

# **DISPOSITIVO ROBÓTICO AUTÓNOMO PARA EJECUCIÓN DE LABORES DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

## **CAMPO TÉCNICO**

**[0001]** La presente invención se refiere a un dispositivo robótico autónomo agrícola capaz de recorrer un área determinada de un cultivo realizando labores de agricultura de precisión como regar las plantas, aplicar fertilizantes sólidos o líquidos y detectar y remover selectivamente las malezas mecánicamente o por la aplicación de pesticidas, con el objetivo de facilitar, complementar y mejorar el rendimiento de producción agrícola de los cultivos.

## **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

**[0002]** Los cultivos en general, para su adecuado mantenimiento y óptima producción requieren muchas operaciones, como deshierbar, sembrar, escardar, segar, fumigar, fertilizar e irrigar. Estas operaciones son realizadas en la mayoría de casos por los mismos agricultores de forma manual, lo cual implica una carga laboral y un esfuerzo considerables. Recientemente, en plantaciones tecnificadas estas operaciones se realizan generalmente con dispositivos de tipo tractor, los cuales tienen la desventaja de requerir la presencia permanente de un usuario para su funcionamiento, además de ser demasiado pesados y poco amigables ambientalmente.

**[0003]** Por otro lado, las técnicas de tratamiento casi siempre se aplican indistintamente sobre todo el cultivo, de manera que ciertos aditivos como plaguicidas, fungicidas, herbicidas y fertilizantes, entran en contacto con partes del cultivo que no lo requieren o en donde no es conveniente su presencia. Esto tiene una serie de problemas importantes, debido a que estos compuestos, además de ser costosos, suelen tener impactos negativos en el ambiente, afectando no solo el cultivo y la tierra, sino la biodiversidad a sus alrededores. Por otro lado, al ser tan dispersa su aplicación, el tratamiento no suele ser efectivo ya que la concentración en áreas específicas no es suficiente para cumplir su función, promoviendo además el desarrollo de tolerancia a estos compuestos por parte de las plagas o malezas.

**[0004]** Es por esto que el desarrollo de dispositivos que permitan realizar labores de agricultura de precisión de manera automática o semiautomática, sin la supervisión de un usuario es de gran interés, buscando proporcionar una solución para la ejecución de estas tareas repetitivas, incrementando así el rendimiento neto del cultivo.

**[0005]** En este sentido, se han evaluado diversas soluciones como la revelada en la patente estadounidense US 6,671,582, en la cual se describe un robot móvil que cuenta con una computadora o sistema de inteligencia artificial que puede detectar y decidir antes de actuar sobre el objeto de trabajo, alertando a un operador humano donde se requiere intervención. Cuenta con visión artificial, rasterización láser, radar, infrarrojos, ultrasonido, detección táctil o química, así como un brazo robótico o una pluralidad de brazos robóticos. Sin embargo, este dispositivo no permite el movimiento autónomo sobre el terreno de trabajo, requiriendo la intervención de un usuario.

**[0006]** Así mismo, la solicitud estadounidense US 2018/0153084 se refiere a un aparato para el control de malas hierbas. El aparato allí descrito incluye una formación de púas adaptada para eliminar o romper las malas hierbas objetivo, y un conjunto de soporte de púas adaptado para soportar el movimiento de las púas alrededor de un eje de control. El aparato también incluye un sistema de detección para identificar aspectos del entorno y generar datos indicativos de los mismos, y un sistema de clasificación para ubicar las malas hierbas. Sin embargo, se dejan desatendidas las demás labores que implica el adecuado cuidado del cultivo, como la fertilización y el riego.

**[0007]** También son conocidos métodos agrícolas que utilizan una pluralidad de robots para monitorear o cuidar un cultivo, tal como se enseña en la patente GB 2583787, en donde al menos un robot agrícola autónomo se encarga de monitorear un cultivo para generar al menos un conjunto de datos de dicho cultivo, los cuales al ser procesados generarán instrucciones para aplicar acciones de cuidado. Estas acciones son preferiblemente llevadas a cabo por uno o más robots adicionales que se encargan de tareas específicas. Sin embargo, este método tiene la desventaja de requerir de varios robots para cumplir las tareas, además de necesitar de una central que aporte la información de dónde aplicar el tratamiento.

**[0008]** Por lo tanto, es deseable un dispositivo autónomo que pueda realizar labores de agricultura de precisión como remoción de malezas, riego y fertilización, mientras evalúa el estado del cultivo, sin requerir supervisión o control de un usuario, de manera que se logre facilitar y/o mejorar su rendimiento.

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

**[0009]** Con el fin de superar los problemas descritos previamente, la presente invención se relaciona con un dispositivo autónomo capaz de recorrer un área determinada de un cultivo, evaluando sus condiciones y aplicando tratamientos correctivos para mantener su óptimo estado.

**[0010]** En un primer aspecto, el dispositivo de acuerdo con la invención cuenta con un sistema de locomoción impulsado por uno o más motores propulsores con sus respectivas unidades de control encargados de su desplazamiento a través del cultivo,

**[0011]** Además, tiene un sistema de dosificación de líquidos que está compuesto por uno o más tanques de almacenamiento; uno o más sistemas de transporte de líquidos que llevan el líquido desde uno o más tanques de almacenamiento hacia una o más boquillas encargadas de distribuir líquidos sobre el cultivo.

**[0012]** Por otro lado, se incluye un sistema de dosificación de sólidos que cuenta con uno o más tanques de almacenamiento; y uno o más recipientes de dosificación de sólidos conectado a al menos uno de los uno o más tanques de almacenamiento.

**[0013]** Asimismo, el dispositivo tiene un sistema de remoción de malezas que permite deshierbar el terreno de forma mecánica evitando la aplicación de pesticidas.

**[0014]** Además, el dispositivo cuenta con un sistema de navegación que comprende, localización georrefenciada mediante una central inercial y un sistema de radionavegación por satélite para ubicar el dispositivo en el terreno; y sensores de proximidad configurados para detectar obstáculos durante el recorrido del dispositivo sobre el cultivo y del sistema de remoción de malezas.

**[0015]** También, se incluye un sistema de detección del estado del cultivo que comprende un sistema de adquisición y tratamiento de imágenes orientado hacia el cultivo.

**[0016]** Los sistemas relacionados previamente son controlados por un módulo central de procesamiento, que se encarga de: i) determinar la posición del dispositivo en el cultivo; ii) determinar la velocidad del uno o más motores propulsores para controlar el movimiento del dispositivo a lo largo del cultivo; iii) procesar las imágenes aportadas por el sistema de detección del estado del cultivo y ubicar las coordenadas puntuales donde se realizarán las labores correctivas; iv) accionar la herramienta adecuada para realizar el tratamiento del cultivo en el sitio determinado; y v) determinar la posición de los obstáculos presentes en el recorrido para evitar colisiones del sistema de remoción de malezas.

**[0017]** El dispositivo descrito previamente se desplaza a lo largo del cultivo una vez se le han proporcionado las coordenadas iniciales y finales del recorrido, y además se cuenta con un mecanismo de actuadores lineales que está configurado para actuar en un espacio tridimensional, y en el cual se pueden acoplar los sistemas de dosificación de líquidos, de dosificación de sólidos y de remoción de malezas.

**[0018]** La interacción de los componentes del dispositivo de acuerdo con la presente invención, le confieren versatilidad para el tratamiento y cuidado de los cultivos, permitiendo el ahorro de insumos importantes, disminuyendo el impacto ambiental que estos tienen e incrementando el rendimiento de producción del cultivo.

## DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

**[0019]** La Figura 1 corresponde a un diagrama de bloques esquemático de las decisiones y acciones que ejecuta el dispositivo de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

**[0020]** Las Figuras 2 y 3 son vistas isométricas de un dispositivo de acuerdo con una realización de la invención.

**[0021]** La Figura 4 es una vista isométrica del sistema de dosificación de líquidos, el sistema de dosificación de sólidos y el sistema de remoción de malezas de acuerdo con una modalidad de la invención

**[0022]** La Figura 5 corresponde a una vista isométrica del sistema de dosificación de líquidos de acuerdo con una realización de la invención.

**[0023]** La Figura 6 es una vista isométrica y en explosión del recipiente de dosificación de sólidos de acuerdo con una realización de la invención.

**[0024]** La Figura 7 corresponde a un diagrama de bloques de los pasos del algoritmo de reconocimiento de malezas de acuerdo con una realización de la invención.

**[0025]** La Figura 8 es un esquema que muestra las transformaciones sucesivas de una imagen al aplicarse el algoritmo de reconocimiento de malezas de acuerdo con una realización de la invención.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

**[0026]** Se describe a continuación el dispositivo robótico autónomo que ejecuta labores de agricultura de precisión en cultivos. Entre las labores que se pueden programar en el dispositivo descrito se encuentran operaciones de fumigación de cultivos, operaciones de remoción mecánica de malezas, operaciones de arado, operaciones de siembra, operaciones de riego, entre otras.

**[0027]** De manera general, tal como se resume en el esquema de la Figura 1, una vez el dispositivo cuenta con la información del terreno, es posible la ejecución de acciones relacionadas con el cuidado del cultivo, y el movimiento del dispositivo a una posición determinada. En el primer caso, el dispositivo cuenta con mecanismos de decisión dependientes de las condiciones identificadas en el cultivo para ejecutar las labores de cuidado, tales como remoción de malezas, fumigación y fertilización, entre otras. Estas labores son ejecutadas por los sistemas adaptados para cada una de ellas, los cuales se encuentran ubicados en el mecanismo de actuadores lineales, el cual ubica cada uno de los sistemas en una posición adecuada, para lograr la ejecución de cada labor en una zona puntual del cultivo. En una modalidad preferida de la invención, el sistema de dosificación

de sólidos cuenta con mecanismos de identificación de llenado, de manera que detecta la presencia o ausencia de sólidos en el sistema, y realiza ya sea un llenado previo en caso de encontrarlo vacío, o una dosificación en caso de que se encuentre lleno. Asimismo, si el módulo central de procesamiento determina que no hay acciones relacionadas con el cuidado del cultivo en un punto particular, se procede a enviar una orden de desplazamiento del dispositivo a una posición posterior. En este caso, el dispositivo es capaz de monitorear la presencia de obstáculos en el camino, que, en caso de presentarse, son evadidos automáticamente recalculando la ruta a seguir.

**[0028]** De acuerdo con una modalidad de la presente invención, el dispositivo cuenta con un sistema de locomoción seleccionado de ruedas u orugas impulsado por uno o más motores propulsores encargados de promover el movimiento del dispositivo. En una modalidad de la invención presentada en la Figura 2, se emplean ruedas como sistema de locomoción y dos motores en configuración diferencial como motores propulsores (10). En esta configuración particular, el dispositivo comprende dos ruedas (11) diametralmente opuestas en un eje perpendicular a la dirección del dispositivo, y en donde cada rueda está dotada de un motor propulsor (10), de forma tal que el direccionamiento viene dado por la diferencia de sus velocidades, y dos ruedas pivote tipo castor (12) en la parte posterior, para mantener la horizontalidad del dispositivo y evitar los cabeceos al cambiar de dirección. Las ruedas tipo castor (12) giran libremente según la velocidad de todo el dispositivo y pueden orientarse de acuerdo con la dirección del movimiento.

**[0029]** Los motores propulsores (10) pueden ser alimentados de varias formas. Por ejemplo, los motores propulsores (10) puede funcionar con gasolina, en cuyo caso se requerirá un tanque de gasolina (u otro combustible) a bordo del dispositivo. Sin embargo, en modalidades preferidas se incluyen motores propulsores (10) eléctricos, debido a su autonomía superior y desempeño. En este caso, se requiere el uso de una batería adecuada que proporcione la energía para el movimiento de los motores, de manera que se obtenga una autonomía de al menos ocho horas de trabajo sin cargas adicionales. Los motores propulsores (10) reciben comandos de guía (por ejemplo, avance, retroceso, velocidad) desde el módulo central de procesamiento y a través de la unidad de control de motor. La unidad de control de motor proporciona una interfaz de comunicación entre el módulo central de procesamiento y los motores propulsores (10).

**[0030]** En una modalidad de la invención, tanto el sistema de dosificación de líquidos como el sistema de dosificación de sólidos comprenden uno o más tanques de almacenamiento (13) ubicados en el dispositivo para transportar los insumos necesarios para el tratamiento del cultivo. Los insumos se pueden seleccionar de agua, fertilizantes

orgánicos sólidos o líquidos, fertilizantes inorgánicos sólidos o líquidos, plaguicidas, pesticidas, tierra de cultivo, semillas, entre otros. En modalidades preferidas, al menos uno de los tanques contiene fertilizantes sólidos.

**[0031]** En una modalidad del dispositivo de la presente invención ilustrada en la Figura 3, se incluye además un sistema de dosificación de líquidos (20), un sistema de dosificación de sólidos (30) y un sistema de remoción de malezas (40), los cuales se encuentran acoplados de manera fija o móvil a alguna de las superficies del dispositivo, de manera preferida en la superficie inferior. En modalidades de la invención, la configuración móvil del sistema de dosificación de líquidos o sólidos y el sistema de remoción de malezas se encuentra adaptada a un mecanismo de actuadores lineales (50), que permiten el movimiento de los sistemas a una posición específica del espacio abarcado por el dispositivo, de manera que se realice la labor deseada en una sección particular del cultivo.

**[0032]** El mecanismo de actuadores lineales (50) puede moverse en dos dimensiones (X-Y) o en tres dimensiones (X-Y-Z), cubriendo el volumen interior del dispositivo. En modalidades preferidas se emplea la configuración de tres dimensiones, de manera que se puedan hacer desplazamiento sobre el cultivo de manera perpendicular al suelo, alcanzando así los objetivos determinados en la plantación. El movimiento de estos actuadores se controla por medio de guías lineales actuadas por motores eléctricos encargados del movimiento en cada uno de los ejes, los cuales cuentan con sus respectivos controladores de actuador, que son operados por medio del módulo central de procesamiento. Para mover los actuadores, se envía una secuencia de pulsos a cada controlador de actuador para así realizar el movimiento al punto (X-Y-Z) deseado en una ruta 3D.

**[0033]** Con el fin de optimizar el trabajo y realizar las tareas de cuidado del cultivo en el menor tiempo posible, en algunas modalidades preferidas de la invención el mecanismo de actuadores lineales (50) cuenta con comunicación entre los comandos que se ejecutan por los actuadores lineales y los comandos de navegación, de manera que se puedan coordinar las tareas de cuidado del cultivo durante el desplazamiento.

**[0034]** En una modalidad de la invención presentada en la Figura 4, el sistema de dosificación de líquidos (20), el sistema de dosificación de sólidos (30) y el sistema de remoción de malezas (40) se encuentran unidos en una plataforma común conectada al mecanismo de actuadores lineales (50), de manera que se puedan remover malezas y agregar líquidos o sólido en un punto determinado de manera simultánea o secuencial, sin necesidad de una ubicación individual de cada uno de los sistemas.

**[0035]** El sistema de dosificación de líquidos (20) que se muestra en la Figura 5, además comprende uno o más sistemas de transporte de líquidos que llevan el líquido desde el uno o más tanques de almacenamiento (13) hacia una o más boquillas (21) encargadas de distribuir líquidos sobre el cultivo. Los sistemas de transporte de líquidos pueden ser seleccionados sin limitación de bombas de pistón, bombas de émbolo, bombas de diafragma, bombas de lóbulos, bombas de cavidad progresiva, entre otras, que pueden estar sumergidas o adaptadas externamente dependiendo de su principio de funcionamiento.

**[0036]** Las boquillas (21) empleables no son particularmente limitantes, pero se prefiere una selección dependiendo del tipo de líquido que se desea aplicar, en particular de sus propiedades físicas intrínsecas como densidad y viscosidad, de modo que se obtengan requisitos mínimos de aspersion y tamaño de gota para que el líquido se adhiera en el material vegetal a tratar. Las boquillas pueden ser seleccionadas dependiendo de su patrón de mojado, de boquillas de cono lleno, cono lleno amplio, cono lleno reducido, cono hueco, abanico plano, abanico lleno, cuadrado, tipo fog, de espiral, entre otros. En modalidades preferidas se emplea una boquilla de abanico lleno para garantizar una mayor cobertura de líquido la cual se dará dependiendo de la velocidad del robot.

**[0037]** En una modalidad particular de la invención de acuerdo con la Figura 6, el sistema de dosificación de sólidos (30) cuenta con uno o más recipientes de dosificación de sólidos (31) encargado de la recepción de insumos sólidos y su posterior dosificación según los requerimientos determinados por el agrónomo, o en función de las condiciones determinadas por el módulo central de procesamiento. El uno o más recipientes de dosificación de sólidos (31) se encuentra acoplado a los tanques de almacenamiento (13) de manera que se puedan aplicar compuestos sólidos como fertilizantes, semillas o tierra de cultivo, entre otros suministros requeridos. El recipiente de dosificación de sólidos (31) está conformado por un receptáculo (32) para reservar el sólido, el cual incluye una salida (33) por donde se dispensa el sólido luego de ser fraccionado. Cuenta además con un elemento de fraccionamiento (34) que tiene al menos una abertura (35) con un volumen proporcional a la cantidad de sólido que se desea dispensar, y el cual gira radialmente sobre un eje perpendicular a la parte inferior del dispositivo por medio de un motor. Incluye además una tapa (36) que está conectada al receptáculo (32) y a la cara inferior del dispositivo, y que cuenta con un elemento de barrido (37) que permite eliminar excesos de al menos una abertura (35) del elemento de fraccionamiento (34), cuando el elemento de fraccionamiento (34) gira sobre su eje.

**[0038]** En una modalidad preferida, el dispositivo cuenta con un sistema de remoción de malezas (40) que permite matar, eliminar, dañar o interrumpir por medio de contacto

físico el crecimiento de estas plantas. El sistema de remoción de malezas (40) cuenta con una herramienta de deshierbe (41) que puede ser una barrena, una broca, un punzón, o una sierra dentada, y un motor de deshierbe que le permita un movimiento giratorio, o ascendente y descendente a la herramienta de deshierbe (41) de manera que en el momento en el que la herramienta de deshierbe (41) entre en contacto físico con las malezas, se logre su eliminación del cultivo. En una modalidad preferida de la invención, la herramienta de deshierbe (41) es una broca y el motor de deshierbe es un motor giratorio.

**[0039]** El dispositivo cuenta además con un sistema de navegación encargado de determinar la posición del vehículo dentro del cultivo, planificar la ruta que seguirá y detectar y evadir los obstáculos que se encuentren en el recorrido planificado. La información base de la zona en la que se desplazará el dispositivo se alimenta por medio de un mapa obtenido a partir de imágenes aéreas. El sistema de navegación cuenta con localización georrefenciada, la cual es obtenida mediante el procesamiento de la información que proporciona la central inercial (IMU) y un sistema de radionavegación por satélite para ubicar el dispositivo en el terreno. El sistema de radionavegación por satélite puede ser cualquiera de GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS o NavIC. El dispositivo además tiene sensores de proximidad, los cuales soportan el desplazamiento y garantizan la seguridad del recorrido. Los sensores que soportan la tarea de guiado son: sensores LASER 2D y 3D, los cuales están integrados a algoritmos de bajo nivel que controlan la velocidad de desplazamiento y algoritmos de alto nivel que aseguran el seguimiento de trayectorias.

**[0040]** En modalidades de la invención, el algoritmo que permite el desplazamiento y guiado del dispositivo a través del cultivo es alimentado con los datos provistos por un filtro óptimo, tal como el filtro de Kalman, quien hace la fusión de la información de todos los sensores. Esta información es transmitida a los algoritmos de seguimiento de trayectorias, los cuales están basados en controles por funciones de Lyapunov, logrando seguir la trayectoria o esquivando los obstáculos hasta llegar al punto final de la trayectoria planificada.

**[0041]** Durante su desplazamiento sobre el cultivo, el dispositivo realiza la detección del estado de salud de este por medio de la adquisición continua de imágenes a través del sistema de detección del estado del cultivo (14), el cual comprende medios de adquisición de imágenes que se encuentran orientados en la dirección del cultivo. Los medios de adquisición de imágenes se seleccionan de cámaras multiespectrales, cámaras termográficas y cámaras espectroscópicas. En modalidades de la invención, las cámaras multiespectrales se seleccionan de cámaras con 5, 6 o 10 bandas; las cámaras

termográficas se seleccionan de cámaras infrarrojas con detectores criogenizados, cámaras infrarrojas con detectores al ambiente, cámaras infrarrojas activas o cámaras infrarrojas pasivas; y las cámaras estereoscópicas se seleccionan de cámaras de corto y/o largo alcance, que funcionen con CUDA, y de manera preferida que permitan integración con software como Matlab, ROS, Python, C++, OpenCv entre otros. En modalidades preferidas, el dispositivo de acuerdo con la presente invención emplea una cámara infrarroja pasiva como cámara termográfica.

**[0042]** Las imágenes obtenidas son analizadas en el módulo central de procesamiento, el cual cuenta con un algoritmo de identificación del estado de salud del cultivo, que procesa las imágenes e identifica la intervención a realizar. Con este fin, el algoritmo interpreta las imágenes adquiridas por el sistema de detección del estado del cultivo (14), buscando detectar la presencia de plagas o problemas de nutrición o deshidratación en las plantas. En una modalidad de la invención, la detección de plagas se logra por medio de las cámaras estereoscópicas, las cuales mediante procesamiento de imágenes evalúan si hay presencia o no de ellas luego de comparar las imágenes con una base de datos y la ayuda de redes neuronales. Asimismo, en otra modalidad de la invención, la desnutrición y el nivel de hidratación en las plantas se evalúa considerando índices NDVI, los cuales se manejan tras realizar el procesamiento de imágenes de la cámara multiespectral. Una vez el algoritmo identifica problemas particulares en la región que se está analizando, es posible realizar las labores correctivas en posiciones precisas del cultivo.

**[0043]** Para lograr obtener la información de las imágenes, el módulo central de procesamiento extrae características de bajo nivel de las imágenes como son color y tamaño de los elementos de la imagen, permitiendo separar lo que es maleza y plantas de interés, con costo computacional bajo. En un alto nivel de procesamiento, se analiza la textura de los objetos de la imagen.

**[0044]** Una modalidad de la presente invención comprende la detección de las malezas del cultivo, las cuales se ubican por medio del tratamiento en el módulo central de procesamiento de las imágenes obtenidas por los medios de adquisición de imágenes. Con este fin, el módulo central de procesamiento cuenta con algoritmos de filtrado de imágenes, umbrales óptimos, etiquetado y descriptor de área.

**[0045]** En particular, el algoritmo realiza las operaciones mostradas en la Figura 7, y resumidas a continuación sobre las imágenes adquiridas: a) captura de imagen; b) resta del componente verde de la imagen; c) filtrado mediano; d) umbralización; e) segmentación; f) llenado de espacios vacíos; g) etiquetado de objetos; h) característica de área de extracción; y i) detección de malezas según el área.

**[0046]** Inicialmente, los medios de adquisición de imágenes capturan las imágenes que se analizarán, las cuales se obtienen en condiciones de luz exterior o con la ayuda de luces artificiales con proyección en perspectiva sobre el cultivo, de manera que se eviten problemas de iluminación y nitidez, y así reducir los cambios de color sobre la vegetación. La precisión del algoritmo de clasificación de plantas aumenta siempre que se mantenga el color verde sobre los objetos que se están analizando.

**[0047]** Una vez la imagen es capturada, esta es convertida en una imagen en escala de grises mediante la cual se elimina la información de tono y saturación, conservando la luminancia. Todos los componentes en el espacio XY de la imagen correspondientes al valor verde se restan en la matriz de escala de grises, obteniendo así una imagen de las plantas separadas del suelo. En otras modalidades, se emplea un método como el índice de exceso de verde o el índice de vegetación de diferencia normalizada para la segmentación de las plantas verdes y la separación del fondo, los cuales utilizan el componente verde del modelo de color RGB, restándolo de la imagen original y obteniendo una imagen transformada que represente únicamente la vegetación.

**[0048]** Posteriormente, se realiza un filtrado medio utilizando una máscara de un tamaño de alrededor de 3 por 3 píxeles. Esta ventana se mueve sobre los puntos de la imagen, y posteriormente, el valor en el centro de la máscara se reemplaza con el cálculo de la mediana a partir de los valores de la imagen de origen dentro de la ventana. Con este paso, se busca suprimir el ruido en las imágenes sustraídas preservando los bordes, por lo que la información relevante de la imagen se conserva, y tiende a producir regiones de intensidad constante o casi constante.

**[0049]** Con el objetivo de ubicar las plantas de la imagen obtenida previamente, es necesario realizar una segmentación de la imagen, asignando una etiqueta a cada píxel y resaltando la similitud de las características utilizadas para la detección de plantas. El color y el área sirven como descriptores para un clasificador de umbral. Tomando como base estos descriptores, es posible la aplicación de métodos de segmentación por umbralización, el cual estima el umbral óptimo para segmentar mediante una búsqueda exhaustiva de la varianza máxima entre clases en niveles de gris. La selección de un umbral adecuado se realiza con histograma de imagen, tomando el valor del valle formado por dos picos, correspondientes a las zonas claras y oscuras.

**[0050]** Posteriormente, debido a que se realizó la extracción de características basadas en el área, es apropiado llenar los espacios vacíos de la imagen, logrando una imagen más compacta que facilite los siguientes pasos de la identificación. De acuerdo con una modalidad de la invención, este proceso se puede realizar por medio de un algoritmo basado en la reconstrucción morfológica, en el cual se utilizan 4 u 8 píxeles vecinos

conectados para evaluar la imagen resultante. El algoritmo calcula una imagen marcada que proviene de los bordes de la imagen de origen y luego el método itera hasta que alcanza todas las posiciones de la imagen.

**[0051]** Para diferenciar los objetos deseados de la maleza en la imagen se requiere etiquetar los elementos para obtener una descripción de la región, y poder extraer características en el siguiente paso. Por tanto, se utiliza un algoritmo basado en componentes conectados. Este algoritmo evalúa cada píxel con una conectividad de 4 vecinos, utilizando una heurística establecida en los valores de los píxeles de acuerdo con las etiquetas predecesoras en las posiciones norte y oeste.

**[0052]** Una vez que los objetos en la escena están etiquetados, se extraen las características del área de cada elemento para discriminar malezas y cultivos. Esto se logra por medio de un algoritmo que define un área que cuenta el número de píxeles en la región del objeto; luego, el valor se almacena para todos los elementos. Los elementos se clasifican según los valores de área en orden descendente. Cuando la diferencia con la siguiente evaluación del objeto es superior al 50%, se calcula el promedio de los elementos anteriores. Este valor es el umbral para la detección de malezas.

**[0053]** Al finalizar el algoritmo descrito, el módulo central de procesamiento tiene la información necesaria para la diferenciación de las plantas de interés, el espacio libre y la maleza en la imagen suministrada. La Figura 8 presenta una secuencia de las transformaciones realizadas a una imagen de muestra, en donde se comprueba que el resultado del algoritmo es la ubicación de los objetos que se consideran como maleza.

**[0054]** Una vez las malezas son detectadas, y con el uso de un mapa de profundidad, el módulo central de procesamiento debe determinar el desplazamiento del sistema de remoción de malezas (40) desde una posición inicial hasta una posición final equivalente a cada uno de los objetivos ubicados y etiquetados, para así desenterrar o destruir la maleza, evadiendo las plantas de interés y los obstáculos adicionales. La determinación del desplazamiento del sistema de remoción de malezas (40) de acuerdo con la presente invención, se puede lograr por varios métodos tales como RRT, A\*, artificial potential, roadmap, cell decomposition, entre otros, los cuales pueden ser empleados individualmente o en combinación.

**[0055]** De acuerdo con modalidades preferidas, la invención utiliza el método A estrella (A\*), el cual evalúa el costo de desplazarse de un nodo inicial a uno posterior, y lo que falta por llegar al punto final, siendo la suma de estos, el costo real de avanzar. Este método tiene en cuenta la posición inicial del sistema de remoción de malezas (40), la posición a la que debe ir el sistema de remoción de malezas (40), y la información de la escena en cuanto a espacios libres y ocupados por los obstáculos, que en este caso

corresponden a las plantas de interés de manera que no se vean afectadas por el trabajo del sistema de remoción de malezas (40). El método de determinación de trayectorias puede usarse en combinación con algún método de alisamiento de las trayectorias, como por ejemplo aproximaciones polinómicas, o las curvas de Bézier.

**[0056]** Una vez determinada la trayectoria óptima, el sistema de remoción de malezas (40) es desplazado por el mecanismo de actuadores lineales (50) hasta la posición deseada, evadiendo todos los obstáculos y alcanzando finalmente el punto en el que se encuentra la maleza. Cuando el sistema de remoción de malezas (40) se ha posicionado de manera correcta sobre el objetivo, el motor de deshierbe se activa de manera que propulsa la herramienta de deshierbe (41), la cual penetra una cantidad determinada la tierra, realizando la destrucción física de la maleza. Una vez que la maleza ha sido destruida, el sistema de remoción de malezas (40) se retrae, para pasar al siguiente objetivo de la misma área, o para avanzar a un punto posterior del campo en donde se repetirá el proceso.