

Sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas

Campo de la invención

Esta invención se refiere a un sistema para el cultivo en recipientes o camas, que estén en campo abierto o en ambientes cerrados como invernaderos, sean semicontrolados o controlados y, en particular, se refiere a un sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas, mediante la utilización de un contenedor que permite alcanzar las condiciones ambientales reales de temperatura, humedad y oscuridad, que favorezcan el desarrollo de las plantas, y un dispositivo para visualizar las raíces de las plantas para hacerles seguimiento y cuantificación, y que puede acoplarse a dicho contenedor.

Descripción del estado de la técnica

Los rhizotrones o cámaras de observación de crecimiento de raíces de plantas *in situ*, son dispositivos que contienen las plantas y exponen la arquitectura de la raíz a través de una placa transparente para así visualizar su crecimiento. De esta manera, es posible realizar el seguimiento y cuantificación de una pluralidad de parámetros de las raíces sin tener que destruirlas. A pesar de esta ventaja, los rhizotrones por sí mismos no alcanzan necesariamente las condiciones ambientales reales de temperatura, humedad y oscuridad, que favorecen el normal desarrollo de las plantas.

El desarrollo y crecimiento de las raíces de las plantas depende de diferentes factores, bien sean endógenos o exógenos; endógenos como el genético, contenido químico o la edad, y exógenos como el tipo de sustrato para siembra, la profundidad, el ataque de plagas o patógenos, la temperatura, la humedad, y la oscuridad. Los desbalances de algunos de estos factores o su inexistencia pueden tener como

resultado el estrés biótico, con un impacto negativo en el comportamiento fisiológico y morfológico de la raíz, y de la planta en general.

El presente sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas utiliza una configuración de rhizotrones que pueden acoplarse a un contenedor que por el diseño, fabricación, disposición de los rhizotrones y ubicación preferente en un hueco en el suelo, permite alcanzar las condiciones ambientales reales que favorecen el desarrollo adecuado de raíces y plantas; y que permite el uso del sistema no solo en investigación formal sino y en educación en general.

El uso de este tipo de sistemas es múltiple, por ejemplo, en la investigación en el sector agroindustrial para el análisis de la aplicación en procesos de validación de agroinsumos y metodologías de plantulación, caracterización y desarrollo de nuevos productos o procesos agronómicos, investigación de nuevas especies, entre otros.

En el estado de la técnica existen una pluralidad de divulgaciones relacionadas con rhizotrones, tal es el caso de la patente CN110089307A que divulga un dispositivo para sembrar semillas en un contenedor cilíndrico transparente de doble capa, que permite visualizar las raíces; comprende además un contenedor para depositar los dispositivos cilíndricos y tenerlos apilados. Adicionalmente, el contenedor de dispositivos cilíndricos tiene una base móvil que permite el desplazamiento de todos los cilindros en una única estructura; otra característica de esta patente es que permite la toma de imágenes de las raíces por métodos artificiales. La presente invención se diferencia de la patente CN110089307A en la configuración del dispositivo que permite visualizar la raíz, la patente usa un dispositivo cilíndrico transparente, que no puede posicionarse al interior del suelo o a la intemperie, mientras que el desarrollo postulado tiene dos caras planas, donde una de las caras es transparente para la visualización de la raíz y se puede utilizar directamente en un hueco en el suelo o fuera del suelo al cubrir el contenedor con láminas que no permitan el paso de la luz.

En el caso de la patente CN107047268A, se divulga un contenedor que agrupa los

dispositivos que contienen las plántulas germinadas; en donde dicho dispositivo que contiene las plantas tiene por lo menos una de sus caras transparente, lo que permite visualizar el crecimiento de la raíz. El contenedor que agrupa los dispositivos para visualizar las raíces contiene un mecanismo que permite que los dispositivos se muevan de su posición horizontal a una inclinada, y divulga una tapa para replicar condiciones de oscuridad para la germinación de las plantas. A diferencia del presente desarrollo, la patente no divulga características relativas a: un contenedor que impida el paso de luz a todos los dispositivos de visualización de raíces de plantas en un solo conjunto, ni la forma en que son extraídos estos dispositivos del contenedor, tampoco se pueden posicionar los dispositivos de visualización de raíces de plantas en el suelo o a la intemperie.

En otros estudios que hacen parte del estado de la técnica puede evidenciarse el artículo de Devienne-Barret, F., Richard-Molard, C., Chelle, M. (2006). *Ara-Rhizotron: An Effective Culture System to Study Simultaneously Root and Shoot Development of Arabidopsis*. *Plant and Soil* 280, 253–266, en el que se divulga una configuración de rhizotron conformado por una base o carcasa compuesta por cinco piezas y diez pinzas, el sistema tiene un único espesor muy pequeño, lo que limita el tipo de especies que puede contener. Las pinzas posibilitan la adhesión de todo el conjunto. A diferencia de la presente invención, la patente tiene una mayor cantidad de piezas que complejiza la operación de los rhizotrones. Respecto del contenedor de los rhizotrones, la patente divulga una configuración para contener un número fijo de rhizotrones (cinco) con paredes fijas y para permitir la circulación de aire, el contenedor tiene agujeros en las tapas laterales, este sistema no permite replicar las condiciones ambientales reales requeridas por la planta para su desarrollo, toda vez que no puede posicionarse ni interactuar con el suelo en condiciones de campo. Por su parte, la presente invención permite que los rhizotrones se posicionen en un contenedor en un hueco en el suelo, lo que asegura la oscuridad, humedad y temperatura muy cercana a la condición real en campo; el contenedor permite la posición inclinada que son condiciones obligatorias para cualquier rhizotron plano; además, el contenedor operando con las láminas que recubren todos los lados puede operar en ambientes abiertos o cerrados para una

pluralidad de dispositivos de visualización de raíces de plantas.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1. Corresponde a la vista isométrica del sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas con todos sus componentes en la modalidad preferida.

La Figura 2. Corresponde a la vista isométrica del sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas, en su modalidad preferida, con el dispositivo de visualización de las raíces de las plantas en posición vertical para la extracción o introducción en el contenedor.

La Figura 3. Corresponde a la vista explosionada del dispositivo de visualización de las raíces de las plantas, en la que se muestran los componentes: cara plana transparente, sujetadores, y carcasa.

La Figura 4. Corresponde a la vista isométrica del dispositivo de visualización de las raíces de las plantas armado.

La Figura 5. Corresponde a la vista inferior del dispositivo de visualización de las raíces de las plantas.

La figura 6. Corresponde a la vista superior del dispositivo de visualización de las raíces de las plantas.

La figura 7. Corresponde a la vista isométrica del sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas, con una pluralidad de dispositivos de visualización de raíces de plantas en el interior del contenedor, en posición inclinada.

La figura 8. Corresponde a la vista isométrica del contenedor del dispositivo de visualización de las raíces de las plantas, con las tapas laterales y orificios en la tapa superior.

La figura 9. Corresponde a la vista isométrica del sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas, con una pluralidad de dispositivos de visualización de las raíces de las plantas en el interior del contenedor, en posición vertical, que permite la extracción o el ingreso de los dispositivos de visualización de las raíces de las plantas.

Breve descripción de la invención

Un sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas, que comprende: al menos un dispositivo de visualización de las raíces de las plantas y un contenedor que permite contener más de un dispositivo de visualización de raíces de las plantas. El dispositivo de visualización de raíces de plantas permite hacerle seguimiento (revisiones periódicas) y cuantificación del desarrollo de las raíces (determinación de los valores de las variables a cuantificar, tales como, pero sin limitarse a, el número de raíces, longitud, diámetro, perímetro), en donde dicho dispositivo de visualización de las raíces de plantas puede estar acoplado a un contenedor que permite alcanzar las condiciones ambientales de temperatura, humedad y oscuridad que favorecen el desarrollo adecuado de las plantas, cuando todo el dispositivo para el seguimiento y cuantificación de las raíces de plantas se deposita sin tapas laterales en un hueco en el suelo. El contenedor puede tener tapas completas en todos los lados laterales y una tapa superior con orificios para la salida de la planta desde los dispositivos de visualización de las raíces de plantas.

Descripción detallada de la invención

La configuración del presente invento se describe utilizando las figuras 1 a 9, pero debe entenderse que esta puede tener variaciones que no son presentadas aquí, pues la presente descripción está limitada a detallar la modalidad preferida.

La presente invención consiste en un sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas (1) que permite alcanzar las condiciones ambientales reales de temperatura, humedad y oscuridad que favorecen el adecuado crecimiento de todas las estructuras de las plantas, así como la visualización de las raíces de las plantas para hacerles seguimiento y cuantificación.

Las figuras 1, 2, 7, 8 y 9 presentan el sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas (1), que comprende sus principales componentes: un contenedor (3), que comprende: dos conjuntos de pasadores (15), perfiles estructurales (13), al menos un asa (10), al menos dos ruedas (20), al menos dos soportes fijos (25); y al menos un dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2), representado por las figuras 3, 4, 5 y 6, que a su vez comprende: cinco sujetadores (7), una carcasa (11), una cara plana transparente (5), un agujero superior (8), en donde dicho dispositivo de visualización de las raíces de plantas (2) puede estar inclinado (figuras 1, 7), o puede estar en posición vertical (figuras 2 y 9), también, el sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas (1), puede estar sin tapas laterales para posicionarse en un hueco en el suelo o tener puestas las tapas laterales para operación a nivel del suelo en ambientes abiertos o cerrados (figura 8).

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se muestra el dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2), que en su interior puede contener el sustrato para siembra de la semilla y posibilita el posterior desarrollo de la planta y el sistema de raíces, en donde el dispositivo de visualización de las raíces de plantas (2), comprende: una cara plana transparente (5) que permite el paso de la luz y no tiene resistencia UV, fabricada en material que puede ser seleccionado del grupo formado por: metacrilatos, policarbonatos, vidrio o acrílico; cinco sujetadores (7) y una carcasa

(11) opaca de una sola pieza que cubre cuatro lados, que tiene resistencia UV, los sujetadores (7) y la carcasa (11) pueden ser fabricados en material que puede ser seleccionado del grupo formado por: nylon, acetal, policarbonato, poliestireno, acrílicos, politetrafluoroetileno (PTFE), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), policloruro de vinilo y plásticos reforzados con fibras. La carcasa (11) y los cinco sujetadores (7) del dispositivo de visualización de raíces (2) son fabricados por inyección de termoplástico. Los cinco sujetadores (7) unen a presión la cara plana transparente (5) y la carcasa (11) de manera que no se den fugas del sustrato y se permita el drenaje del agua a través de dos cavidades en la parte inferior (9) (figura 5), en su parte superior tiene un agujero (8) que permite entrada de luz a través del sustrato de siembra y deja salir el tallo de la planta (figura 6).

El dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2) permite hacer seguimiento (revisiones periódicas) y cuantificación (determinación de las variables a evaluar, tales como, pero sin limitarse a, número de raíces, longitud, diámetro, perímetro) del desarrollo de las raíces. El dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2) debe estar acoplado al contenedor (3) y todo el sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas (1), introducido en un hueco en el suelo que tenga las mismas dimensiones; ancho, largo y alto, que el contenedor (3); lo que permite alcanzar las condiciones ambientales de temperatura, humedad y oscuridad que favorecen el desarrollo adecuado de las plantas en campo.

Las figuras 1, 2, 7, y 9 presentan un contenedor (3) que en su interior permite acoplar al menos un dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2), en donde dicho contenedor (3) es fabricado en un material rígido, que puede ser seleccionado del conjunto de materiales formado por: hierro, aleaciones de hierro, madera o aluminio, preferiblemente metálico, de forma tridimensional, preferiblemente un ortoedro, compuesto de doce perfiles estructurales (13), cuatro longitudinalmente y ocho transversales en las esquinas externas de los perfiles longitudinales, unidos entre sí mecánicamente, preferiblemente con tornillos, preferiblemente metálicos, en donde dicho contenedor (3) se puede ubicar en un hueco en el suelo para

alcanzar las condiciones ambientales de temperatura, humedad y oscuridad. Los perfiles estructurales (13) se disponen en las cuatro aristas de mayor longitud, mientras que los perfiles estructurales (13) transversales se ubican en las ocho aristas de menor longitud.

Dicho contenedor (3) comprende: al menos cuatro pasadores (15), pero cuando hay más de un dispositivo de visualización de raíces de plantas (2), el número de pasadores es igual a “ $n+1$ ”, siendo “ n ” el número de dispositivos de visualización de raíces de plantas (2). Los pasadores (15) pueden ser fabricados de materiales seleccionados del conjunto de materiales formado por: aluminio, hierro, bronce, cobre o de acero al carbón, posicionados en dos conjuntos; un conjunto de pasadores (15) que se dejan fijos en la parte inferior del contenedor (3), sujetos sobre los perfiles longitudinales inferiores, y el otro conjunto de pasadores (15) móviles ubicados en la parte superior del contenedor (3), sujetos a una platina móvil interna o riel a cada uno de los perfiles longitudinales superiores. Cada pasador (15) se ubica entre las dos caras internas de los perfiles longitudinales (13) del contenedor (3). La disposición de los dos conjuntos de pasadores (15), superiores e inferiores, permiten la introducción y extracción de al menos un dispositivo de visualización de raíces de plantas (2). Los pasadores (15) del conjunto superior se pueden deslizar horizontalmente, de manera que queden alineados con el conjunto de pasadores de la parte inferior, así que los dispositivos de visualización de las raíces de las plantas (2) se puedan introducir de manera vertical a través de cada par de pasadores (15), (figuras 2 y 9) y, una vez que de manera que queden alineados con el conjunto de pasadores de la parte inferior al interior del contenedor (3), el conjunto de pasadores de la parte superior se deslice horizontalmente en dirección contraria y genera la rotación de los dispositivos de visualización de raíces de las plantas (2) que hace que se inclinen con respecto a la horizontal en un ángulo que puede fluctuar entre los 45° y 70° , en donde dichos dispositivos de visualización de raíces de las plantas (2) descansan sobre los conjuntos de pasadores (15), figuras 1 y 7.

Adicionalmente, el contenedor comprende, al menos dos ruedas (20), ubicadas en la parte inferior del contenedor (3) para facilitar el desplazamiento del contenedor (3); dos soportes fijos (25) ubicados en la parte inferior del contenedor (3) para nivelar, inmovilizar y ubicar el contenedor (3) en el lugar de uso; al menos un asa (10) fabricada en un material seleccionado del conjunto formado por: hierro, aleaciones de hierro, madera, aluminio, policarbonatos, polímeros, ABS, EMPAC, ubicada en el extremo del contenedor (3) para facilitar su carga y desplazamiento.

La figura 8 ilustra un contenedor (3) en donde se acopla al menos un dispositivo de visualización de raíces de las plantas (2), en donde dicho contenedor (3) utiliza láminas (35) en todas las caras del contenedor para el oscurecimiento total de los dispositivos de visualización de raíces de las plantas (2) que contenga, de tal manera que el contenedor (3) puede estar a la intemperie o en un ambiente cerrado y replicar condiciones similares a las de campo de temperatura, humedad y oscuridad. El contenedor (3), preferiblemente un ortoedro, tiene cinco láminas (35). Las láminas (35) del contenedor (3) pueden estar unidas entre sí como una estructura rígida, o pueden ser láminas independientes que se unen mediante su disposición sobre los perfiles estructurales (13). Todas las caras (35) del contenedor (3) evitan el ingreso de luz al interior del contenedor (3), excepto la cara (35) superior, la cual comprende uno o más orificios (30) que permiten el ingreso de la luz solo sobre una sección del sustrato a través del agujero (8) y, a la vez, permiten el crecimiento de la planta; el orificio (30) de la cara superior del contenedor (3) coincide con el orificio superior (8) del dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2), de manera que, si el contenedor (3) permite alojar varios dispositivos de visualización de las raíces de las plantas (2), la cara (35) superior del contenedor (3) comprende al menos el mismo número de orificios (8) que el número de dispositivos de visualización de las raíces de las plantas (2).

La figura 9 ilustra un contenedor (3) que en su interior permite acoplar más de un dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2) en su posición vertical

para facilitar la extracción y el ingreso de los dispositivos de visualización de las raíces de las plantas (2).

Para el funcionamiento de la modalidad preferida del sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas (1), se procede de la siguiente manera, aunque no necesariamente en el mismo orden, el dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2) es ensamblado al llenar el espacio interior de la carcasa (11) con el sustrato de siembra y la semilla, luego se tapa con la cara plana transparente (5) y luego procediendo al cierre del dispositivo a presión mediante los sujetadores (7). Dicho dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2) puede ser insertado verticalmente al interior del contenedor (3) de manera preferiblemente manual con la cara transparente (5) dirigida hacia la dirección a la que se desplazan los pasadores (15), para que los dispositivos de visualización de las raíces de las plantas (2) quede hacia abajo, y que el dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2) tenga una inclinación que puede fluctuar entre 45° y 70° respecto a la horizontal y que permita que la raíz de la planta se desarrolle sobre dicha cara transparente y pueda ser visualizada durante el desarrollo; el contenedor (3) es sujetado por medio de por lo menos un asa (10), desplazado utilizando las ruedas (20) y puede ser ubicado en un hueco en el suelo para que el dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2) alcance las condiciones de temperatura, humedad y oscuridad similares a las de las raíces de una planta en campo y que favorezcan el adecuado desarrollo de la planta.

En una modalidad de la invención, el contenedor (3) puede comprender dos o más conjuntos de cuatro pasadores (15), en donde entre cada conjunto de pasadores hay una distancia regular. Cada conjunto de pasadores (15), superior en inferior, permite el acople de un dispositivo de visualización de las raíces de las plantas (2). Preferiblemente, la distancia entre los centros geométricos de cada par de pasadores (15) está definida por el espesor de los dispositivos de visualización de raíces de las plantas (2); en el intervalo de separación entre cada par de dispositivos de visualización de raíces de las plantas (2) debe estar en un intervalo entre 1.0 mm

a 5.0 mm, lo cual permite la mayor capacidad de apilamiento de dispositivos de visualización de las raíces de las plantas (2) al interior del contenedor (3) cuando se desplazan horizontalmente los pasadores (15) superiores. La cantidad de dispositivos de visualización de raíces de las plantas (2) que puede haber en el contenedor (3), depende de la longitud de los perfiles (13) longitudinales, del ángulo de inclinación de los dispositivos de visualización de raíces de las plantas (2) definido, y de la distancia entre cada conjunto de pasadores (15).

Ejemplo

A continuación, se presenta un ejemplo del funcionamiento del sistema para seguimiento y cuantificación de raíces de plantas, en su configuración preferente, que tiene un contenedor de forma ortoédrica, con dimensiones de 110 cm, 40 cm y 37 cm, 2 cm; largo, alto, ancho y espesor interno respectivamente, lo que le permite contener 25 sistemas para la visualización de raíces (2) (figura 1). Está construido en perfil de aluminio de 20 mm lo que le da rigidez mecánica y resistencia a la humedad. Los perfiles de aluminio están fijados con tornillería M2 en acero al carbono. Las láminas que cubren el contenedor se fabricaron en acrílico negro, de 3.0 mm de espesor. Los pasadores son cilíndricos de 2.0 mm de diámetro y de acero al carbón con tratamiento anticorrosivo, la separación entre los pasadores es de 2.8 cm, distancia medida desde los centros geométricos de cada par de pasadores. Los pasadores son posicionados de tal manera que aseguren que todos los sistemas para la visualización de raíces estén inclinados a 60° arriba de la horizontal. Los pasadores superiores cuentan con un desplazamiento de hasta 185 mm posición en la que alcanzan el tope que los frena, posición para satisfacer el intervalo de configuraciones en función de los ángulos. Las asas son de EMPAC. El dispositivo para visualización y seguimiento de raíces de plantas en el que las dimensiones internas de la carcasa definen el tamaño del dispositivo que en su configuración preferente es de 36.0 cm, 26.5 cm, 2.0 cm, largo, ancho y espesor, respectivamente, y la lámina de la cara frontal es de acrílico translúcido de 3.0 mm de espesor. La carcasa y la lámina translúcida se sujetan mecánicamente mediante cinco grapas (figura 4).