y menos costoso.

El estado de la técnica divulga en el documento CN109978822A un método de evaluación de madurez de banano basado en visión artificial, dicho método sigue las siguientes etapas: posicionar una región de interés de una imagen de la fruta a una distancia específica (entre 50 y 100 cm), en donde la imagen se puede obtener por medio de una cámara que maneje el espacio de color RGB. La imagen se procesa utilizando un método de filtrado y umbral de espacio. El borde de la imagen se calcula mediante el operador de gradiente. Luego, se

obtiene una medida estadística de color usando un clasificador bayesiano ingenuo sobre dicha región de interés de la imagen. En esta segunda etapa se hace una transformación del espacio de color RGB de la región de interés de la imagen a un espacio de color HSV. En la siguiente etapa, se obtienen unas características locales de distribución de la dirección del gradiente de la región de interés de la imagen utilizando una técnica estadística de análisis discriminante.

Luego, en una etapa siguiente, se obtiene una característica de textura local de la imagen, utilizando un algoritmo SVM (Support Vector Machine, en inglés) multi-clase de acuerdo con una característica de textura local que se basa en un modelo de discriminación características de madurez del banano basado en características de forma locales y que juzga el modelo de decisión.

Sin embargo, el documento CN109978822A solo menciona que el procesamiento se realiza post cosecha, enfocándose en la madurez de consumo, y además el método solo es aplicado en los canales H (matiz) y S (saturación) del espacio de color HSV.

El documento CN110736709A divulga un método no destructivo para determinar la madurez de arándanos que usa una red neuronal. El método comprende las etapas de: (1) recoger muestras de arándanos desde el período de coloración hasta el período de madurez completo de las frutas de arándanos, muestrear N veces, y recopilar simultáneamente información de la imagen en color de las frutas de arándanos antes de recogerlas en cada período para su uso posterior; (2) medir y registrar el contenido de clorofila en la cáscara de arándano; (3) preprocesar la imagen obtenida mediante un ajuste de la resolución de la imagen tomada en el paso (1), toma la imagen como muestra de entrenamiento, ingresa la imagen en una red de predicción de contenido de clorofila de arándano y procesa la entrada de datos de imagen en la red de predicción de contenido de clorofila de arándano adoptando un método de reducción de promedios en un proceso de entrenamiento y prueba de la imagen.

Luego en una etapa (4), se construye un conjunto de datos de predicción del contenido de clorofila: realizar el marcado del marco en la imagen procesada en el paso (3) mediante el uso de un script Label-Image, etiquetar la imagen en el período correspondiente utilizando el valor medido de clorofila de cada período, construir un conjunto de datos de predicción de contenido de clorofila, y dividir el conjunto de datos de predicción de contenido de clorofila en un conjunto de datos de entrenamiento y un conjunto de datos de prueba.

Por último, se realiza una etapa (5) de entrenamiento y prueba de un modelo de predicción de contenido de clorofila ingresando el marco de límite como información de marcado en una red de contenido de predicción de clorofila de arándano extrayendo características de arándano. El modelo de predicción genera un marco de límite de arándano correspondiente en función de las características generadas, mapeando información relevante del límite encuadre en un mapa de características de una imagen original. Para luego, convertir las características mapeadas de arándanos en vectores de características de alta dimensión,

utilizando dichos vectores como información de características para predecir el contenido de clorofila, mapeando el contenido de clorofila de salida y la madurez de las frutas usando un modelo de predicción de contenido de clorofila entrenado. Para finalmente juzgar la madurez del valor de mapeo actual a través de un valor de mapeo de resultado de predicción final después de mapear entre valores.

Sin embargo, el documento CN110736709A se limita al uso de descriptores de color, para caracterizar los cambios en la clorofila, y predecir la madurez de la fruta.

El documento WO2015121809 divulga un equipo y un método para la identificación de frutos por color y cosecha selectiva. El equipo comprende un sistema de adquisición de imágenes con unidad mínima de observación del cultivo a nivel de rama y fruto, un sistema de procesamiento de imágenes conectado al sistema de adquisición de imágenes, el cual genera una señal de desprendimiento de fruto, por medio de la comparación de las imágenes procesadas contra dos valores de umbral, en donde uno indica la presencia de frutos maduros y otro que indica el riesgo de desprender un fruto inmaduro. El equipo de WO2015121809 comprende un mecanismo de desprendimiento de frutos que desprende el fruto en un movimiento que describe una función evolvente acorde a la silueta del fruto; un mecanismo de recepción de los frutos conectado al mecanismo de desprendimiento, un sistema de control que controla al mecanismo de desprendimiento, el sistema de procesamiento de imágenes, y el sistema de adquisición de imágenes; y un sistema de alimentación de energía al equipo.

Particularmente, el método de WO2015121809 comprende las etapas de: (a) adquirir imágenes de los frutos en la rama; (b) almacenar las imágenes en una memoria; (c) preprocesar las imágenes con un filtrado para reducción de ruido y mejora de las imágenes; (d) convertir las imágenes de un espacio de color RGB a un espacio de color LUX mod; (e) umbralizar las variables U, y VLUX-modificado del espacio de color LUX mod obteniendo una imagen binaria y detectar los píxeles de frutos maduros e inmaduros; (f) contar los píxeles de frutos maduros e inmaduros; (g) detectar las zonas de interés, conforme a la posición sobre la rama que contiene los frutos indicada por la imagen; (h) determinar un valor de umbral de riesgo de desprender un fruto inmaduro "N" como un porcentaje de la totalidad de píxeles de la sección de la zona de interés; (i) determinar el riesgo de desprender un fruto inmaduro comparando el porcentaje de píxeles de frutos inmaduros de la sección de la zona de interés con el valor de umbral de riesgo de desprender un fruto inmaduro "N"; (j) genera una orden de activación y desprender el fruto dependiendo de las siguientes reglas: i) si el porcentaje de píxeles maduros es mayor al valor de umbral de riesgo de desprender un fruto inmaduro "N" y el riesgo de cosechar frutos inmaduros es menor que valor de umbral de riesgo de desprender un fruto inmaduro "N" se genera una orden de activación y se desprende el fruto de manera automática; y, ii) si el porcentaje de píxeles maduros es mayor al valor de umbral de riesgo de desprender un fruto inmaduro "N" y si el porcentaje de píxeles de frutos inmaduros de la zona de interés supera valor de umbral de riesgo de desprender un fruto

inmaduro "N" no se genera orden de activación y no se desprende el fruto maduro de manera automática sino de forma manual.

Sin embargo, el documento WO2015121809 se limita al uso de descriptores de color, para caracterizar los cambios de color que se presentan en el café, y así determinar si el café está madurado.

De otra parte, el documento Dubey, S.R, Jalal, A.S. (*"Fusing Color and Texture Cues to Categorize the Fruit Diseases from Images"*. International Journal of Computer Vision and Image Processing (IJCVIP). 4: 52-67 (2014)) divulga un método para la clasificación de enfermedades de la fruta y se valida experimentalmente. Este documento está basado en el procesamiento de imágenes usando los siguientes pasos: en el primer paso, se utiliza la técnica de agrupamiento de "*K-Means*" para la segmentación de defectos, en el segundo paso se extraen y fusionan las señales de color y textura de la imagen segmentada, y finalmente las imágenes se clasifican en una de las clases mediante el uso de un algoritmo SVM multi-clase. Particularmente, este documento divulga que las imágenes de las frutas se pueden obtener en el espacio de color (HSV), aunque mencionan que en su modalidad preferida las obtienen en RGB y luego se transforman en el espacio de color L^*a^*b .

Sin embargo, este documento no evalúa específicamente la madurez fisiológica de la fruta, sino se limita a detectar segmentos de la fruta en mal estado.

Por otro lado, el documento S.Arivazhagan et al (*"Fruit Recognition using Color and Texture Features"*. Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, VOL. 1, NO. 2, Oct 2010) divulga un sistema de reconocimiento de frutas que comprende las siguientes etapas: 1) obtener una imagen de fruta de entrada y convertirla al espacio de color HSV. 2) umbralizar en el componente S, 3) cerrar agujeros pequeños con un operador morfológico de cierre con un elemento de estructuración de disco, 4) encontrar el área de una región de interés a partir de una imagen binaria, y 5) recortar la región de interés y reemplazar los valores binarios con la intensidad de píxel original.

Particularmente, este documento divulga que para la clasificación de las frutas se usan descriptores de color y de textura, y menciona que las imágenes de la fruta se convierten al espacio de color HSV y las características estadísticas como la media, la desviación estándar, la inclinación y la curtosis se derivan de los componentes H y S. Por lo tanto, habrá ocho características estadísticas de color para una imagen. El componente V está sujeto a la descomposición de un nivel utilizando la Transformación discreta de Wavelet y las características de co-ocurrencia tales como contraste, energía, homogeneidad local, sombra de agrupamiento y prominencia de agrupamiento se derivan de la matriz de concurrencia construida a partir de la sub-banda de aproximación. Además, este documento divulga que el sistema obtiene buenos resultados combinando los descriptores de color con los descriptores de textura para clasificar las frutas.

Sin embargo, este documento se limita a detectar que tipo de fruta se encuentra en la imagen. Además, este documento solo divulga la clasificación en frutas cosechadas que ya se encuentra maduras y listas para consumo.

Breve descripción de la invención

La presente invención se refiere a un método para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen, que comprende: a) ingresar al menos un dato descriptor de textura y unos datos de referencia del estado de madurez en una unidad de memoria de una unidad de cómputo; b) obtener una imagen en un espacio de color Rojo, Verde, Azul (RGB) de una porción de la fruta por medio de un dispositivo de adquisición de imágenes; c) procesar la imagen obtenida en el paso (b), aplicando un proceso de Ecualización de Histograma Adaptativo Limitado por Contraste (CLAHE) mediante la unidad de cómputo; d) transformar la imagen procesada del paso (c) a un espacio de color Matiz, Saturación, Valor (HSV) mediante un proceso de transformación en la unidad de cómputo; e) obtener al menos un dato de textura con la unidad de cómputo aplicando un método para determinar descriptores de textura de acuerdo con el dato descriptor de textura ingresado en el paso (a) en al menos un canal de color Matiz (H), Saturación (S) o Valor (V) del espacio de color HSV de la imagen obtenida en la etapa (d); y f) obtener un dato de estado de maduración mediante un método de clasificación que toma como entrada los datos de textura obtenidos en el paso (e) y los datos de referencia del estado de madurez en la etapa (a).

Adicionalmente, la presente invención se refiere a un dispositivo para determinar un dato de estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen, que comprende un dispositivo de adquisición de imágenes, dicho dispositivo de adquisición de imágenes permite obtener una imagen en un espacio de color Rojo, Verde, Azul (RGB) de una porción de la fruta. Además, comprende una unidad de cómputo conectado al dispositivo de adquisición de imágenes.

Particularmente, la unidad de cómputo está configurada para: recibir al menos un dato descriptor de textura de frutas y unos datos de referencia del estado de madurez en una unidad de memoria a la que accede la unidad de cómputo; procesar la imagen en el espacio RGB aplicando un proceso de Ecualización de Histograma Adaptativo Limitado por Contraste (CLAHE) mediante una unidad de cómputo; transformar la imagen procesada a un espacio de color Matiz, Saturación, Valor (HSV) mediante un proceso de transformación en la unidad de cómputo; obtener unos datos de textura por medio de la unidad de cómputo aplicando un método de textura de acuerdo con el dato descriptor de textura ingresado, en al menos uno de los canales de la imagen obtenida; y obtener un dato de estado de maduración mediante un método de clasificación, el cual tiene en cuenta los datos de textura obtenidos y los datos de referencia del estado de madurez ingresados.

Breve descripción de las figuras

La FIG. 1 muestra un diagrama de bloques de una modalidad del dispositivo para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen que tiene una unidad de cómputo que incluye un procesador, una memoria temporal, una unidad de memoria y un módulo comunicaciones, dicha unidad de cómputo, se conecta con un dispositivo de adquisición de imágenes que cuenta con un módulo de comunicación.

La FIG.2 muestra una modalidad del dispositivo para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen que tiene una carcasa con tapa que aloja una unidad de cómputo y un módulo de alimentación, dicha unidad de cómputo se conecta con un dispositivo de adquisición de imágenes que se aloja en otra carcasa. Adicionalmente, el dispositivo ilustrado tiene un dispositivo de distanciamiento y un dispositivo interfaz de usuario de luz.

La FIG.3 muestra el dispositivo para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen de la FIG. 2, obteniendo una imagen de una fruta que se encuentra en un árbol.

La FIG. 4 muestra un diagrama de flujo de una modalidad de un método para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen.

La FIG.5 muestra un diagrama de flujo de otra modalidad del método para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen, las cuales cuentan con etapas para determinar si la imagen corresponde a una fruta y si la imagen tiene una calidad adecuada.

La FIG. 6 muestra un diagrama de flujo de una modalidad de un método para seleccionar unos descriptores de textura y uno datos de referencia del estado de madurez.

Descripción detallada de la invención

La presente invención está dirigida a un dispositivo y a un método para determinar el estado de madurez fisiológica de una fruta a partir del procesamiento de imágenes, particularmente, en frutas antes de cosechar.

Es conveniente conocer si una fruta está madura antes de cosecharla, para obtener un producto óptimo para la venta. Ahora bien, los agricultores tienen problemas con algunas frutas para saber cuál es el momento óptimo para su cosecha, sobre todo en ciertas frutas

donde la clasificación visual no es efectiva para conocer el estado de madurez, un ejemplo de este tipo de frutas es el aguacate Hass.

Por lo anterior, varias de las modalidades de la presente invención usan descriptores de textura, los cuales permiten clasificar por su estado de madurez fisiológica a una imagen de una fruta, preferiblemente, en frutas antes de cosechar. Adicionalmente, de manera preferible el dispositivo de la presente invención es portable y fácil de usar para los agricultores.

Haciendo referencia a la FIG. 1, en una modalidad de la invención, el dispositivo para determinar un dato de estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen, que comprende un dispositivo de adquisición de imágenes (1), dicho dispositivo de adquisición de imágenes permite obtener una imagen en un espacio de color Rojo, Verde, Azul (RGB) de una porción de la fruta, preferiblemente, sin compresión de la imagen. Además, el dispositivo de esta modalidad comprende una unidad de cómputo (2) conectado al dispositivo de adquisición de imágenes (1).

Particularmente, la unidad de cómputo (2) está configurada para: recibir al menos un dato descriptor de textura de frutas y unos datos de referencia del estado de madurez en una unidad de memoria (3) a la que accede la unidad de cómputo (2); procesar la imagen en el espacio RGB aplicando un proceso de Ecualización de Histograma Adaptativo Limitado por Contraste (CLAHE) mediante una unidad de cómputo (2); transformar la imagen procesada a un espacio de color Matiz, Saturación, Valor (HSV) mediante un proceso de transformación en la unidad de cómputo; obtener unos datos de textura por medio de la unidad de cómputo aplicando un método de textura de acuerdo con el dato descriptor de textura ingresado, en al menos uno de los canales de la imagen obtenida; y obtener un dato de estado de maduración mediante un método de clasificación, el cual tiene en cuenta los datos de textura obtenidos y los datos de referencia del estado de madurez ingresados.

Un efecto técnico del dispositivo de la presente invención es clasificar una fruta sin necesidad de hacer ensayos destructivos, sin tener que estar en contacto directo con la fruta y sin tener ningún tipo de ambiente controlado. Además, el dispositivo de la presente invención permite determinar si la fruta está madura aun cuando la fruta está en el árbol.

La unidad de cómputo (2) puede tener una unidad central de procesamiento (CPU) (4) preferiblemente con integración a una unidad de procesamiento gráfico (GPU) que lleva a cabo las tareas de procesamiento como por ejemplo el procesamiento que se le hace a la imagen para aplicar el proceso de CLAHE, calculo y clasificación de los descriptores de textura. La unidad central de procesamiento (4) se puede seleccionar del grupo conformado por: microcontroladores, micro procesadores, DSCs (Digital Signal Controller por sus siglas en inglés), FPGAs (Field Programmable Gate Array por sus siglas en inglés), CPLDs (Complex Programmable Logic Device por sus siglas en inglés), ASICs (Application Specific Integrated Circuit por sus siglas en inglés), SoCs (System on Chip por sus siglas en

inglés), PSoCs (Programmable System on Chip por sus siglas en inglés), computadores, servidores, tabletas, celulares, celulares inteligentes, generadores de señales y combinaciones de los mismos.

La unidad de memoria (3) puede ser una memoria permanente que alberga los datos cargados por el usuario y generados por la unidad central de procesamiento (4).

Además, el dispositivo puede incluir una memoria temporal (5) en la cual se pueden almacenar datos generados por la unidad central de procesamiento (4) que tiene un tiempo de almacenamiento limitado. El uso de memorias temporales para el procesamiento de datos sirve para agilizar los tiempos de procesamiento.

Opcionalmente, la memoria temporal (5) puede albergar datos de forma permanente, de igual forma, la unidad de memoria (3) puede albergar datos temporales.

En una modalidad, la unidad de memoria (3) y la memoria temporal (5) hacen parte de una memoria con un arreglo de registro de memoria. Donde la unidad de memoria (3) y la memoria temporal (5) corresponden a registros de memorias en dicha memoria.

En el caso de la unidad de memoria (3) y la memoria temporal (5) pueden seleccionarse entre memorias RAM (memoria caché, SRAM, DRAM, DDR), memoria ROM (Flash, discos duros, SSD, EPROM, EEPROM, memorias ROM extraíbles (v.g. SD (miniSD, microSD, etc), MMC (MultiMedia Card), Compact Flash, SMC (Smart Media Card), SDC (Secure Digital Card), MS (Memory Stick), entre otras)), CD-ROM, discos versátiles digitales (DVD por las siglas en inglés de Digital Versatile Disc) u otro almacenamiento óptico, casetes magnéticos, cintas magnéticas, almacenamiento o cualquier otro medio que pueda usarse para almacenar información y a la que se puede acceder por el procesador. En los registros de memoria generalmente se incorporan instrucciones, estructuras de datos, módulos de programas informáticos. Algunos ejemplos de estructura de datos son: una hoja de texto o una hoja de cálculo, una base de datos, se debe entender por una base de datos a un conjunto de datos almacenados en un registro de memoria sistemáticamente para su posterior uso.

Por otro lado, la unidad de cómputo (2) se conecta con un módulo de comunicaciones que es un elemento de hardware acoplado una unidad de cómputo, unidad de procesamiento, o módulo de procesamiento o un servidor, el cual está configurado para establecer comunicación por medio de enlaces de comunicación entre uno o más unidades de cómputo o servidores para intercambiar datos, comandos y/o etiquetas. El módulo de comunicaciones se selecciona del grupo que consiste de módulos de comunicación alámbricos, módulos de comunicación inalámbrico y módulos de comunicación alámbrico e inalámbrico.

Haciendo referencia a la FIG. 2, la unidad de cómputo (2) y el dispositivo de adquisición de imágenes (1) se conectan entre ellos por medio del módulo de comunicación (6) que es

alámbrico e inalámbrico, en este caso la unidad de cómputo (2) y el dispositivo de adquisición de imágenes (1) se conectan por un cable.

El módulo de comunicaciones inalámbrico usa una tecnología de comunicación inalámbrica que se selecciona del grupo conformado por Bluetooth, WiFi, Radio Frecuencia RF ID (por las siglas en inglés de Radio Frequency Identification), UWB (por las siglas en inglés de Ultra Wide Band), estándar CALM (del inglés, Communications Access for Land Mobile), GPRS, Konnex o KNX, DMX (por sus siglas en inglés, Digital MultipleX), WiMax y tecnologías de comunicación inalámbricas equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de las anteriores.

El módulo de comunicaciones alámbricas tiene un puerto de conexión cableada que permite la comunicación con los dispositivos externos mediante un bus de comunicaciones, el cual se selecciona entre otros, del grupo conformado por I2C (del acrónimo de IIC Inter-Integrated Circuit), CAN (por las siglas en inglés de Controller Area Network), BUS RS-232, BUS RS-485, BUS-422, BUS-423, Ethernet, SPI (por las siglas en inglés de Serial Peripheral Interface), SCI (por las siglas en inglés de Serial Communication Interface), QSPI (por las siglas en inglés de Quad Serial Peripheral Interface), 1-Wire, D2B (por las siglas en inglés de Domestic Digital Bus), Profibus y otros conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

Adicionalmente, la unidad de cómputo (2) se conecta a un dispositivo de cómputo externo (9) mediante el módulo de comunicaciones (6), en donde el dispositivo de cómputo externo (9) está configurado para enviar datos a la unidad de cómputo (2), por ejemplo, el dispositivo externo (9) envía los datos descriptores de textura y los datos de referencia del estado de madurez.

En un ejemplo particular, la unidad de cómputo (2) se conecta a un servidor mediante el módulo de comunicaciones (6), en donde el servidor está configurado para programar la unidad de cómputo (2).

Se debe entender como servidor, un dispositivo que tiene una unidad de procesamiento configurada para ejecutar una serie de instrucciones correspondientes a etapas o pasos de métodos, rutinas o algoritmos. Además, el servidor tiene un módulo de comunicaciones que permite establecer conexión con otros servidores o dispositivos computacionales.

Además, los servidores pueden conectarse entre sí, y conectarse con otros dispositivos computacionales a través de arquitecturas de servicios web y comunicarse por protocolos de comunicaciones como SOAP, REST, HTTP/HTML/TEXT, HMAC, HTTP/S, RPC, SP y otros protocolos de comunicaciones conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

Similarmente, los servidores mencionados en el Capítulo Descriptivo de la presente invención pueden ser interconectados a través de redes como el internet, redes VPN, redes LAN, WAN, otras redes equivalentes o similares conocidas por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de estas. Estas mismas redes pueden conectar a la unidad de cómputo (2) a uno o más servidores.

Algunos de los servidores mencionados en el Capítulo Descriptivo de la presente invención pueden ser servidores virtuales o servidores físicos.

Cualquiera de los servidores de la presente invención puede incluir un módulo de memoria configurado para almacenar instrucciones que al ser ejecutadas por el servidor ejecuten una parte, o la totalidad de una o más etapas de cualquiera de los métodos aquí divulgados.

Por otro lado, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) tiene al menos un sensor sensible al espectro visible o a otras porciones del espectro electromagnético empleado para capturar una imagen que se encuentra en un campo visual de dicho dispositivo de adquisición de imágenes (1). Dicho dispositivo de adquisición de imágenes (1) es el encargado de obtener las imágenes de la fruta, con las cuales se va a determinar el estado de madurez fisiológica de la fruta. Por lo anterior y para mejorar el procesamiento de dichas imágenes, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) en algunos casos debe poder cumplir ciertas condiciones (v.gr. obtener imágenes sin compresión o imágenes con resolución espacial homogénea).

Por lo anterior, en una modalidad de la invención, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) obtiene las imágenes en un formato sin compresión para evitar pérdidas en los cambios sutiles de la textura de la imagen. En un ejemplo particular, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) puede obtener la imagen en formato TIFF.

Del mismo modo, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) obtiene las imágenes con una resolución entre 0.1Megapíxeles a 40Megapíxeles, preferiblemente, 0.5 Megapíxeles a 10 Megapíxeles y aún más preferiblemente, entre 1 Megapíxeles a 3 Megapíxeles. El efecto técnico de obtener una imagen con una resolución entre 1Megapíxeles a 3Megapíxeles es que permite garantizar la caracterización de un área representativa de la superficie de la fruta a una distancia que permite realiza la recolección manual de la fruta (30 a 50 cm).

El dispositivo de adquisición de imágenes (1) se puede seleccionar del grupo conformado por cámaras compactas, cámaras APS (por las siglas en inglés de Advanced Photo System), cámaras réflex SLR (por las siglas en inglés de Single Lens Reflex), cámaras digitales, cámara TLR (por las siglas en inglés de Twin Lens Reflex), escáneres y combinaciones de estos. Por otro lado, la tecnología del elemento sensor de las cámaras se selecciona del grupo conformado por sensores CCD (por las siglas en inglés de Charge Coupled Device), CMOS (por las siglas en inglés de Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) o híbrido

CCD/CMOS, que a su vez se puede seleccionar entre tecnología a color, monocromática, alta definición, alta sensibilidad, alta velocidad, entre otras.

Opcionalmente, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) puede obtener imágenes con resolución espacial homogénea. Para lograrlo el dispositivo de adquisición de imágenes (1) puede contar con dispositivos externos a este para obtener la resolución espacial homogénea o, por el contrario, el mismo dispositivo de adquisición de imágenes (1) puede contar tener embebidos elementos que permitan obtener la resolución espacial homogénea.

Haciendo una referencia a la FIG. 2, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) cuenta con un dispositivo de distanciamiento (14), el cual está configurado para medir la distancia entre el dispositivo de adquisición de imágenes (1) y la fruta; y enviar una señal de control al dispositivo de adquisición de imágenes (1) para que obtenga la imagen de acuerdo con una condición de distanciamiento predefinida.

Por otra parte, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) puede contar con el dispositivo de distanciamiento (14) que cuenta con un dispositivo de visualización, en este caso el dispositivo de distanciamiento (14) está configurado para medir la distancia entre el dispositivo de adquisición de imágenes y la fruta; y envía la señal de control al dispositivo de visualización, el cual convierte la señal de control en unos datos de distancia que corresponden a la distancia entre el dispositivo de adquisición de imágenes (1) y la fruta, estos datos se muestran al usuario por medio del dispositivo de visualización. El usuario que conoce la condición de distanciamiento predefinida obtiene la foto cuando la distancia que muestra el dispositivo de visualización es igual a la condición de distanciamiento predefinida. Lo anterior permite obtener imágenes con resolución espacial homogénea. La condición de distanciamiento predefinida se puede seleccionar entre 0.2 metros a 5 metros.

Por otro lado, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) cuenta con un aumento (zoom) que puede ser un aumento óptico, o un aumento digital o combinaciones de los anteriores, con el cual se puede obtener la resolución espacial homogénea al modificar el nivel del aumento del dispositivo de adquisición de imágenes (1).

En una modalidad de la invención, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) cuenta con el aumento y el dispositivo de distanciamiento (14), en donde el dispositivo de distanciamiento (14) puede estar configurado para medir la distancia entre el dispositivo de adquisición de imágenes (1) y la fruta; y enviar una señal de control a la unidad de cómputo (2), la cual está configurada para generar unos datos de nivel de zoom a partir de la distancia entre el dispositivo de adquisición de imágenes (1) y la fruta, los cuales corresponden al valor numérico del nivel del zoom necesario para lograr una resolución espacial homogénea. El dispositivo de distanciamiento (14) se puede seleccionar del grupo conformado por sensor de distancia ultrasónica, un sensor de distancia laser (v.gr. Parallax Láser Rangefinder), sensores de distancias inductivos, sensores de distancia por cable, sensores de distancia

infrarrojos, sensores de distancia magnéticos, u otros sensores de distancias conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores.

Los datos de nivel de zoom son enviados al dispositivo de adquisición de imágenes (1), en donde el aumento permite aplicar el nivel de zoom para enfocar la fruta y tomar la imagen de la fruta, para luego ser enviada a la a la unidad de cómputo (2) para su procesamiento.

Por otro lado, el dispositivo de adquisición de imágenes (2) puede contar con un dispositivo de autoenfoque, el cual realiza un enfoque automático a la fruta para que sin importar la distancia entre el dispositivo de adquisición de imágenes (2) y la fruta se obtenga una imagen con resolución espacial homogénea.

En una modalidad de la invención, el dispositivo de la presente invención puede contar con un sensor de posición, el cual está configurado obtener unos datos de posicionamiento, dichos datos de posicionamiento corresponden a la ubicación del dispositivo en un área determinada (v.gr. un campo de sembrado). Lo anterior permite realizar una ubicación de donde fueron obtenidas las imágenes de las frutas, en especial las frutas que se considera maduras.

El dispositivo de la presente invención puede contar con un dispositivo de interfaz de usuario (8) conectado a la unidad de cómputo (2) para informar al usuario que la fruta que se está evaluando está madura y, por consiguiente, está apta para ser cosechada. Por consiguiente, el dispositivo interfaz de usuario está configurado para activarse al recibir una orden de activación, en donde la unidad de cómputo (2) está configurada para generar la orden de activación cuando se obtiene el dato de estado de maduración. El dispositivo de interfaz de usuario (8) puede ser un indicador de luz, un reproductor de sonido, un motor vibrador, una interfaz visual que muestra una imagen, un dispositivo de realidad aumentada que muestra una imagen, entre otros.

Opcionalmente, el dispositivo de la presente invención puede comprender un dispositivo de interfaz de usuario (8) de luz configurado para encenderse al recibir una orden de activación, en donde la unidad de cómputo (2) está configurada para generar la orden de activación cuando obtiene el dato de estado de maduración.

Por otra parte, el dispositivo de la presente invención puede comprender un dispositivo de interfaz de usuario (8) de audio configurado para reproducir un mensaje indicando que la fruta está lista para cosechar al recibir una orden de activación, en donde la unidad de cómputo (2) está configurada para generar la orden de activación cuando obtiene el dato de estado de maduración.

Por otro lado, el dispositivo de la presente invención puede contar con un dispositivo de cosecha de frutas, el cual está configurado para cosechar la fruta una vez se reciba una orden de activación de cosecha, en donde la unidad de cómputo está configura para generar la orden

de activación de cosecha cuando obtiene el dato de estado de maduración. El dispositivo de cosecha cuenta con un controlador, un actuador conectado al controlador y un elemento de cosecha conectado al actuador.

El controlador recibe la orden de activación de cosecha y genera una señal de control que es enviada al actuador, dicho actuador se activa moviendo el elemento de cosecha para cosechar la fruta. En un ejemplo particular, el elemento de cosecha son unas tijeras que se conectan al actuador, en otro ejemplo particular, el elemento de cosecha son unos brazos robóticos que se conectan al actuador.

Por otro parte, el dispositivo de la presente invención puede contar con un módulo de alimentación, que es un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos o más terminales como los son las baterías no recargables y las baterías recargables que se pueden seleccionar como fuentes de energía. Haciendo referencia a la FIGS. 2 y 3, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) y la unidad de cómputo (2) se conectan a un módulo de alimentación (7).

En un ejemplo particular, el módulo de alimentación es una batería recargable, la cual se selecciona del grupo de baterías recargables de iones de litio, por ejemplo, baterías LFP, baterías NMC, baterías Li-S, baterías LiPo y otras baterías equivalentes conocidas por una persona medianamente versada en la materia. Así mismo, el módulo de alimentación puede ser también sustituido por uno de baterías no recargables como, por ejemplo, baterías de zinc-carbono (batería seca), zinc-cloruro, baterías alcalinas, baterías de litio, baterías de litio-disulfuro de hierro, y otras baterías equivalentes conocidas por una persona medianamente versada en la materia.

El dispositivo de la presente invención puede incluir al menos una carcasa configurada para alojar elementos del dispositivo que necesiten algún tipo de protección como lo puede ser por ejemplo la unidad de cómputo (2) o el dispositivo de adquisición de imagen (1). En una modalidad de la invención, la unidad de cómputo (2) y el dispositivo de adquisición de (1) se alojan en una única carcasa.

Haciendo referencia a la FIGS. 2 y 3, en una modalidad de la invención, se observa como en una primera carcasa (10) con tapa (11) se aloja la unidad de cómputo (2) y el módulo de alimentación (7) y en una segunda carcasa (12) se dispone el dispositivo de adquisición de imágenes (1), el dispositivo de interfaz de usuario (8) de luz y el dispositivo de posicionamiento (14). Se observa también, que el dispositivo de adquisición de imágenes (1) se conecta a la unidad de cómputo (2) y al módulo de alimentación (7) por medio de los módulos de comunicación (6, 15) alámbrico por medio de un cable.

Ahora bien, las carcasas pueden estar configuradas para conectarse a un sistema de agarre (13), el cual se configura a su vez para sostenerse en el cuerpo del usuario o a otro elemento. Particularmente, el sistema de agarre (13) se conforma por bandas elásticas, correas ajustables, arnés de cabeza, maletas, entre otros.

Haciendo referencia a al FIGS. 2 y 3, la segunda carcasa (12) cuenta con unas ranuras por las cuales, se conecta el sistema de agarre (13) que en este caso son unas correas ajustables, por su lado, la primera carcasa (10) se aloja en una maleta que lleva puesta el usuario.

Con el dispositivo descrito anteriormente, la presente invención realiza un método para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen. Con el cual, haciendo un procesamiento de una imagen de la fruta se obtiene un dato de estado de maduración de esta.

Haciendo referencia a la FIG. 4, en una modalidad de la invención, el método para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen, que comprende:

- a) ingresar al menos un dato descriptor de textura y unos datos de referencia del estado de madurez en una unidad de memoria (3) de una unidad de cómputo (2);
- b) obtener una imagen en un espacio de color Rojo, Verde, Azul (RGB) de una porción de la fruta por medio de un dispositivo de adquisición de imágenes (1);
- c) procesar la imagen obtenida en el paso (b), aplicando un proceso de Ecualización de Histograma Adaptativo Limitado por Contraste (CLAHE) mediante la unidad de cómputo (2);
- d) transformar la imagen procesada del paso (c) a un espacio de color Matiz, Saturación, Valor (HSV) mediante un proceso de transformación en la unidad de cómputo (2);
- e) obtener al menos un dato de textura con la unidad de cómputo aplicando el descriptor de textura ingresado en el paso (a), en al menos un canal de color Matiz (H), Saturación (S) o Valor (V) del espacio de color HSV de la imagen obtenida en la etapa (d); y
- f) obtener un dato de estado de maduración mediante un método de clasificación entrenado, el cual tiene en cuenta unos datos de textura obtenidos en el paso (e) y los datos de referencia del estado de madurez en la etapa (a).

El método de la presente invención permite determinar el estado de madurez de la fruta a través de su imagen, sin necesidad de tener contacto con la fruta. Preferiblemente, para analizar frutas en las que su color no indica claramente su nivel de madurez (e.g. aguacate Hass), el método evita utilizar descriptores de color de la imagen, o los puede tomar como un descriptor de menor importancia que otros, por ejemplo, los descriptores de textura. Al usar al menos un descriptor de textura, se logra realizar una clasificación de una imagen solo por su textura.

En la etapa a), en la unidad de cómputo (2) se ingresan al menos un dato descriptor de textura y unos datos de referencia del estado de madurez, en donde los datos de referencia del estado de madurez pueden representar el valor numérico o valores numéricos que debe arrojar el descriptor de textura para considerar una fruta madura o inmadura. El dato descriptor de textura ingresado le indica a la unidad de cómputo (2) que descriptor de textura debe obtener y bajo que método de textura lo debe obtener.

El dato descriptor de textura utilizado puede ser seleccionado al azar por el usuario o se puede obtener por un método de selección con datos previos, también se puede seleccionar más de dato descripto de textura es decir un arreglo de datos descriptor de textura. Dicho arreglo de datos descriptor de textura le indica a la unidad de cómputo (2) cuales descriptores de textura debe obtener y bajo que método de textura debe obtener cada descriptor de textura. El utilizar un arreglo de datos descriptores de textura mejora la eficiencia de la detección de la madurez de la fruta. En el caso que exista un arreglo de datos descriptores de textura, se tiene a su vez un arreglo de datos de referencia del estado de madurez, dicho arreglo de datos de referencia del estado de madurez por ejemplo es un vector que representa una función en un hiperplano vectorial.

Ahora bien y como se mencionó anteriormente, se puede hacer una selección del dato descriptor o del arreglo de datos descriptores de textura que mejor describan una imagen de una fruta, lo anterior es importante, porque las características de la fruta pueden variar por diferentes motivos. Por ejemplo, la zona geográfica en donde se está tomando la puede disminuir la efectividad de ciertos descriptores de texturas y aumentar la efectividad de otros descriptores de textura para determinar el estado de madurez de la fruta.

Los descriptores de textura se pueden seleccionar entre: energía, entropía, contraste, homogeneidad y correlación de los métodos de textura como suma y diferencia de histogramas o la matriz de Co-ocurrencia, énfasis a corto plazo (SRE, por sus siglas), énfasis a largo plazo (LRE, por sus siglas), No uniformidad de nivel de grises (GLN, por sus siglas en ingles), no uniformidad de longitud de ejecución,(RLN, por sus siglas en inglés), porcentaje de ejecución (RP, por sus siglas en inglés), énfasis de ejecución de bajo nivel de grises (LGRE, por sus en inglés), énfasis de ejecución de nivel de gris alto (HGRE, por sus siglas en ingles), énfasis de bajo nivel de grises de corto plazo (SRLGE, por sus siglas en ingles), corto plazo Énfasis de nivel de gris alto (SRHGE, por sus siglas en ingles), gris bajo de largo plazo nivel de énfasis (LRLGE, por sus siglas en ingles) y nivel de grises alto a largo plazo Énfasis (LRHGE), método Py-Radiomics, así como la Media, mediana, desviación estándar, skewness o curtosis del histograma generado por un método de textura.

Para el cálculo de anteriores descriptores de textura, la unidad de cómputo (2) puede contar con unos métodos de textura que se pueden seleccionar del grupo conformado por: histogramas de suma y diferencia (sum and difference histograms), matriz de co-ocurrencia (co-occurrence matrix), matriz de longitud de corrida de nivel de gris (GLRLM, por sus siglas

en ingles), patrón binario local (LBP, por sus siglas en ingles), medidas de textura de leyes, eigenfilter, filtro gabor (gabor filter), la pirámide gaussiana (the gaussian pyramid), modelos autorregresivos, The steerable pyramid, descomposición wavelet (wavelet decomposition), la técnica del espectro de poder (The Power spectrum technique), la distribución de Wigner (The Wigner distribution) y campo aleatorio de markov gaussiano (Gaussian markov random field) u otros métodos de textura conocidos por una persona medianamente versada en materia y combinaciones de las anteriores.

Por lo anterior, el método de la presente invención puede ejecutar diferentes métodos para seleccionar los datos descriptores de textura que mejor describen la imagen de la fruta.

En una modalidad de la invención, el método de selección es un proceso de aprendizaje supervisado, el cual es entrenado con descriptores de textura de imágenes de frutas clasificadas por su maduración. De forma general, la utilización de estos métodos para seleccionar los descriptores de textura permite aumentar la efectividad del método para determinar el estado de madurez de fisiológica.

Por otro lado, el usar procesos de aprendizaje supervisado permite que a medida que se vayan recolectado más imágenes, se pueda realizar una continua actualización de los descriptores de textura y los datos de referencia del estado de madurez.

También, es importante señalar que si el dispositivo de la presente invención cambia de localización geográfica existe la posibilidad de que unos primeros datos descriptores de textura y unos primeros datos de referencia del estado de madurez ingresado en la etapa a), pierdan efectividad, por lo que, preferiblemente, se seleccionarían unos segundos descriptores que mejor describan la imagen de la fruta en la nueva localización. Por ejemplo, el método en su etapa a) se ingresaron unos primeros datos descriptores de textura y unos primeros datos de referencia del estado de madurez, y se ejecutó las etapas de la b) a la f) para determinar la madurez de unas frutas ubicadas en una finca en las coordenadas 5°08'21.6" N, 75°06'22.5" W a 1900 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 20 °C, en este caso todas las frutas identificadas como maduras en efecto eran maduras, lo anterior se comprobó con análisis posteriores a las frutas identificadas.

Ahora bien, se ejecutó el método con los primeros datos descriptores de textura y datos de referencias para determinar la madurez de en frutas ubicadas en una finca en las coordenadas 5°06'19.9"N 75°01'01.9"W a 1420 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 23 °C, en este caso el método identificó unas frutas como maduras, sin embargo, luego de realizarles análisis posteriores se identificaron que dentro de las frutas maduras habían algunas frutas inmaduras. En este caso, unos segundos datos descriptores de textura y unos segundos datos de referencia del estado de madurez fueron ingresados y se determinó que todas las frutas identificadas como maduras correspondían a frutas maduras. Los segundos datos descriptores de textura y los segundos datos de referencia del estado de

madurez se seleccionaron por un método de selección que tuvo en cuenta las nuevas variables que correspondían en este caso a una nueva localización de la fruta.

Haciendo la referencia a la FIG. 5, el entrenamiento del método de selección del al menos un descriptor de textura y los datos de referencia del estado de madurez ingresado etapa (a), puede comprender las siguientes sub-etapas:

- a1) obtener un conjunto de imágenes en un espacio de color Rojo, Verde, Azul (RGB) de un conjunto de frutas por medio del dispositivo de adquisición de imágenes (1);
- a2) obtener de cada fruta del conjunto de frutas un dato de maduración correspondiente a una característica de maduración de la fruta;
- a3) asignar a cada imagen obtenida en la etapa a1) el dato de maduración correspondiente a una característica de maduración obtenido en la etapa a2);
- a4) clasificar las imágenes de las frutas de acuerdo con el dato de maduración y almacenarlas en la unidad de memoria (3);
- a5) procesar las imágenes RGB aplicando una Ecualización de Histograma Adaptativo Limitado por Contraste (CLAHE) mediante la unidad de cómputo (2);
- a6) transformar las imágenes procesada a un espacio de color HSV mediante un proceso de transformación;
- a7) ingresar un conjunto de métodos de textura y aplicar cada uno de los métodos de textura ingresados, en los canales de la imagen obtenida en la etapa a6) para obtener un arreglo de datos de referencia del estado de madurez por medio de la unidad de cómputo (2); y
- a8) obtener al menos un descriptor de textura y unos datos de referencia del estado de madurez por medio de un método de selección a partir del arreglo de datos de referencia del estado de madurez y de la clasificación de las imágenes de la etapa a4).

El entrenamiento anterior del método de aprendizaje supervisado permite obtener al menos un descriptor de textura y a su vez los datos de referencia del estado de madurez con los cuales se realiza la determinación de la madurez de la fruta.

Opcionalmente, un usuario que realiza el entrenamiento obtiene el dato de maduración correspondiente a la característica de maduración de la etapa a2), se pueden obtener de cualquier tipo de método conocido por la persona mediana versada en la materia, por ejemplo, en el caso del aguacate para conocer los valores de porcentaje de materia seca se realiza un ensayo destructivo para el conjunto de aguacates.

En la etapa a3), el usuario que realiza el entrenamiento puede realizar una asignación a las imágenes tomadas en la etapa a1), la asignación se basa en la característica de maduración obtenida en la etapa a2), que se puede seleccionar del grupo conformado por porcentaje de materia seca, grados brix, contenido de aceite, características morfológicas, entre otros. En un ejemplo particular, la característica de maduración es el porcentaje de materia seca de la fruta.

La utilización del porcentaje de la materia seca como característica de maduración es importante, en especial en frutas donde esta característica es el referente para determinar el estado de maduración fisiológica como lo es por ejemplo el aguacate Hass. En un ejemplo particular, cuando la fruta que se está analizando es el aguacate Hass, el porcentaje de materia seca se puede seleccionar de en un rango entre 17 % y 36.5%, preferiblemente, el rango se encuentra entre 23.5% y 30%, en donde se considera la fruta madura si el valor es mayor al valor del porcentaje de materia seca seleccionado, este valor del porcentaje de materia seca seleccionado se le denomina índice de cosecha. Ahora bien, en un ejemplo particular, se selecciona como característica de maduración el porcentaje de materia seca y se define que este índice de cosecha para definir la madurez fisiológica de la fruta es de 23.5%. Por tanto, las imágenes que provienen de frutas con un valor inferior a 23.5% se clasifican como inmaduras y las imágenes que provienen de frutas con un valor superior a 23.5% se clasifican como maduras.

Opcionalmente, en la etapa a4) el usuario que realiza el entrenamiento clasifica las imágenes de las frutas de acuerdo con el dato de maduración y las almacena en la unidad de memoria (3). Es decir, en la unidad de memoria (3) clasifican entre imágenes de frutas maduras e imágenes de frutas inmaduras.

Opcionalmente, los datos obtenidos en las etapas a5) y a6) se guardan en la memoria temporal (5) para disminuir tiempos de procesamiento.

Para realizar una selección adecuada de los descriptores de textura, el método de selección de la etapa a7) puede tener en cuenta unos criterios de selección, los cuales se seleccionan del grupo conformado por un valor de probabilidad (P) de un análisis de varianza (ANOVA), correlación específica entre descriptores, costo computacional, eficacia de predicción en validación cruzada, zona climática y combinaciones de estos.

Opcionalmente, el criterio de selección es la separabilidad de la madurez fisiológica por el dato del descriptor de textura, en este caso el criterio de selección se representa por un valor de probabilidad (P) de un análisis de varianza (ANOVA), en donde dicho P es menor que 0.01. Se debe entender como separabilidad de la madurez a que existe una probabilidad de 0.99 de que el descriptor de texturas puede separar los datos en maduros e inmaduros.

El método de selección se puede seleccionar del grupo conformado por máquina de soporte vectorial (SVM, por sus siglas en inglés), clasificador de red neuronal artificial, clasificador k vecinos más próximos, clasificador de una red neuronal probabilística, clasificador de función de base radial, redes neuronales de retropropagación, árbol de decisión, entre otros. En una modalidad de la invención, el método de selección es una máquina de soporte vectorial (SVM) para clasificación binaria.

En una modalidad de la invención, las imágenes procesadas son almacenadas localmente, pero además son enviadas a un servidor, el cual puede estar configurado para aplicar las etapas a7) y a8) del entrenamiento del método de selección, con los que se obtiene unos segundos descriptores de textura y unos segundos datos de referencia del estado de madurez. Uno de los efectos de llevar a cabo parte del entrenamiento en el servidor es que permite reducir los requerimientos de cómputo del dispositivo usado en campo, seguridad de la información, depuración continua del modelo, generación de modelos generalizados o individualizados para diferentes regiones, asociación de la información con otros datos e integración a otros dispositivos, mejora de los modelos al implementar nuevos descriptores de textura o métodos de clasificación.

Una vez obtenidas el menos un descriptor de texturas y los datos de referencias del estado de madurez, en una etapa b) se obtiene una imagen en el espacio de color RGB de al menos una porción de la fruta por medio del dispositivo de adquisición de imágenes (1). La ventaja de tomar la imagen en el espacio de color RGB es el aprovechamiento de la masificación de los sensores Bayer que han llevado a un bajo costo de implementación y también la facilidad que tiene para convertirse en datos hexadecimales. Preferiblemente, la imagen obtenida en la etapa a) corresponde a la totalidad de un plano de la fruta, con lo cual se aumenta la efectividad de la determinación del estado de madurez.

Por otro lado, una vez obtenida la imagen de la etapa a) la unidad de cómputo (2) puede extraer un segmento de la imagen, por ejemplo, la unidad de cómputo (2) puede solo usar el segmento de la foto que corresponde a la parte central de la fruta. En un ejemplo particular, se toma un segmento central de la imagen con un tamaño de 600*600 pixeles. Uno de los efectos técnicos de tomar el segmento central de la imagen de la fruta es que permite tener la suficiente información para caracterizar la textura de la fruta y representa bajo costo computacional.

Adicionalmente, para evitar pérdida de tiempo en procesamiento de la unidad de cómputo (2), la presente invención puede contar con métodos de procesamiento de imagen para saber si al objeto al cual se le tomo una foto es una fruta o no. Haciendo referencia a la FIG. 6, entre la etapa (b) y la etapa (c) ocurre una etapa adicional una etapa de determinar con la unidad de cómputo (2) si la imagen obtenida en la etapa (b) corresponde a una fruta usando un método de procesamiento de imagen configurado para reconocer frutas, en donde en caso que se determine que la imagen sea una fruta se continua con la etapa (d) y en caso contrario, la unidad de cómputo (2) genera una orden de activación de objeto desconocido.

El método de reconocimiento de frutas puede utilizar un proceso de aprendizaje supervisado que tiene en cuenta algunas características de la imagen como lo pueden ser los descriptores de textura, descriptores de color entre otro, para así determinar si la imagen es una fruta, u opcionalmente, identificar qué tipo de fruta es, el proceso de aprendizaje supervisado se puede seleccionar que se puede seleccionar del grupo conformado por máquina de soporte

vectorial, clasificador de red neuronal artificial, clasificador k vecinos más próximos, clasificador de una red neuronal probabilística, clasificador de función de base radial, redes neuronales de retropropagación, redes neuronales convolucionales, árbol de decisión, entre otros.

En un ejemplo particular, el método de procesamiento de imagen configurado para reconocer frutas sigue las siguientes etapas: obtener un dato de reconocimiento seleccionado entre un dato de validación y un dato de rechazo mediante la unidad de cómputo (2) ejecutando un proceso de aprendizaje automático de reconocimiento de imágenes que toma como entrada la imagen de la etapa b) y un arreglo de datos de entrenamiento que tiene imágenes de frutas e imágenes que no son frutas, donde el proceso de aprendizaje de reconocimiento de imágenes obtiene un dato de validación si la imagen de la etapa b) coincide con un dato del arreglo de datos de entrenamiento que representan frutas, de lo contrario, obtiene un dato de rechazo.

Del mismo modo, la unidad de cómputo (2) puede contar con un método procesamiento de imagen, el cual está configurado para determinar la calidad de imagen que es enviada a la unidad de cómputo (2), lo cual permite una correcta determinación del estado de madurez de la fruta a través de la imagen. Haciendo referencia a la FIG. 4, entre la etapa (b) y la etapa (c) ocurre una etapa adicional de determinar si la imagen tomada tiene una distorsión menor del 5%, la distorsión de la imagen se determina usando un método de la calidad de imagen, en caso que la distorsión de la imagen sea de menos del 5% se continua con la etapa (d) y en caso contrario, la unidad de cómputo (2) genera un orden de activación de mala calidad de imagen.

En un ejemplo particular, el método de procesamiento de imagen para determinar calidad de imagen sigue las siguientes etapas: duplicar la imagen obtenida en la etapa b), aplicar diferentes filtros de distorsión en la imagen duplicada, extraer con diferentes algoritmos los bordes de la imagen obtenida en la etapa b) y en la imagen duplicada; dividir el número de bordes de la imagen obtenida en la etapa b) y en la imagen duplicada para cada algoritmo extractor de bordes; clasificar con un clasificador entrenado si es una imagen nítida o no. Si la imagen se clasifica como nítida entonces se continúa con la etapa c). Para el entrenamiento del clasificador se utiliza una base de datos de imágenes de frutas nítidas y frutas borrosas, a las cuales a cada se les aplicó el mismo método de procesamiento de imagen para determinar calidad de imagen antes descrito.

El método de calidad de imagen se selecciona del grupo conformado por métodos basado en píxeles (NR-P), Paramétrico/Métodos Bitstream (NR-B), Métodos híbridos (Hybrid NR-PB), entre otros.

En una modalidad de la invención, el método de reconocimiento de frutas y el método de calidad de imagen se realiza de manera simultánea. En otra modalidad de la invención, el

método de reconocimiento de frutas se realiza primero que el método de calidad de imagen. Del mismo modo, en otra modalidad de la invención el método de calidad de imagen se realiza primero que el método de reconocimiento de frutas. Un efecto técnico de que el método de calidad se lleve a cabo en primer lugar es que evita fallas en el procedimiento de reconocimiento de frutas, ya que este es entrenado con fotos nítidas.

Por su lado, en la etapa b) se obtiene una imagen en un espacio de color Rojo, Verde, Azul (RGB) de una porción de la fruta por medio de un dispositivo de adquisición de imágenes (1). Donde como se mencionó anteriormente, la imagen preferiblemente es una imagen sin compresión y con una resolución espacial homogénea. Por lo anterior, la etapa b) puede contar con unas subetapas para garantizar que se obtengan imágenes con resolución espacial homogénea, b1) medir la distancia entre el dispositivo de adquisición de imágenes (1) que cuenta con aumento y la fruta mediante el dispositivo de distanciamiento (14) y generar una señal de control; b2) enviar una señal de control a la unidad de cómputo (2); b3) generar unos datos de nivel de aumento a partir de la distancia entre el dispositivo de adquisición de imágenes (1) y la fruta, los cuales corresponden al valor numérico del nivel del aumento necesario para lograr una resolución espacial homogénea; y b4) enviar los datos de nivel de aumento al dispositivo de adquisición de imágenes (1), en donde el aumento del dispositivo de adquisición de imágenes (1) permite aplicar el nivel de aumento para enfocar la fruta y tomar la imagen de la fruta, para luego continuar con la etapa c).

En la etapa c) se procesa la imagen obtenida en la etapa (b), aplicando un proceso CLAHE mediante la unidad de cómputo (2). La utilización del proceso de CLAHE permite que se mejore la determinación el estado de madurez de la fruta, ya que realiza un ajuste del histograma por zonas, siendo un primer pasos para eliminar defectos de iluminación, lo anterior se comprobó realizando pruebas usando el método descrito, sin y con CLAHE y se notaron que en las imágenes procesadas usando los tres canales HSV con el proceso CLAHE fueron más efectiva (98.02%) en comparación con las imágenes procesadas usando los tres canales HSV sin el proceso CLAHE (94.82%).

Existe diferentes métodos para aplicar el proceso CLAHE de la etapa c) en una imagen, en un ejemplo particular, en la etapa c) se llevan a cabo las siguientes subetapas:

- c1) transformar la imagen a un espacio de color $l*a*b$;
- c2) escalar unos valores a unos rangos esperados para la Ecualización de Histograma Adaptativo Limitado por Contraste (CLAHE);
- c3) aplicar una Ecualización de Histograma Adaptativo Limitado por Contraste (CLAHE) en el canal l y escalar el resultado para volver al rango utilizado por el espacio de color $l * a * b$;
- c4) transformar la imagen resultante nuevamente en el espacio de color RGB.

Particularmente, en la etapa c2) el hace un escalamiento del valor del canal L de 0 a 1 y en la etapa c3) se multiplica el resultado por 100 para volver al rango utilizado por el espacio de

color $I * a * b$. El método descrito corresponde al método sugerido con la función `adapthisteq` por Matlab.

Por otra parte, en la etapa d) se transforma la imagen procesada del paso (c) a un espacio de color HSV mediante un proceso de transformación en la unidad de cómputo (2), en donde el proceso de transformación es una transformación matemática estándar que lleva a cabo la unidad de cómputo (2). Uno de los efectos técnicos del usar en el método el espacio de color HSV es que el nivel de madurez en algunas frutas no corresponde al color, por tanto, se transforman los datos a otro espacio en el que se evalúa la relación de los píxeles tomando como base el matiz, la saturación y el brillo de la imagen original, esta relación entre píxeles o textura no necesariamente es una representación de la rugosidad del fruto, sino que representan otras propiedades de la fruta que no son perceptibles visualmente.

Opcionalmente, los datos obtenidos en las etapas c) y d) se guardan en la memoria temporal (5) para disminuir tiempos de procesamiento.

Por su lado, en la etapa e) se aplica el descriptor de textura ingresado en el paso (a), en al menos uno de los canales de color Matiz (H), Saturación (S) o Valor (V) del espacio de color HSV de la imagen obtenida en (d) para obtener unos datos de textura mediante la unidad central de procesamiento (4) de la unidad de cómputo. En un ejemplo particular, se aplica el descriptor de textura ingresado en el paso (a) en el canal S, en el cual se representa el brillo de la fruta. Por otro lado, se aplica el descriptor de textura ingresado en el paso (a) en los tres canales HSV, lo cual mejora la efectividad de la determinación del estado de madurez de la fruta.

Por otra parte, en la etapa f), se obtiene un dato de estado de maduración mediante un método de clasificación entrenado, el cual tiene en cuenta unos datos de textura obtenidos en el paso (e) y los datos de referencia del estado de madurez en la etapa (a).

En una modalidad de la invención, el método de clasificación es un método de aprendizaje supervisado, el cual es entrenado con los datos de referencia del estado de madurez que representan los estados de madurez de la fruta calculados bajo un descriptor de textura o unos descriptores de textura determinados. Estos descriptores de textura o descriptor de textura corresponden a los ingresados en la etapa a).

El método de clasificación se puede seleccionar del grupo conformado por máquina de soporte vectorial (SVM, por sus siglas en inglés), clasificador de red neuronal artificial, clasificador k vecinos más próximos, clasificador de una red neuronal probabilística, clasificador de función de base radial, redes neuronales de retropropagación, árbol de decisión, entre otros.

En un ejemplo particular, el método de clasificación es una máquina de soporte vectorial (SVM) para clasificación binaria. Dicha máquina de soporte vectorial clasifica la imagen de la fruta obtenida entre madura y no madura, generando el dato de estado de maduración. En este ejemplo particular, los descriptores de textura y datos de referencia del estado de madurez ingresado en la etapa (a) forman una matriz de vectores que modela la máquina de soporte vectorial para clasificar la madurez de una fruta usando como referencia los descriptores de textura de la imagen en espacio de color HSV.

Opcionalmente, una vez se genera el dato de estado de maduración, este se asocia a un dato de posicionamiento obtenido por un sensor de posición, formando un arreglo de datos de mapeo, los cuales se almacenan en la unidad de memoria (3) de la unidad de cómputo (2). Dichos arreglos de datos de mapeo permiten generar mapas de

Ahora bien, una vez generado el dato de estado de maduración mediante el método de clasificación en la unidad de cómputo (2), dicha unidad de cómputo puede generar una orden de activación, para ser enviada al dispositivo de interfaz de usuario (8). Lo anterior, permite avisar al usuario que el estado de madurez de la fruta de la cual se obtiene la imagen es madura. En un ejemplo particular, solo se genera una orden de activación si el dato de estado de maduración de la etapa f) indica que la fruta es madura, en ese caso, por ejemplo, el dispositivo de interfaz de usuario (8) es un dispositivo de interfaz de usuario (8) de luz, el cual se conforma de una bombilla y un controlador, en donde el controlador recibe la orden de activación y genera una señal de control que es enviada a la bombilla para encenderse.

Por otro lado, la unidad de cómputo (2) pueden generar dos órdenes de activación, una orden de activación de maduración y una orden de activación de no maduración, las cuales son enviadas al dispositivo de interfaz de usuario (8) que en este caso está configurado para reproducir la orden que se recibe y mostrar al usuario en cuál de los datos estados se encuentra la fruta.

Por ejemplo, el dispositivo de interfaz de usuario (8) puede ser un dispositivo de interfaz de usuario (8) de luz, el cual se conforma de dos bombillas y un controlador, en donde el controlador recibe la orden de activación de maduración y genera una señal de control que se envía a una bombilla, la cual se enciende. Por su lado, cuando el controlador recibe la orden de activación de no maduración genera una señal de control que se envía a la otra bombilla, la cual enciende.

El dispositivo de la presente invención puede contar con un señalador, en donde dicho señalador permite apuntar a la fruta, la cual se va a determinar el estado de maduración. El señalador está configurado para alinearse con el segmento que el dispositivo de adquisición de datos (1) va a obtener, es decir, si el usuario apunta con el señalador una fruta en específico en el árbol y el dispositivo de adquisición de imágenes (1) obtiene la imagen de la fruta señalada por el señalador. Lo anterior permite al usuario escoger cada fruta que quiera

evaluar. Opcionalmente, el señalador se apaga cuando el dispositivo de adquisición de imágenes (1) se disponga a obtener la imagen, esto con el objetivo de no afectar la calidad de la imagen obtenida. En un ejemplo particular, el señalador es un señalador laser.

Opcionalmente, después de obtener el dato de estado de maduración de la etapa f), la unidad de cómputo (2) puede generar una orden activación, para ser enviada al dispositivo de cosecha de frutas. El controlador del dispositivo de cosecha de frutas recibe la orden de activación de cosecha y genera una señal de control que es enviada al actuador del dispositivo de cosecha de frutas, dicho actuador se activa moviendo el elemento de cosecha para cosechar la fruta. El dato de estado de maduración puede ser un dato binario, en donde por ejemplo cuando el dato de estado de maduración es 1 se considera madura la fruta, a la cual fue obtenida la imagen y cuando el dato de estado de maduración es 0 se considera inmadura a la fruta, a la cual fue obtenida la imagen.

Ejemplo

Se diseñó un dispositivo para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen, las características del dispositivo son las siguientes:

Para este ejemplo particular, la unidad de cómputo (2) es una Jetson Nano que cuenta con los siguientes módulos:

- la unidad central de procesamiento (4): GPU NVIDIA Maxwell™ architecture with 128 NVIDIA CUDA® cores, CPU Quad-core ARM® Cortex®-A57 MPCore processor
- Memoria temporal (5): 4 GB 64-bit LPDDR4
- Unidad de memoria (3): 16 GB eMMC 5.1 Flash
- Módulo de comunicaciones (6) alámbrico e inalámbrico: compatible con WLAN (Externo), Bluetooth® (Externo), y red Ethernet (integrado).

La unidad de cómputo (2) que se conecta con un módulo de alimentación (7) que es una batería de litio de 10000 mAh, se aloja dentro de una primera carcasa (12) que tiene una tapa (11).

Por su lado, el dispositivo de adquisición de imágenes (1) es una Raspberry pi camera conectada a la unidad de cómputo (2), con un sensor Sony IMX219.

Además, el dispositivo de la presente invención cuenta con un dispositivo de distanciamiento (14) que es un Parallax 15-122 cm Láser Rangefinder y con un dispositivo interfaz de usuario (8) de luz que comprende dos bombillas. Por otro lado, el dispositivo de la presente invención cuenta con un señalador laser.

Por otro lado, el dispositivo de adquisición de imágenes (1), el dispositivo interfaz de usuario (8) y el dispositivo de distanciamiento (14) se disponen en una segunda carcasa (12), la cual cuenta con un sistema de agarre configurado para ajustarse al brazo del usuario.

El usuario puede poner la segunda carcasa (14) en su brazo y la primera carcasa (12) la puede llevar en una maleta que cargaba el usuario alrededor de la cadera, como se observa en las FIGS. 2 y 3. En este caso, la unidad de cómputo (2) se conecta al dispositivo de adquisición de imágenes (1) por medio de un cable que se conecta los módulos de comunicaciones de cada elemento.

En este caso se realizó una prueba en donde el usuario se acercó a un árbol de aguacates y seleccionó uno en el árbol señalándolo con el dispositivo de distanciamiento (14), con el cual se determinó la distancia correcta entre el usuario y la fruta y se obtuvo una imagen, la cual estaba en un formato tiff no comprimido. Esta imagen se envió a la unidad de cómputo (2) quien realizó el procesamiento de la imagen y generó una orden de activación que fue enviada al dispositivo interfaz de usuario (8) de luz, el cual encendió la bombilla, indicando así que la fruta seleccionada se encontraba madura.

EJEMPLO 2

El sistema del ejemplo 1 ejecuta el siguiente método para determinar un dato del estado de madurez fisiológica de una fruta a partir de descriptores de textura de su imagen. En primer lugar, se hace ingreso en la unidad de cómputo (2) los datos de referencia del estado de madurez y unos descriptores de textura, que se obtuvieron por medio de un proceso de selección que tuvo en cuenta una muestra de imágenes de aguacates tomada previa a la prueba realizada. Los descriptores de textura y sus respectivos métodos de cálculo son los mostrados en la siguiente tabla:

Método	Descriptor de textura
patrón binario local	Media
Filtro Eigen	Entropía
Descomposición Wavelet	Entropía
la técnica del espectro de poder	Skewness
histogramas de suma y diferencia	Homogeneidad

Los datos de referencias del estado de madurez corresponden a los valores del cálculo de estos descriptores de textura, donde se considera que la fruta está madura. Una vez se almacenan los descriptores de texturas y los datos de referencias del estado de madurez, se realizó una prueba en donde el usuario se acercó a un árbol de aguacates y seleccionó uno en el árbol señalándolo con el dispositivo de distanciamiento (14), con el cual se determinó que la distancia entre el usuario y la fruta era de 0.5 metros y se obtuvo una imagen, la cual estaba

en un formato tiff no comprimido. Esta imagen fue procesada aplicando el proceso de CLAHE mediante la unidad central de procesamiento (4) de la unidad de cómputo (2) y se guardó en una memoria temporal (5).

Luego, la imagen procesada fue transformada a un espacio de color HSV mediante un proceso de transformación que lleva acabo la unidad central de procesamiento (4) de la unidad de cómputo (2), y luego se aplicaron los descriptores de texturas seleccionados en el canal S del espacio de color HSV, para obtener un arreglo de datos de textura, el cual es procesado por un método de clasificación que es una máquina de soporte vectorial (SVM) que tiene en cuenta los datos de textura y los datos de referencias del estado de madurez para obtener un dato de estado de madurez. Una vez se obtuvo el dato de estado de madurez, la unidad de cómputo (2) genera una orden de activación que fue enviada al controlador del dispositivo de interfaz de usuario (8) de luz, el cual encendió la bombilla, indicando así que la fruta seleccionada se encontraba madura.

Luego, se desprendió la fruta y se realizaron ensayos destructivos para determinar su porcentaje de materia seca, que para esta fruta fue de 27.8%. Lo anterior, verifica que con el dispositivo y el método anterior efectivamente se determina el estado de madurez de una fruta sin tener contacto con esta, solo con el procesamiento de su imagen.

EJEMPLO 3

Se hizo un proceso de selección para obtener los datos de referencia del estado de madurez y los descriptores de textura usados en el ejemplo 2, en el cual se obtuvieron varias imágenes en total 86 fotos de aguacates, que tenían un porcentaje de materia seca en un rango entre 9.75% y 47.26%, de los cuales 59 estaban inmaduros y 27 estaban maduros, en donde los aguacates maduros superaban los 23,5% de materia seca.

Las imágenes se obtuvieron y cada imagen se dividió en 9 segmentos para seleccionar el segmento central con un tamaño de 600 x 600 pixeles, cada segmento fue procesado aplicando el proceso de CLAHE, para luego, transformar los segmentos procesados de RBG a HSV.

En este caso se partió de 100 descriptores de texturas con sus respectivos métodos de textura, los cuales son los siguientes:

Método	Descriptor de textura
histogramas de suma y diferencia	Energía, entropía, contraste, homogeneidad y correlación.
matriz de co-ocurrencia	Energía, entropía, contraste, homogeneidad y correlación.

matriz de longitud de corrida de nivel de gris (GLRLM)	Énfasis a corto plazo (SRE), Énfasis a largo plazo (LRE), No uniformidad de nivel de grises (GLN), no uniformidad de longitud de ejecución (RLN), Porcentaje de ejecución (RP), Énfasis de ejecución de bajo nivel de grises (LGRE), énfasis de ejecución de nivel de gris alto (HGRE), Énfasis de bajo nivel de grises de corto plazo (SRLGE), corto plazo Énfasis de nivel de gris alto (SRHGE), gris bajo de largo plazo Nivel de énfasis (LRLGE) y nivel de grises alto a largo plazo Énfasis (LRHGE)
patrón binario local (LBP)	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
medidas de textura de leyes	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
filtro propio	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
filtro de gabor	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
la pirámide gaussiana	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
la pirámide orientable	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
descomposición de ondículas	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
la técnica del espectro de poder	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
la distribución de Wigner	Media, mediana, desviación estándar, oblicuidad, curtosis y entropía.
modelos autorregresivos	Ocho coeficientes
campo aleatorio de markov gaussiano	Siete coeficientes

Se determinaron 100 descriptores en cada canal HSV de cada segmento aplicando los métodos para determinar descriptores de textura respectivos, para obtener un arreglo de datos de referencia de estado de madurez, con el cual se obtuvieron los datos descriptores de textura y los datos de referencias usados en el ejemplo 2, por medio de un método de selección a partir del arreglo de datos de referencia del estado de madurez y de la clasificación de las imágenes entre madura e inmadura.

En donde además en el proceso de selección se tuvieron en cuenta unos criterios de selección como que el descriptor de textura se seleccionaba solo si tiene un valor de probabilidad menor que 0.01. En segundo lugar, con los descriptores de textura seleccionados se calculó la correlación uno a uno y seleccionamos solo los que tenían un R cuadrado inferior a 0,5.

Finalmente, entrenamos una máquina de soporte vectorial con el arreglo de datos de referencias del estado de madurez y obtuvimos una precisión de clasificación en validación cruzada de 10 grupos, luego seleccionamos los vectores de descriptores de textura con la mayor precisión de clasificación cuando son usados por una máquina de soporte vectorial entrenada.

Es importante resaltar que se realizaron pruebas aplicando CLAHE y otras sin aplicar CLAHE, del mismo modo, se hicieron pruebas aplicando los descriptores de textura solo a un canal del espacio de color HSV y otras pruebas aplicando los descriptores de textura a todos los canales del espacio de color HSV. El tamaño final de los vectores estuvo entre 5 a 32 descriptores de textura.

Se demostró que en general se logró una mejor efectividad usando el canal de saturación (S) y además aplicando CLAHE en donde la efectividad fue 96,42%, en comparación que cuando solo uso el canal de saturación (S) sin aplicar CLAHE donde la efectividad fue 96,26%.

Además, también se observó que la mayor efectividad se obtuvo usando los tres canales del espacio de color HSV y, además, usando CLAHE donde se obtuvo una efectividad del 98,02%, en comparación cuando se usaron los tres canales de espacio de color HSV sin usar CLAHE donde se obtuvo una efectividad del 96,26%.

Glosario:

Madurez Fisiológica: refiere a la etapa del desarrollo de la fruta u hortaliza en que se ha producido el crecimiento y maduración requeridos para que al ser cosechados estas lleguen a madurez de consumo.

Materia Seca: Es la parte que resta de una fruta tras extraer toda el agua posible. El peso obtenido después de la desecación, y calculado su porcentaje, representa el extracto seco.

Índice de cosecha aguacate: Contenido de materia seca de la fruta en el cual alcanza su madurez fisiológica

Descriptor de textura: Representa de forma numérica las características de una textura en una imagen.

Resolución espacial de una imagen: Es una indicación del tamaño del pixel expresada en términos de dimensiones sobre el terreno.

Método de textura: es un algoritmo que determina las relaciones entre los pixeles de una imagen (textura), en donde el algoritmo obtiene como resultados descriptores de texturas.

Imagen: matriz de datos, en el que cada dato es un pixel

Textura: relación de cada pixel con sus vecinos.

Filtros de distorsión: son filtros que se aplican a una imagen para transformar dicha imagen, deformándola, torciéndola o tirando de ella en diferentes direcciones.

Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la invención, definido por las siguientes reivindicaciones