

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 020 015**

51 Int. Cl.:

G01N 33/24 (2006.01)

G01N 27/12 (2006.01)

G01N 1/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.10.2020** **PCT/GB2020/052707**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.05.2021** **WO21084235**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2020** **E 20803234 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.03.2025** **EP 4052032**

54 Título: **Sistema de análisis de compuestos orgánicos volátiles en el suelo**

30 Prioridad:

29.10.2019 GB 201915639

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.05.2025

73 Titular/es:

P.E.S. TECHNOLOGIES LIMITED (100.00%)
19 Wordsworth Road
Diss, Norfolk IP22 4QA, GB

72 Inventor/es:

BAILEY, JIM y
BAILEY, GRAHAM

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 3 020 015 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de análisis de compuestos orgánicos volátiles en el suelo

La presente invención se refiere a un sistema para analizar compuestos orgánicos volátiles (VOC) en suelo y/o gases emitidos desde el suelo y a un método de análisis de suelo.

5 Antecedentes de la invención

Se sabe que una parte importante de la optimización del crecimiento de cultivos en el suelo es garantizar la salud y la fertilidad del suelo. Las herramientas actuales de análisis de suelo requieren que se envíen muestras a un centro de pruebas y que los resultados se entreguen en varios días. Este retraso significa que el usuario, tal como, un agricultor, no puede analizar rápidamente la salud de su suelo.

- 10 Se sabe que la rotación de cultivos mejora el rendimiento de los cultivos. Además, se sabe que el tratamiento de la tierra mejora la fertilidad del suelo, tal como, aportando fertilizantes, biomasa, fungicidas, hongos, bactericidas y bacterias.

Se sabe cómo analizar las emisiones de dióxido de carbono del suelo, sin embargo, esto no indica el tipo de microorganismos que están presentes en el suelo y solo indica el grado de respiración anaeróbica.

- 15 Los microorganismos del suelo producen una variedad de compuestos orgánicos volátiles (VOC). La composición de las emisiones de VOC puede proporcionar información general sobre la estructura de las comunidades microbianas del suelo.

Se sabe que se usan narices electrónicas para evaluar los VOC de diversas composiciones. Las "narices electrónicas" actuales que son fiables por lo general usan espectroscopia de impedancia para analizar los VOC. Esto por lo general requiere una estructura de tres terminales con un electrodo fuente, un electrodo de compuerta y un electrodo de drenaje. La impedancia se mide a través de una banda de frecuencias. Sin embargo, la espectroscopia de impedancia requiere un modelo matemático para analizar la curva.

- 20 El documento WO95/32422 divulga un sensor que comprende una pluralidad de elementos de circuito eléctrico sensibles a diferentes sustancias, un circuito eléctrico que incluye dichos elementos y un circuito en dicho circuito que responde a la condición de dichos elementos del circuito y está conectado a un dispositivo de salida, estando dicho circuito adaptado para accionar el dispositivo de salida en respuesta a una o más combinaciones de condiciones de los elementos del circuito individuales. El equipo se utiliza en la detección de gases derivados de la actividad microbiológica para detectar determinadas condiciones patológicas tales como necrosis o infección en heridas, o en el seguimiento de la fermentación en la industria cervecera. Un dispositivo de salida puede incluir un indicador de dos estados (encendido o apagado) para mostrar que se ha detectado uno o más de varios gases, pero no precisamente qué se ha detectado.

- 25 El documento WO 95/25268 divulga un recipiente de prueba para analizar una muestra, que se coloca en un primer compartimento que puede purgarse con un gas antes de tomar una medición para garantizar que la atmósfera dentro de la cámara sea de una composición conocida. La muestra puede ser un líquido, tal como un perfume o una bebida, o un sólido, tal como un alimento. Los sensores capaces de detectar gases, vapores u otros materiales volátiles, por ejemplo, usando un polímero semiconductor y un par de contactos eléctricos, se colocan en un segundo compartimento que se puede purgar de forma independiente y se proporcionan medios para establecer comunicación entre los compartimentos. Se describe un sistema para analizar VOC en el suelo, que comprende una matriz de sensores semiconductores de óxido metálico en Gutierrez et al. in Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 7-11 JULY 1997, pages SS113-SS115, DOI: 10.1109/ISIE.1997.651745, ISBN: 978-0-7803-3936-1.

- 30 Existe la necesidad de una forma eficiente de analizar los VOC en el suelo. Existe la necesidad de un dispositivo portátil que permita al usuario obtener rápidamente un análisis de la salud del suelo. Existe una necesidad de tiras de sensores que sean rentables. Se necesita un método sencillo para analizar la salud del suelo. Existe la necesidad de un aparato de análisis que funcione a batería y que permita analizar el suelo en el campo, en lugar de requerir que se lleven muestras a un área de análisis separada. Existe la necesidad de un método para aumentar el rendimiento de los cultivos. Es necesario contar con asesoramiento en tiempo real sobre cómo mejorar la salud del suelo. Se necesita un dispositivo de baja potencia para analizar el suelo. Se necesita una forma sencilla de analizar los datos de un sensor. Se necesita un aparato con componentes mínimos.

- 45 Por lo tanto, un objeto de la presente invención es tratar de aliviar los problemas identificados anteriormente.

Sumario de la invención

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema para analizar compuestos orgánicos volátiles (VOC) en suelo que comprende un aparato y una tira de sensores de VOC de suelo,

en el que el aparato comprende una cámara de muestreo para recibir suelo, una abertura de tira de sensores en la cámara de muestreo para colocar la tira de sensores en comunicación fluida con la cámara de muestreo, una fuente de energía y un detector de resistencia eléctrica,

5 en el que la tira de sensores se puede conectar eléctricamente a la fuente de alimentación y al detector de resistencia eléctrica; y

en el que el sistema comprende además una pantalla y/o un almacenamiento de datos, en el que el detector de resistencia eléctrica está configurado para transmitir la salida a la pantalla y/o al almacenamiento de datos y en el que el almacenamiento de datos está configurado para enviar la salida para comparación con un conjunto de datos conocido y para almacenar una salida de comparación, y la pantalla está configurada para
10 mostrar la salida de comparación,

caracterizado porque la tira de sensores comprende un sustrato flexible con una primera superficie y un conjunto de sensores de polímero semiconductor dispuestos sobre la primera superficie, en el que cada uno de los sensores de polímero semiconductor comprende un par de electrodos, en el que el par de electrodos comprende un primer electrodo y un segundo electrodo, en el que un polímero semiconductor está dispuesto
15 entre el primer electrodo y el segundo electrodo.

En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de análisis de suelo que comprende:

a) proporcionar un aparato, en el que el aparato comprende una cámara de muestreo, una abertura de tira de sensores en la cámara de muestreo, una fuente de energía y un detector de resistencia eléctrica; una pantalla y/o almacenamiento de datos;

20 b) proporcionar una tira de sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOC) del suelo,

en el que la tira de sensores comprende un sustrato flexible con una primera superficie y una matriz de sensores de polímero semiconductor dispuestos sobre la primera superficie,

en el que cada uno de los sensores de polímero semiconductor comprende un par de electrodos, en el que el par de electrodos comprende un primer electrodo y un segundo electrodo, en el que un polímero semiconductor está dispuesto entre el primer electrodo y el segundo electrodo;
25

c) proporcionar una muestra de suelo,

d) colocar la tira de sensores sobre la abertura de la tira de sensores, en el que uno o cada uno de los sensores de polímero semiconductor están en comunicación fluida con la cámara de muestreo, en el que cada par de electrodos está conectado eléctricamente a la fuente de energía y al detector de resistencia eléctrica,

30 e) colocar la muestra de suelo en la cámara de muestreo,

f) accionar la fuente de alimentación para suministrar electricidad a la tira de sensores, y

g) detectar la resistencia eléctrica de uno o cada uno de los sensores de polímero semiconductor usando el detector de resistencia eléctrica para proporcionar una salida.

h) transmitir la salida del detector de resistencia eléctrica a la pantalla y/o al almacenamiento de datos; enviar la salida para compararla con un conjunto de datos conocido y mostrar una salida de comparación en la pantalla y/o almacenar la salida de comparación en el almacenamiento de datos.
35

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra el aparato de la invención.

La figura 2 muestra el sistema de la invención.

40 La figura 3 muestra la tira de sensores de la invención.

La figura 4 muestra un sensor de polímero semiconductor ampliado de la invención.

La figura 5 muestra una sección transversal de un sensor de polímero semiconductor de la invención.

La figura 6 muestra una sección transversal de una tira de sensores de espectroscopia de impedancia de compuestos orgánicos volátiles (VOC) del suelo.

45 La figura 7 muestra una realización del aparato de la invención que tiene una cámara de casete y la figura 8 muestra una carcasa de casete que se instalará en el aparato de la figura 7.

La figura 9 muestra una primera muestra de la respuesta del sensor.

La figura 10 muestra una segunda muestra de respuesta del sensor.

Descripción detallada

La presente invención se refiere a un sistema para analizar compuestos orgánicos volátiles (VOC) en suelo que comprende un aparato y una tira de sensores de VOC en suelo,

- 5 en el que el aparato comprende una cámara de muestreo para recibir suelo, una abertura de tira de sensores en la cámara de muestreo para colocar la tira de sensores en comunicación fluida con la cámara de muestreo, una fuente de energía y un detector de resistencia eléctrica,
- 10 en el que la tira de sensores comprende un sustrato flexible con una primera superficie y una matriz de sensores de polímero semiconductor dispuestos sobre la primera superficie, en el que cada uno de los sensores de polímero semiconductor comprende un par de electrodos, en el que el par de electrodos comprende un primer electrodo y un segundo electrodo, en el que un polímero semiconductor está dispuesto entre el primer electrodo y el segundo electrodo, y
- en el que la tira de sensores se puede conectar eléctricamente a la fuente de alimentación y al detector de resistencia eléctrica,
- 15 en el que el sistema comprende además una pantalla y/o un almacenamiento de datos, en el que el detector de resistencia eléctrica está configurado para transmitir la salida a la pantalla y/o al almacenamiento de datos, y en el que el almacenamiento de datos está configurado para enviar la salida para comparación con un conjunto de datos conocido y para almacenar una salida de comparación, y la pantalla está configurada para mostrar la salida de comparación.
- 20 El sistema de la invención proporciona una forma eficiente de analizar los VOC en el suelo y/o los gases emitidos desde el suelo. Las tiras de sensores son eficientes de fabricar y tienen un bajo coste ya que el sustrato es flexible. Estos tienen un coste mucho menor que la fabricación de sustratos de silicio tales como los que se usan en la técnica. Una ventaja adicional es que el sistema tiene una matriz de electrodos de dos terminales y mide la resistencia. No es necesario un modelo matemático para analizar la resistencia, a diferencia del
- 25 procedimiento de análisis más complicado usado en la espectroscopia de impedancia, esto significa que los datos de la invención son computacionalmente menos costosos de analizar, ya que no requieren un modelo matemático. En particular, los datos de resistencia pueden introducirse directamente en un algoritmo de aprendizaje automático, mientras que los datos de impedancia deben ajustarse primero a un modelo matemático y luego introducirse en un algoritmo de aprendizaje automático. Esta etapa adicional de ajustar los
- 30 datos de impedancia a un modelo matemático requiere una electrónica más complicada y más potencia de cálculo que la necesaria para usar datos de resistencia. Además, como se mide la resistencia, no existe el riesgo de que el modelo matemático sea incorrecto. Además, el coste se reduce al requerir solo dos electrodos, ya que es más eficiente de fabricar que una configuración de electrodos de tres terminales. En particular, es posible imprimir dos electrodos en la misma fase del procedimiento de impresión. Una estructura de electrodos de tres terminales requiere una precisión de impresión mucho mayor, ya que es necesario usar varias fases de impresión para imprimir toda la estructura y no se puede imprimir en una sola posición. Esto aumenta la longitud de la línea de producción a medida que el sustrato flexible pasa por diferentes fases de impresión. Además, en una estructura de tres terminales es importante que no haya superposición de los electrodos de compuerta con los otros electrodos, lo que hace que el registro sea mucho más difícil. Además, al requerir solo electrodos de
- 40 dos terminales se reduce el grosor del sensor y la cantidad de material conductor, tal como los metales utilizados para fabricar los electrodos, y se reduce la cantidad de capas del sensor. Una ventaja adicional de una estructura de dos terminales es que se usan menos terminales; por lo tanto, la confiabilidad es mayor, el coste de producción es menor y la complejidad es menor que una estructura de tres terminales. El aparato del sistema tiene componentes mínimos. Además, el uso de un detector de resistencia eléctrica reduce el nivel de voltaje requerido, particularmente en comparación con la espectroscopia de impedancia, que requiere un alto voltaje para llevar a cabo el análisis. El voltaje más bajo hace que sea más fácil alimentar un dispositivo con baterías y, en particular, simplifica la electrónica. Además, al comparar la salida con un conjunto de datos conocidos, se proporciona al usuario información sobre el estado actual del suelo. El resultado de la comparación es, preferiblemente, un asesoramiento sobre cómo mejorar el suelo.
- 45
- 50 Preferiblemente, el sistema de la presente invención no utiliza espectroscopia de impedancia.
- Preferiblemente, la comunicación fluida significa que el fluido puede moverse desde la cámara de muestreo hasta la tira de sensores, preferiblemente los gases, tales como los VOC, pueden moverse desde la cámara de muestreo hasta la tira de sensores.
- 55 Se entiende que el sistema para analizar compuestos orgánicos volátiles (VOC) en suelo de la presente invención, que comprende una tira de sensores de VOC de suelo, es también o alternativamente adecuado para analizar gases emitidos desde el suelo. La tira de sensores de VOC de suelo de la presente invención también es adecuada para detectar gases emitidos por el suelo.

Preferiblemente, la fuente de energía es una batería. Esto permite usar el sistema en cualquier ubicación y, en particular, permite utilizarlo en un campo, de manera que el análisis se puede realizar en el lugar donde se recoge la muestra de suelo. Esto permite al usuario obtener los resultados en una ubicación predeterminada y no necesita recolectar y etiquetar muestras de suelo para su análisis posterior.

- 5 Preferiblemente, la batería es recargable. Esto es más ecológico que las baterías desechables.

Preferiblemente la batería funciona con energía solar. Esto le da al usuario más flexibilidad para llevar a cabo experimentos sin necesidad de conectar la batería a otra fuente de energía para recargarla o reemplazarla.

Preferiblemente, el aparato comprende un localizador GPS. Esto permite registrar fácilmente la ubicación donde se toma la muestra.

- 10 Preferiblemente, el aparato comprende además una carcasa. Preferiblemente, la carcasa comprende la cámara de muestreo. Preferiblemente, la carcasa comprende además el detector de resistencia eléctrica y/o la fuente de alimentación. Preferiblemente, la carcasa comprende además el detector de resistencia eléctrica y la fuente de alimentación. Preferiblemente la carcasa sea impermeable. La carcasa es una forma adecuada de mantener unido el aparato para poder transportarlo. Además, la carcasa protege partes del aparato de los elementos, tales como la lluvia. En particular, resulta ventajoso que los componentes electrónicos, tales como la fuente de alimentación y el detector de resistencia eléctrica, estén protegidos del agua.

- 15 Preferiblemente, la pantalla y/o el almacenamiento de datos se pueden conectar al detector de resistencia eléctrica a través de Bluetooth, Wi-Fi, un sistema de comunicación inalámbrico móvil, un cable o una conexión eléctrica directa, preferiblemente a través de Bluetooth, Wi-Fi o un sistema de comunicación inalámbrico móvil, preferiblemente a través de Bluetooth. Esto permite que la salida se muestre o almacene.

Preferiblemente, el dispositivo de visualización y/o almacenamiento de datos es un dispositivo electrónico personal (PED), preferiblemente el PED es un teléfono inteligente, una tableta, un teléfono móvil, un ordenador portátil o un cuaderno, preferiblemente un teléfono inteligente. Es especialmente útil si el PED es portátil.

- 20 Preferiblemente, el detector de resistencia eléctrica es cualquier detector que mida una salida de manera que se pueda medir o calcular la resistencia del polímero semiconductor. El detector de resistencia eléctrica puede medir corriente y voltaje, lo que permite calcular la resistencia. El detector de resistencia eléctrica es preferiblemente un ohmímetro. Preferiblemente, no se mide y/o analiza la impedancia.

- 25 Preferiblemente, la cámara de muestreo tiene una posición abierta y una posición cerrada. Esto permite agregar una muestra de suelo a la cámara de muestreo y luego mantenerla en una posición cerrada para su análisis. Preferiblemente, la posición cerrada significa que la única abertura sustancial en la cámara de muestreo es la abertura de la tira de sensores. Esto permite que los VOC queden contenidos en la cámara de muestreo y se analicen a través de la apertura de la tira de sensores.

Preferiblemente, la cámara de muestreo es un cajón, y el cajón se puede mover desde la posición abierta a la posición cerrada. Esta es una forma conveniente de introducir la muestra de suelo para su análisis.

- 30 Preferiblemente, el aparato comprende además un interruptor, en el que al accionar el interruptor se enciende la fuente de energía o se despierta la fuente de energía del modo de suspensión. Esto permite al usuario controlar cuándo comienza el análisis del suelo. El usuario puede accionar el interruptor, tal como, presionando físicamente un interruptor, o activándolo electrónicamente, tal como, a través de una pantalla conectable al aparato.

- 35 Preferiblemente el interruptor es un microinterruptor. Esta es una forma confiable de activar la fuente de energía.

Preferiblemente, el interruptor se acciona cuando la cámara de muestreo está en la posición cerrada. Esto permite que la detección comience tan pronto como la muestra de suelo esté en posición.

- 40 Preferiblemente, el interruptor se acciona cuando el cajón se mueve a la posición cerrada. Preferiblemente, el interruptor comprende un imán y un sensor magnético y el sensor magnético enciende la fuente de energía o despierta la fuente de energía del modo de suspensión. Esto proporciona una forma conveniente de comenzar el análisis.

- 45 Preferiblemente, la fuente de alimentación se apaga después de un período de tiempo predeterminado. Esto permite que el análisis se lleve a cabo durante el período de tiempo deseado. Esto reduce el uso de energía de manera que el voltaje solo se aplica a la tira de sensores cuando es necesario.

50 Preferiblemente, la fuente de energía se apaga automáticamente o se pone en modo de suspensión después de un período de tiempo predeterminado, preferiblemente cuando finaliza la medición. Esto reduce la entrada requerida por parte del usuario y ayuda a producir resultados consistentes para análisis posteriores.

- Preferiblemente, el período de tiempo predeterminado es al menos aproximadamente 30 segundos, preferiblemente aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 60 minutos, preferiblemente aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 30 minutos, preferiblemente aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 15 minutos, preferiblemente aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 10 minutos,
- 5 preferiblemente aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 8 minutos, preferiblemente aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 6 minutos. Si bien el análisis puede llevarse a cabo durante largos períodos de tiempo, es preferible que el usuario reciba una respuesta rápida, tal como, en unos pocos minutos, tal como, menos de 10 minutos. Esto es especialmente ventajoso porque el usuario recibe asesoramiento sobre el suelo de manera oportuna.
- 10 Preferiblemente, el aparato comprende además un dispositivo de fijación de la tira de sensores. Preferiblemente, el dispositivo de fijación de la tira de sensores está fijado a la carcasa. Preferiblemente, el dispositivo de fijación de la tira de sensores está fijado de forma pivotante a la carcasa. Preferiblemente, en el que el dispositivo de fijación de la tira de sensores es una palanca que se puede mover desde una posición abierta a una posición cerrada. Es ventajoso poder mantener la tira de sensores en su posición. Por lo general,
- 15 el sistema se utilizará en exteriores, tal como en un campo, donde estará expuesto a los elementos, tal como el viento. Es ventajoso que la tira de sensores se mantenga en una posición de manera que no se mueva sustancialmente ni salga volando. El objetivo de esto es garantizar que cada uno, el primer electrodo como el segundo electrodo, estén conectados a las conexiones eléctricas adecuadas dentro del aparato.
- 20 Preferiblemente, el aparato comprende además un dispositivo de posicionamiento de tira de sensores. Preferiblemente, el dispositivo de posicionamiento es una cavidad en el aparato que tiene el tamaño y la forma adecuados para recibir la tira de sensores. Una ventaja de esto es garantizar que cada uno de los electrodos, tanto el primer como el segundo, estén conectados a las conexiones eléctricas adecuadas dentro del aparato.
- 25 Preferiblemente, el aparato comprende además un detector de ubicación de tira de sensores. Esto permite que el aparato verifique si la tira de sensores se ha colocado correctamente y que el o cada uno de los electrodos, el primero y el segundo, se han conectado eléctricamente al detector de resistencia eléctrica. Preferiblemente, esto se logra mediante un microinterruptor, un interruptor magnético, un sensor óptico, un circuito formado cuando la tira de sensores se coloca en su posición o un cortocircuito formado cuando la tira de sensores se coloca en su posición, o cualquier combinación de dos o más de los mismos, preferiblemente un circuito o cortocircuito formado cuando la tira de sensores se coloca en su posición.
- 30 Preferiblemente, el aparato comprende un calentador para calentar la cámara de muestreo.
- Preferiblemente, el aparato comprende además un dispositivo de almacenamiento de tira de sensor; preferiblemente en el que el dispositivo de almacenamiento de tira de sensores está sustancialmente sellado; y/o en el que el dispositivo de almacenamiento de tira de sensores es un casete.
- 35 Preferiblemente, el aparato comprende además al menos un mecanismo de movimiento para el reemplazo y/o posicionamiento automático de la tira de sensores en comunicación fluida con la cámara de muestreo; preferiblemente, en el que el mecanismo de movimiento comprende al menos dos carretes para mover la tira de sensores entre ellos y a través de la cámara de muestreo; opcionalmente, en el que el mecanismo de movimiento comprende un motor paso a paso y/o un dispositivo de posicionamiento de la tira de sensores.
- 40 El reemplazo automático de los sensores protege al sensor de la contaminación antes de su uso o durante el reemplazo y, de este modo, reduce la necesidad de usar envases de plástico de un solo uso para cada sensor. Además, la sustitución automática y el almacenamiento seguro de los sensores reducen la complejidad del aparato para los usuarios, reduciendo así los posibles errores introducidos por la inserción incorrecta de los sensores en el aparato.
- 45 Preferiblemente, el dispositivo de almacenamiento de la tira de sensores está sellado y contiene al menos un gas para evitar la entrada de aire, humedad o contaminantes.
- Preferiblemente, el aparato es un aparato portátil. Esto significa que es fácil para el usuario transportar y llevar el aparato al lugar de uso deseado. Es especialmente ventajoso que el aparato se pueda usar en cualquier lugar, y en particular en exteriores, tal como, en un campo.
- 50 Preferiblemente, la cámara de muestreo tiene una capacidad máxima en un intervalo de aproximadamente 10 cm³ hasta aproximadamente 300 cm³, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 50 cm³ hasta aproximadamente 200 cm³, preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 70 cm³ hasta aproximadamente 150 cm³. La capacidad máxima es preferiblemente el volumen de suelo que se puede colocar en la cámara de muestreo en la posición abierta, lo que permite mover la cámara de muestreo a la posición cerrada. En la práctica, el usuario no necesita llenar completamente la cámara de muestreo, sin embargo es deseable que se incluya tanta tierra como quepa en la cámara de muestreo para maximizar los niveles de VOC.
- 55 Preferiblemente, la distancia entre el nivel del suelo, cuando la cámara de muestreo está llena a su capacidad máxima, y la tira de sensores está en el intervalo de aproximadamente 0.5 cm a 5 cm, preferiblemente de

aproximadamente 1 cm a aproximadamente 3 cm. Es preferible que haya un espacio entre el nivel del suelo y la tira de sensores para que el VOC pueda alcanzar cada uno de los polímeros semiconductores. Es preferible que no haya espacio excesivo ya que esto diluirá la concentración de VOC y aumentará el tiempo de medición.

- 5 Preferiblemente, el suelo no entre en contacto con la tira de sensores. Esto reduce la contaminación de los sensores de polímero semiconductor y garantiza que la mayor superficie del sensor esté disponible para los VOC.

- 10 Preferiblemente, los sensores de polímero semiconductor se colocan en relación con la muestra de suelo de tal manera que el VOC pueda llegar al sensor en cantidad suficiente en un período de tiempo razonable. Preferiblemente, el espacio libre cuando la cámara de muestreo está llena a su capacidad máxima y cuando la cámara de muestreo está en la posición cerrada tiene un volumen en el intervalo de aproximadamente 3 cm³ hasta aproximadamente 50 cm³, preferiblemente aproximadamente 10 cm³ hasta aproximadamente 30 cm³. El espacio libre es el volumen de espacio en la cámara de muestreo que está por encima del nivel del suelo. Tales volúmenes son adecuados para permitir que los VOC sean emitidos por el suelo, manteniendo al mismo tiempo las concentraciones lo suficientemente altas para poder ser leídas.

- 15 Preferiblemente, la apertura de la tira de sensores se coloca sustancialmente por encima de la muestra de suelo. Preferiblemente, la tira de sensores se coloca con su primera superficie orientada sustancialmente hacia abajo, hacia la muestra de suelo. Esto permite que los VOC se eleven y entren en contacto con los sensores de polímero semiconductor.

- 20 Preferiblemente, uno o cada uno de los pares de electrodos tienen forma de dedos entrelazados o espirales concéntricas, preferiblemente en forma de dedos entrelazados. Tales disposiciones reducen el área cubierta por los electrodos y permiten un uso eficiente del espacio. Se prefiere especialmente la forma de dedos entrelazados, ya que se pueden imprimir fácilmente. En particular, los dedos entrelazados tienen preferiblemente giros sustancialmente perpendiculares entre los dedos subsiguientes y los dedos son sustancialmente rectos. Esto hace que sea más fácil imprimirlos.

- 25 Preferiblemente, uno o cada uno del primer electrodo y/o uno o cada uno del segundo electrodo tienen una resistividad laminar de menos de aproximadamente 30 ohmios/cuadrado, preferiblemente menos de aproximadamente 20 ohmios/cuadrado.

- 30 Preferiblemente, uno o cada uno del primer electrodo y/o uno o cada uno del segundo electrodo comprende un metal, un óxido metálico, un polímero eléctricamente conductor, grafeno o carbono, preferiblemente, plata, oro, cobre, zinc, carbono, nanoplaquetas de grafeno, óxido de indio y estaño, poli(3,4-etilendioxitiofeno) poliestireno sulfonato (PEDOT:PSS), 3,4-etilendioxitiofeno o un derivado del mismo o poli(3,4-etilendioxitiofeno) o un derivado del mismo o cualquier combinación de dos o más de los mismos, preferiblemente plata, oro, cobre, zinc o carbono, preferiblemente plata, oro, cobre o zinc o cualquier combinación de dos o más de los mismos, preferiblemente plata, oro o cobre o cualquier combinación de dos o más de los mismos, preferiblemente plata y/u oro, preferiblemente plata. La plata, el oro y el cobre son especialmente adecuados para la impresión. Se prefiere la plata por su facilidad de uso y coste.

- 40 Preferiblemente, la distancia entre el primer electrodo y el segundo electrodo de uno o cada uno del par de electrodos está en el intervalo de aproximadamente 0.1 µm a aproximadamente 40 µm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 1 µm a aproximadamente 30 µm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 4 µm a aproximadamente 20 µm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 5 µm a aproximadamente 15 µm. Estas distancias son adecuadas para detectar la resistencia eléctrica en la presente invención. Las distancias pequeñas son especialmente preferibles ya que aumentan la sensibilidad del sistema.

- 45 Preferiblemente, uno o cada uno del primer electrodo y/o uno o cada uno del segundo electrodo se imprimen, preferiblemente se imprimen mediante flexografía, impresión en hueco, impresión en offset, impresión serigráfica o impresión digital, preferiblemente se imprimen mediante flexografía o impresión en hueco, más preferiblemente se imprimen mediante flexografía. Esto permite que los sensores se reproduzcan de forma consistente y con un alto rendimiento. Es posible usar un mecanismo de impresión diferente para cada primer y segundo electrodo, sin embargo, para un procedimiento de fabricación eficiente, preferiblemente cada electrodo se imprime usando el mismo procedimiento de impresión.

- 50 Preferiblemente, la longitud de uno o cada uno de los primeros electrodos y/o uno o cada uno de los segundos electrodos está en el intervalo de aproximadamente 1 cm a aproximadamente 50 cm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 2 cm a aproximadamente 30 cm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 3 cm a aproximadamente 20 cm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 5 cm, a aproximadamente 15 cm. Tales longitudes son adecuadas para su uso en la presente invención. Esto equilibra el deseo de usar electrodos largos con el deseo de que estos ocupen el mínimo espacio. Se apreciará que la longitud del electrodo es la longitud resistiva, es decir, la longitud del electrodo si estuviera dispuesto en una sola línea sustancialmente recta.

- Preferiblemente, el ancho y el espesor de uno o cada uno del primer electrodo y/o uno o cada uno del segundo electrodo está cada uno independientemente en el intervalo de aproximadamente 3 nm a aproximadamente 1.5 μm , preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 5 nm a aproximadamente 1 μm , preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 10 nm a aproximadamente 0.5 μm , preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 100 nm a aproximadamente 300 nm. Tales anchos y espesores son adecuados para permitir la medición de la resistencia eléctrica.
- Preferiblemente, cada sensor de polímero semiconductor no comprende un tercer electrodo, en particular, cada sensor de polímero semiconductor no comprende un electrodo de compuerta. Preferiblemente, cada sensor de polímero semiconductor no tiene un transistor de efecto de campo.
- En una realización alternativa, cada sensor de polímero semiconductor comprende tres electrodos. Esto puede aumentar la sensibilidad del sensor ya que la presencia de un tercer electrodo, y en particular un electrodo de compuerta, reduce la resistencia del sensor. En esta realización, se mide la resistencia y no se mide la impedancia.
- Preferiblemente, uno o cada uno de los polímeros semiconductores es un polímero semiconductor orgánico, preferiblemente un polímero conjugado, preferiblemente un polímero conjugado dopado. Preferiblemente, uno o cada uno de los polímeros semiconductores comprende un polímero orgánico conjugado con cadenas laterales, en el que las cadenas laterales pueden estar conjugadas o no conjugadas. Preferiblemente, las cadenas laterales comprenden átomos de carbono y opcionalmente heteroátomos, tales como oxígeno, nitrógeno o azufre, o una combinación de dos o más de los mismos. Tales polímeros semiconductores son especialmente adecuados para su uso en la invención.
- Preferiblemente, uno o cada uno de los polímeros semiconductores tiene un peso molecular de aproximadamente 10,000 a aproximadamente 500,000. Tales pesos moleculares se imprimen fácilmente.
- Preferiblemente, al menos dos de los polímeros semiconductores comprenden un polímero semiconductor diferente, preferiblemente en el que cada uno de los polímeros semiconductores comprende un polímero semiconductor diferente. Una ventaja es que los polímeros semiconductores son diferentes, por lo que tienen una reacción distinta a los VOC. Esto permite producir múltiples huellas dactilares para su análisis.
- Preferiblemente, uno o cada uno de los polímeros semiconductores tiene un espesor de aproximadamente 1 nm a aproximadamente 100 μm , preferiblemente de aproximadamente 1 nm a aproximadamente 1 μm , preferiblemente de aproximadamente 2 nm a aproximadamente 100 nm, preferiblemente de aproximadamente 3 nm a aproximadamente 50 nm, preferiblemente de aproximadamente 10 nm a aproximadamente 30 nm. Tales espesores son suficientes para la presente invención.
- Preferiblemente, uno o cada uno de los polímeros semiconductores se imprimen, preferiblemente mediante impresión digital, impresión flexográfica, impresión en hueco, impresión serigráfica o impresión en offset, preferiblemente mediante impresión digital, preferiblemente mediante impresión por inyección de tinta. Esto permite que los sensores se reproduzcan de forma consistente y con un alto rendimiento. Preferiblemente, cada polímero semiconductor se imprime de la misma manera para lograr la eficiencia del procedimiento. Sin embargo, es posible usar diferentes técnicas de impresión para diferentes polímeros semiconductores.
- Las tintas de polímero semiconductor adecuadas que se pueden usar en la presente invención se pueden comprar en Sigma Aldridge u Ossila. Preferiblemente, las tintas de polímero semiconductor comprenden, F8BT - poli(9,9-dioctilfluoreno-alt-benzotiadiazol), F8T2 - poli(9,9-dioctilfluoreno-alt-bitiofeno), PBDD4T-2F - poli[[5,7-bis(2-etilhexil)-4,8-dioxo-4H,8H-benzo[1,2-c:4,5-c']ditiófeno-1,3-diilo][3,3'''-bis(2-etilhexil)-3'',4'-difluoro[2,2':5',2'':5'',2'''-cuatertiofeno]-5,5'''-diilo]], PDBPyBT - poli(2,5-bis(2-octildodecil)-3,6-di(piridin-2-il)-pirrolo[3,4-c]pirrol-1,4(2H,5H)-diona-alt-2,2'-bitiofeno), PNDI(2HD)2T - poli{[N,N'-bis(2-hexildecil)naftaleno-1,4,5,8-bis(dicarboximida)-2,6-diil]-alt-5,5'-(2,2'-bitiofeno)}, PTB7 - poli[[4,8-bis[(2-etilhexil)oxi]benzo[1,2-b:4,5-b']ditiófeno-2,6-diil][3-fluoro-2-[(2-etilhexil)carbonil]tieno[3,4-b]tiofenodil]], o PolyTPD - poli[N,N'-bis(4-butilfenil)-N,N'-bisfenilbencidina], o cualquier combinación de dos o más de los mismos.
- Preferiblemente, al menos uno de los polímeros semiconductores está dopado. Esto proporciona una forma eficiente de ajustar las propiedades del polímero semiconductor. Esto tiene la ventaja de que se puede comprar una tinta y luego cambiar las propiedades agregando uno o más dopantes a la tinta, preferiblemente en una cantidad de aproximadamente 0.01 % en peso a aproximadamente 25 % en peso, preferiblemente de 0.1 % en peso a 5 % en peso. Una tinta semiconductor de polímero dopado se considera diferente de la tinta semiconductor de polímero original. Si se utiliza un dopante diferente, nuevamente se tratará de una tinta semiconductor de polímero diferente.
- Los dopantes que se pueden usar para cambiar las propiedades de los polímeros semiconductores que se pueden usar en la presente invención se pueden comprar en Sigma Aldridge o Ossila. Preferiblemente, el dopante comprende tris(2-metoxietoxi)(vinil)silano, 2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8-tetracianoquinodimetano, 9,10-bis[N,N-di-(p-tolil)-amino]antraceno, 4,4'-bis(2,2-difenilvinil)bifenilo, 7,7,8,8-tetracianoquinodimetano, N,N'-

dimetilquinacridona, 4,4'-bis(2,2-difenilvinil)bifenilo, 8-hidroxiquinolinolato de litio o tris(2-(1H-pirazol-1-il)piridina)cobalto(III) tri[hexafluorofosfato] o cualquier combinación de dos o más de los mismos.

Preferiblemente, al menos un sensor de polímero semiconductor puede mostrar la presencia de alcoholes, aldehídos, arsénicos, cetonas, bencenoides, ácidos carboxílicos, éteres, ésteres, hidrocarburos, terpenos, alquenos, tiofuranos, alquinos, bromuros, nitrilos, cloruros, pirazinas y sulfuros, o cualquier combinación de dos o más de los mismos, preferiblemente ésteres, aldehídos, derivados de aldehído, alcoholes terciarios o terpenos, o cualquier combinación de dos o más de los mismos, preferiblemente ácido propanoico y ácido butírico, furfural, 5-(hidroximetil)furfural, (+/-)-Geosmina y 2-metilisoborneol, el terpeno, β -cariofileno, isopropanol, acetona, tolueno o cualquier combinación de dos o más de los mismos. Preferiblemente, los polímeros semiconductores se seleccionan para mostrar una reacción a diferentes VOC, de manera que un conjunto de resultados pueda brindar asesoramiento basado en una cantidad de VOC.

Preferiblemente, al menos uno de los sensores de polímero semiconductor puede mostrar la presencia de (+/-)-Geosmina y/o 2-metilisoborneol. Preferiblemente, al menos uno de los sensores de polímero semiconductor puede mostrar la presencia de actinobacterias, preferiblemente detectando la presencia de (+/-)-Geosmina y/o 2-metilisoborneol.

Preferiblemente, al menos uno de los sensores de polímero semiconductor puede mostrar la presencia de alquenos, cetonas, pirazinas o terpenos o cualquier combinación de dos o más de los mismos. Preferiblemente, al menos uno de los sensores de polímero semiconductor puede mostrar la presencia de bacterias, preferiblemente detectando la presencia de alquenos, cetonas, pirazinas o terpenos o cualquier combinación de dos o más de los mismos.

Preferiblemente, al menos uno de los sensores de polímero semiconductor puede mostrar la presencia de bencenoides, aldehídos, arsénicos, cloruros, nitrilos, tiofuranos, alquinos o bromuros o cualquier combinación de dos o más de los mismos. Preferiblemente, al menos uno de los sensores de polímero semiconductor puede mostrar la presencia de hongos, preferiblemente detectando la presencia de bencenoides, aldehídos, arsénicos, cloruros, nitrilos, tiofuranos o bromuros o cualquier combinación de dos o más de los mismos.

Preferiblemente el sustrato es plano.

Preferiblemente flexible significa que el sustrato puede proporcionarse en un rollo, preferiblemente en un lugar en el que el sustrato se pueda imprimir usando prensas de alimentación continua. Preferiblemente flexible significa que el sustrato tiene un espesor de menos de 250 μm , preferiblemente menos de 150 μm . Una ventaja de que el sustrato sea flexible es que durante la producción de la tira de sensores se puede usar un rollo de sustrato flexible y el sustrato flexible impreso se puede enrollar y almacenar hasta que sea necesario dividirlo en sensores individuales. Además, se reduce el peso de un sustrato flexible, lo que es mejor para el medio ambiente ya que se utiliza menos material polimérico por tira de sensor.

Preferiblemente, la tira de sensores comprende una capa de respaldo sobre una segunda superficie del sustrato flexible, en la que la segunda superficie se opone a la primera superficie, preferiblemente en la que la capa de respaldo comprende papel, tarjeta o una película polimérica, preferiblemente papel. La ventaja de una capa de respaldo es que le da rigidez estructural al sensor, lo que hace que sea menos probable que se dañe durante el uso o el transporte.

Preferiblemente, la tira de sensores comprende un marco, preferiblemente en la que el marco está dispuesto sustancialmente alrededor del exterior de la tira de sensores, preferiblemente en la que el marco es removible. Un marco puede proporcionar rigidez estructural a la tira de sensores. Es ventajoso estar en el exterior para dejar la mayor parte del sensor libre para su uso. Una ventaja adicional es que el marco sea desmontable, ya que puede reutilizarse para tiras de sensores posteriores.

Preferiblemente, el sustrato flexible comprende una película polimérica. Preferiblemente, el sustrato flexible comprende poliimida, polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno, cloruro de polivinilo, poliamida, poliestireno, policarbonato, polilactida, celulosa, almidón, papel, papel recubierto de cera, papel recubierto de plástico, películas de plástico laminadas o cualquier combinación de dos o más de los mismos, preferiblemente poliimida y/o polietileno, preferiblemente poliimida, preferiblemente poli(4,4'-oxidifenileno-piromelitimida) (Kapton®). Tales materiales tienen la ventaja de una deformación mínima bajo tensión durante la impresión, lo que ayuda a que la tira de sensores se fabrique de manera uniforme. Además, tales materiales son ligeros y tienen suficiente resistencia a la tracción.

Preferiblemente, el sustrato flexible tiene un espesor en el intervalo de aproximadamente 10 μm a aproximadamente 500 μm , preferiblemente de aproximadamente 20 μm a aproximadamente 250 μm , preferiblemente de aproximadamente 20 μm a aproximadamente 150 μm . Tales espesores permiten manipular fácilmente el sustrato, minimizando al mismo tiempo el peso del material usado. En una realización adicional, el sustrato puede tener un espesor mayor a aproximadamente 1 mm, tal como aproximadamente 1 mm a aproximadamente 5 mm.

- Preferiblemente, la tira de sensores comprende de aproximadamente 3 a aproximadamente 20 sensores de polímero semiconductor, preferiblemente aproximadamente 4 a aproximadamente 15 sensores de polímero semiconductor, preferiblemente aproximadamente 5 a aproximadamente 10 sensores de polímero semiconductor, preferiblemente aproximadamente 6 a aproximadamente 8 sensores de polímero semiconductor. Se trata de una cantidad apropiada de sensores de polímero semiconductor para equilibrar la sensibilidad del sistema con el deseo de minimizar los materiales utilizados en cada sensor.
- Preferiblemente, la longitud de la tira de sensores está en el intervalo de aproximadamente 1 cm, a aproximadamente 12 cm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 3 cm a aproximadamente 10 cm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 4 cm a aproximadamente 9 cm. Cuando se conectan varias tiras de sensores, la longitud se refiere a la longitud de una unidad repetitiva.
- Preferiblemente, el ancho de la tira de sensores está en el intervalo de aproximadamente 0.5 cm a aproximadamente 8 cm, preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 2 cm a aproximadamente 5 cm.
- Tales longitudes y anchos tienen el tamaño adecuado para la cantidad de sensores semiconductores de polímero.
- Preferiblemente, la tira de sensores es sustancialmente rectangular. Esto permite una fabricación eficiente con un desperdicio limitado de material de sustrato.
- Preferiblemente, se proporciona una pluralidad de sensores en un rollo. Preferiblemente, la primera superficie del sustrato flexible es la capa interna. Además, los sensores están protegidos por las capas posteriores de sensores. Esto es eficiente para el almacenamiento y la manipulación.
- Preferiblemente, cada sensor es separable de los otros sensores. Esto permite quitar un sensor a la vez. Preferiblemente, los sensores se pueden separar mediante un área perforada o una tira desprendible. Alternativamente, los sensores se separan mediante un corte, tal como, con un cuchillo o unas tijeras. Preferiblemente, los sensores están dispuestos en una sola línea en el rollo. Esto hace que sea más fácil dispensarlos.
- Preferiblemente se proporciona una pluralidad de sensores en un casete. Esto permite que las tiras de sensores se muevan a su posición en comunicación fluida con la cámara de muestreo cuando sea necesario. Luego, el casete puede mover la siguiente tira de sensores a su posición cuando sea necesario. Esto proporciona una manera sencilla de transportar y colocar las tiras de sensores.
- Preferiblemente, al menos la primera superficie de la tira de sensores está provista de una capa protectora, preferiblemente la capa protectora es una capa desprendible o una envoltura. Esto protege los sensores de la atmósfera hasta su uso.
- Preferiblemente, el sensor es un sensor de un solo uso. Esto proporciona resultados más precisos ya que la detección se lleva a cabo desde el mismo punto base. En particular, si un VOC se une irreversiblemente a un sensor reutilizable, los siguientes resultados se verán afectados por el VOC unido irreversiblemente. Sin embargo, en la presente invención esto no supone un problema, ya que cada vez se utiliza una nueva tira de sensores.
- Preferiblemente, el sistema comprende una pluralidad de tiras de sensores. Esto permite múltiples usos del sistema.
- Preferiblemente, el sistema comprende un marco para la tira de sensores. Esto permite que la tira de sensores se maneje más fácilmente.
- Preferiblemente, el aparato comprende además un sensor de temperatura y/o un sensor de humedad. Es ventajoso conocer la temperatura de la muestra de suelo y/o la humedad ya que éstas afectan el enfoque de comparación de patrones en la evaluación de los resultados usando nuestro software.
- Preferiblemente, el sistema comprende además una paleta, pala o espátula. Esto permite una fácil transferencia de una muestra de suelo a la cámara de muestreo.
- Preferiblemente, el sistema comprende además un cepillo. Esto permite limpiar la cámara de muestreo entre muestras.
- Preferiblemente, el sistema comprende además una bolsa. Esto se puede usar para almacenar y transportar el sistema.
- Preferiblemente, la tira de sensores de compuesto orgánico volátil (VOC) del suelo se proporciona dentro de un dispositivo de almacenamiento de tira de sensor; preferiblemente, en el que el dispositivo de almacenamiento de tira de sensores está sustancialmente sellado; y/o en el que el dispositivo de almacenamiento de tira de sensores es un casete.

Se debe entender que la tira de sensores de VOC del suelo es adecuada para detectar VOC en el suelo y/o detectar gases emitidos por el suelo.

La presente invención se refiere a un método de análisis de suelo que comprende:

- 5 a) proporcionar un aparato, en el que el aparato comprende una cámara de muestreo, una abertura de tira de sensores en la cámara de muestreo, una fuente de energía y un detector de resistencia eléctrica; una pantalla y/o almacenamiento de datos;
- b) proporcionar una tira de sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOC) del suelo,
en el que la tira de sensores comprende un sustrato flexible con una primera superficie y una matriz de sensores de polímero semiconductor dispuestos sobre la primera superficie,
- 10 en el que cada uno de los sensores de polímero semiconductor comprende un par de electrodos, en el que el par de electrodos comprende un primer electrodo y un segundo electrodo, en el que un polímero semiconductor está dispuesto entre el primer electrodo y el segundo electrodo;
- c) proporcionar una muestra de suelo,
- 15 d) colocar la tira de sensores sobre la abertura de la tira de sensores, en la que uno o cada uno de los sensores de polímero semiconductor están en comunicación fluida con la cámara de muestreo, en la que cada par de electrodos está conectado eléctricamente a la fuente de energía y al detector de resistencia eléctrica,
- e) colocar la muestra de suelo en la cámara de muestreo,
- f) accionar la fuente de alimentación para suministrar electricidad a la tira de sensores, y
- 20 g) detectar la resistencia eléctrica de uno o cada uno de los sensores de polímero semiconductor usando el detector de resistencia eléctrica para proporcionar una salida;
- h) transmitir la salida del detector de resistencia eléctrica a la pantalla y/o al almacenamiento de datos; enviar la salida para compararla con un conjunto de datos conocido y mostrar una salida de comparación en la pantalla y/o almacenarla en el almacenamiento de datos.
- 25 Esto proporciona un método sencillo de análisis de la salud del suelo. Esto permite visualizar o almacenar la salida.
- Preferiblemente, la tira de sensores se coloca antes de que la cámara de muestreo que contiene la muestra de suelo se mueva a la posición cerrada.
- Preferiblemente, el método comprende además
- 30 i) comparar la salida de cada sensor de polímero semiconductor con un conjunto de datos de referencia, preferiblemente usando un algoritmo de aprendizaje automático para buscar patrones en la salida.
- Esto permite comparar la huella digital VOC con datos anteriores y brindar asesoramiento sobre las diferencias.
- Preferiblemente, el método comprende además:
- 35 j) proporcionar asesoramiento sobre el cuidado del suelo basado en la etapa i), preferiblemente en el que el asesoramiento sobre el cuidado del suelo comprende ajustar el nivel de pH, el contenido de agua, el contenido de nitratos, la biomasa microbiana o el contenido de hongos, o cualquier combinación de dos o más de los mismos.
- Preferiblemente, la biomasa microbiana se puede aumentar proporcionando un fertilizante orgánico, preferiblemente estiércol o compost.
- 40 Preferiblemente el asesoramiento se proporciona en una pantalla. Preferiblemente, el asesoramiento se proporciona dentro de 1 hora desde el accionamiento de la fuente de energía, preferiblemente entre aproximadamente 2 minutos y aproximadamente 30 minutos, preferiblemente entre aproximadamente 4 minutos y aproximadamente 10 minutos, preferiblemente entre aproximadamente 5 minutos y aproximadamente 8 minutos.
- 45 Esto permite asesorar al usuario sobre cómo mejorar la condición del suelo. La comparación de la huella digital generada por cada sensor de polímero semiconductor con el conjunto de datos de referencia sugiere consejos que el usuario puede implementar. El asesoramiento en tiempo real es una ventaja de la invención.
- Preferiblemente, el conjunto de datos de referencia comprende una serie de resultados de los sensores de polímero semiconductor, combinados con otra información sobre el suelo, como el contenido de agua, la

humedad, la temperatura, los cultivos cultivados, la etapa de los cultivos, el rendimiento de los cultivos o la diversidad microbiana o cualquier combinación de dos o más de los mismos.

Preferiblemente, la etapa d) comprende además asegurar la tira de sensores, preferiblemente usando un dispositivo de seguridad de tira de sensores. Preferiblemente, el dispositivo de fijación de la tira de sensores está fijado a la carcasa. Preferiblemente, el dispositivo de fijación de la tira de sensores está fijado de forma pivotante a la carcasa. Preferiblemente, en el que el dispositivo de fijación de la tira de sensores es una palanca que se puede mover desde una posición abierta a una posición cerrada. Es ventajoso poder mantener la tira de sensores en su posición. Por lo general, el sistema se utilizará en exteriores, tal como en un campo, donde estará expuesto a los elementos, tal como el viento. Es ventajoso que la tira de sensores se mantenga en una posición tal que no se mueva sustancialmente ni salga volando. El objetivo de esto es garantizar que cada uno de los electrodos, tanto el primer como el segundo, estén conectados a las conexiones eléctricas adecuadas dentro del aparato.

Preferiblemente, la etapa c) comprende además calentar la muestra de suelo.

Es una ventaja calentar el suelo para liberar VOC de la muestra de suelo y/o liberar gases adsorbidos por las partículas del suelo.

Preferiblemente, la etapa d) comprende además insertar un dispositivo de almacenamiento de tira de sensores en el aparato; preferiblemente, en el que el dispositivo de almacenamiento de tira de sensores es un casete.

Preferiblemente, la etapa d) comprende además colocar la tira de sensores sobre la abertura de la tira de sensores mediante reemplazo automático y/o posicionamiento de la tira de sensores en comunicación fluida con la cámara de muestreo; preferiblemente, en el que el reemplazo automático es moviendo la tira de sensores entre al menos dos carretes y a través de la cámara de muestreo.

Preferiblemente, la etapa f) comprende aplicar aproximadamente 1 a aproximadamente 10 voltios, preferiblemente aproximadamente 3 a aproximadamente 8 voltios. Una ventaja es que se puede aplicar un voltaje bajo.

Preferiblemente, la etapa f) comprende aplicar corriente continua (DC). Es ventajoso requerir únicamente corriente continua. Esto simplifica el equipo necesario para proporcionar electricidad a la tira de sensores. Una ventaja de la invención es que se puede usar DC.

Alternativamente, la etapa f) comprende aplicar corriente alterna (AC).

Preferiblemente, el método se lleva a cabo a aproximadamente por encima de 10 °C. Si bien el método puede llevarse a cabo a temperaturas inferiores, es probable que los niveles de VOC sean inferiores.

Una ventaja adicional de la invención es que el suelo puede analizarse cuando tiene algún contenido de agua. Por lo tanto, no es necesario esperar a que se den condiciones climáticas particulares antes de llevar a cabo el análisis. Es preferible que el contenido volumétrico de agua del suelo sea de aproximadamente 1 % a aproximadamente 50 %. El contenido volumétrico de agua se puede calcular dividiendo el volumen de agua por el volumen del suelo (incluido el aire y el agua presentes). Se puede agregar agua a la muestra de suelo si el contenido volumétrico de agua de la muestra de suelo es menor que aproximadamente 1. La presente invención se refiere a un método para mejorar las condiciones del suelo, que comprende llevar a cabo el método de análisis de suelo descrito en el presente documento en las etapas a) a i), y actuar según los consejos de cuidado del suelo. Esto ayuda al usuario a tratar el suelo de manera que pueda aumentar el rendimiento de los cultivos. Esto proporciona al usuario asesoramiento en tiempo real sobre cómo mejorar la salud del suelo.

Descripción detallada de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones de ejemplo de la presente invención con referencia a las figuras adjuntas.

La figura 1 muestra un aparato 2 de la invención. El aparato 2 comprende una cámara 4 de muestreo. La cámara 4 de muestreo tiene forma de cajón 10 y se muestra en posición abierta. La cámara 4 de muestreo está lista para recibir la muestra de suelo. Se muestra una abertura 8 de tira de sensores ubicada encima de donde estará la cámara 4 de muestreo cuando esté en la posición cerrada. Un dispositivo 12 de fijación de la tira de sensores se muestra como una palanca y está en la posición abierta. Se muestra un dispositivo 14 de posición de la tira de sensores como una cavidad para recibir la tira 20 de sensores (no se muestra). La cavidad tiene el tamaño y la forma adecuados para recibir la tira 20 de sensores. Se muestra una carcasa 6 que contiene una fuente de alimentación (no se muestra) y un detector de resistencia eléctrica (no se muestra). Una pantalla 5 y/o un almacenamiento 3 de datos se pueden conectar al detector de resistencia eléctrica a través de Bluetooth, Wi-Fi, un sistema de comunicación inalámbrica móvil, un cable o una conexión eléctrica directa.

La figura 2 muestra un sistema 18 de la invención que incluye la pantalla 3 y/o un almacenamiento 3 de datos. El sistema se muestra con el aparato de la figura 1 y una tira 20 de sensores. El cajón 10 se muestra en la posición cerrada. La tira 20 de sensores se muestra posicionada en el dispositivo de posicionamiento de la tira de sensores, que se muestra como una cavidad. La tira 20 de sensores se coloca con los sensores 24 de polímero semiconductor posicionados con la primera superficie de la tira 20 de sensores sobre la abertura 8 de la tira de sensores, mirando hacia el interior de la cámara 4 de muestreo. Las conexiones 32 eléctricas se muestran conectadas y están conectadas a la fuente de alimentación (no se muestra) y al detector de resistencia eléctrica (no se muestra). El dispositivo de fijación de la tira de sensores 12 se muestra a medio camino entre la posición abierta y la posición cerrada. Durante su uso, se moverá para estar en contacto con la tira 20 de sensores.

La figura 3 muestra una tira 20 de sensores de la invención. La tira 20 de sensores tiene un sustrato 22 flexible con una matriz de sensores 24 de polímero semiconductor. En este ejemplo, se muestran seis sensores, pero son posibles otros números como se describe en el presente documento. Cada sensor 24 de polímero semiconductor se muestra conectado a las conexiones 32 eléctricas.

La figura 4 muestra un sensor 24 de polímero semiconductor ampliado de la invención. El sensor 24 de polímero semiconductor se muestra con un primer electrodo 26 y un segundo electrodo 28. El primer electrodo 26 y el segundo electrodo 28 se muestran en forma de dedos entrelazados. Como se muestra, el primer electrodo 26 y el segundo electrodo 28 tienen giros sustancialmente perpendiculares entre los dedos subsiguientes y los dedos son sustancialmente rectos. En cada sensor de polímero semiconductor, un polímero 30 semiconductor está dispuesto entre el primer electrodo 26 y el segundo electrodo 28.

La figura 5 muestra una sección transversal de un sensor 24 de polímero semiconductor de la invención. El sensor 24 semiconductor comprende un sustrato 22 flexible. Un polímero 30 semiconductor está dispuesto sobre la primera superficie 36 del sustrato 22 flexible y está dispuesto entre un primer electrodo 26 y un segundo electrodo 28. Las conexiones 32 eléctricas conectan el primer electrodo 26 y el segundo electrodo 28 a la fuente 60 de alimentación. Como se muestra la corriente I_{DS} fluye en el sentido de las agujas del reloj desde la fuente 60 de alimentación, al primer electrodo 26, a través del polímero 30 semiconductor orgánico, al segundo electrodo 28 y de vuelta a la fuente 60 de alimentación. La resistencia eléctrica entre el primer electrodo 26 y el segundo electrodo 28 se puede medir usando un detector de resistencia eléctrica (no mostrado).

La figura 6 muestra una sección transversal de una tira 40 de sensores de espectroscopia de impedancia de compuestos orgánicos volátiles (VOC) del suelo. La tira 40 de sensores se muestra como un transistor de efecto de campo y tiene un sustrato 42 flexible con un electrodo 50 de compuerta en la primera superficie 54 del sustrato 42 flexible. Una capa 44 aislante está dispuesta sobre el electrodo 50 de compuerta. Un electrodo 46 de fuente y un electrodo 48 de drenaje están dispuestos encima de la capa 44 aislante. Un polímero 62 semiconductor está dispuesto sobre la capa 44 aislante y entre el electrodo 46 fuente y el electrodo 48 de drenaje. La capa 44 aislante separa el electrodo 50 de compuerta del electrodo 46 de fuente, el electrodo 48 de drenaje y el polímero 62 semiconductor. Las conexiones 64 eléctricas conectan el electrodo 46 de fuente y el electrodo 48 de drenaje a la fuente 66 de alimentación. Como se muestra la corriente I_{DS} fluye en el sentido de las agujas del reloj desde la fuente 66 de alimentación, al electrodo 48 de drenaje, a través del polímero 62 semiconductor orgánico, al electrodo 46 fuente y de regreso a la fuente 66 de alimentación. Se suministra una fuente de corriente 70 alterna al electrodo 50 de compuerta. Un analizador 72 de respuesta de frecuencia mide la frecuencia de la I_{AC} . Además, la resistencia eléctrica entre el electrodo 46 fuente y el segundo electrodo 48 se puede medir usando un detector de resistencia eléctrica (no se muestra). Es necesario realizar dos mediciones y luego calcular la impedancia. Esto requiere una electrónica más complicada y más potencia de cálculo que la tira de sensores que se muestra en la figura 5. Además, la salida es más compleja que la del sensor de la figura 5.

La figura 7 muestra una realización adicional del aparato de la invención. El aparato 102 de la realización adicional comprende una cámara 104 de muestreo. La cámara 104 de muestreo tiene la forma de un cajón 110 y se muestra en posición abierta en la figura 7. El cajón 11 se puede mover dentro y fuera de la carcasa 106. La cámara 104 de muestreo se muestra en la figura 7 lista para recibir una muestra de suelo. El aparato 102 comprende además una carcasa 106 que contiene una fuente de alimentación (no mostrada), un motor paso a paso (no mostrado) y un detector de resistencia eléctrica (no mostrado). Una pantalla 105 y/o un almacenamiento 103 de datos se pueden conectar al detector de resistencia eléctrica a través de Bluetooth, Wi-Fi, un sistema de comunicación inalámbrica móvil, un cable o una conexión eléctrica directa. La carcasa 106 también puede comprender adicionalmente un elemento calefactor (no mostrado) para calentar el suelo en el cajón de suelo 110 para liberar los VOC y los gases adsorbidos por las partículas de la muestra de suelo.

Las tiras 120 de sensores se enrollan en un carrete 114 de casete dentro de un casete 115, como se muestra en la figura 8, el cual, en uso, se inserta en una cámara 101 de casete. Los sensores 124, en forma de una tira 120 de sensores, se mueven a su posición mediante un motor paso a paso (no mostrado) a través del acoplamiento extraíble del eje 112 de accionamiento del carrete de casete con el carrete 114 de casete. Se entiende que se pueden usar mecanismos de movimiento alternativos y medios de almacenamiento de tiras de

sensores alternativos para mover los sensores 124 automáticamente a la posición requerida frente a la cámara 104 de muestreo.

Durante el uso, para analizar una muestra de suelo, los sensores 124, en forma de una tira 120 de sensores, establecen contacto eléctrico con el aparato 102 para realizar un barrido del suelo y luego se mueven automáticamente con un nuevo sensor 124 en la tira 120 de sensores tomando su lugar. En uso, los conectores 132 eléctricos transportan la señal necesaria para que el sistema de conectores mueva la tira 120 de sensores según sea necesario.

La figura 8 muestra una vista explosionada de un casete 115 para su uso con la realización adicional del aparato de la invención, como se muestra en la figura 7. El casete 115 comprende una primera cámara 117 de alojamiento de carrete de casete, una segunda cámara 119 de alojamiento de carrete de casete, una tapa 121 de alojamiento de casete, una abertura 108 de sensor en el casete 115, un primer carrete 114 de casete, un segundo carrete de casete (no mostrado), guías 116 para colocar la tira 120 de sensores y los sensores 124. La tira 120 de sensores se muestra en la figura 8 incluyendo una tira corta de sensores 124; sin embargo, se entiende que en uso una tira 120 larga de aproximadamente 10-1000 o más sensores se enrolla en el carrete 114 de casete respectivo. La tira 124 de sensores comprende sensores 124 como se describe con respecto a la figura 3. En una realización preferida de la presente invención, el ancho de cada sensor 124 es de aproximadamente 1.5 cm y la longitud de cada sensor 124 es de aproximadamente 3 cm, teniendo la longitud del sustrato, es decir el espacio, entre cada sensor una longitud de aproximadamente 3 cm. En realizaciones alternativas, los sensores 124 se colocan más cerca entre sí para reducir la longitud de la tira 120 de sensores; por ejemplo, la longitud del sustrato entre cada sensor 124 es de entre aproximadamente 1 cm y aproximadamente 5 cm. En realizaciones alternativas, el ancho de cada sensor es de aproximadamente 1 cm y la longitud de cada sensor es de aproximadamente 2 cm. Se entiende que la tira 120 de sensores de la presente invención está cuidadosamente configurada para equilibrar la eficiencia de producción y lograr la sensibilidad requerida a los VOC y/o gases que se adsorben. Una tira de sensores que tenga una superficie reducida será más eficiente para la producción pero tendrá una sensibilidad reducida.

Antes de su uso, la tira 120 de sensores se puede empaquetar en un embalaje sellado que contenga nitrógeno para evitar la exposición de los sensores 124 al aire, oxígeno, humedad u otros contaminantes.

Durante el uso, una o más tiras 120 de sensores nuevas y sin usar se enrollan firmemente alrededor de un primer carrete 114 de casete, y el último sensor de la tira está unido a un segundo carrete de casete (no se muestra). De este modo, los nuevos sensores 124 en forma de una tira 120 de sensores se enrollan desde un carrete de casete a través de la abertura del sensor 108 y se mantienen en una posición de barrido, y posteriormente se enrollan firmemente en el otro carrete de casete a medida que se mueven automáticamente durante el uso. Los sensores 124, como parte de la tira 120 de sensores, pasan por la apertura 108 del sensor a través de las guías 116 para permitir que el sensor haga contacto eléctrico con el aparato, como se muestra en la figura 7. El enrollado apretado de la(s) tira(s) 120 de sensores alrededor de los respectivos carretes 114 de casete garantiza que se excluya el aire y la humedad de cada superficie del sensor para extender la vida útil de los sensores 124 en la tira 120 de sensores al protegerlos de la degradación por las condiciones atmosféricas.

Ejemplo

La invención se describirá ahora con referencia al siguiente ejemplo no limitativo.

Se utilizó una tira de sensores con una matriz de seis sensores de polímero semiconductor en un aparato de la invención para medir la salida de una primera muestra de suelo y una segunda muestra de suelo. Las muestras de suelo tenían diferentes composiciones. La tira de sensores se colocó sobre la abertura de la tira de sensores y la primera muestra de suelo se colocó en la cámara de muestreo. Se aplicó electricidad a la tira de sensores y se midió la resistencia eléctrica de cada sensor de polímero semiconductor durante al menos 5 minutos. Esto se repitió con una nueva tira de sensores para la segunda muestra de suelo. Los resultados se muestran en un gráfico de resistencia a lo largo del tiempo en la figura 9 para la primera muestra de suelo y en la figura 10 para la segunda muestra de suelo. Como se muestra en la figura 9, cada sensor de polímero semiconductor produjo un patrón diferente en comparación con los otros sensores de polímero semiconductor, lo que indica que cada sensor de polímero semiconductor tiene una respuesta diferente a los VOC de la primera muestra de suelo. Resultados análogos se muestran en la figura 10. Además, cada muestra de suelo produjo un gráfico diferente para un sensor de polímero semiconductor específico, es decir, S1 (sensor 1) en la figura 9 muestra un patrón diferente a S1 (sensor 1) en la figura 10 y así sucesivamente para cada uno de los seis sensores. Comparando estos patrones con un conjunto de datos de referencia, se pueden analizar los atributos del suelo. La presente invención utiliza un algoritmo de aprendizaje automático para comparar el patrón de cada sensor con un conjunto de datos conocido. Esto permite al usuario identificar características clave del suelo y recibir asesoramiento sobre cómo mejorar la calidad del suelo.

En esta memoria descriptiva se han descrito realizaciones de una manera que permite redactar una memoria descriptiva clara y concisa, pero se pretende y se apreciará que las realizaciones pueden combinarse o

separarse de diversas maneras sin apartarse de la invención. Por ejemplo, se apreciará que todas las características preferidas descritas en el presente documento son aplicables a todos los aspectos de la invención descrita en el presente documento y viceversa.

5 En esta memoria descriptiva, el término "aproximadamente" significa más o menos 20 %, más preferiblemente más o menos 10 %, incluso más preferiblemente más o menos 5 %, más preferiblemente más o menos 2 %.

En esta memoria descriptiva, el término "sustancialmente" significa una desviación de más o menos 20 %, más preferiblemente más o menos 10 %, aún más preferiblemente más o menos 5 %, más preferiblemente más o menos 2 %.

10 En esta memoria descriptiva, el término "uno o cada", preferiblemente significa al menos uno, preferiblemente cada uno.

Debe entenderse que diversos cambios y modificaciones a las realizaciones actualmente preferidas descritas en el presente documento serán evidentes para aquellos expertos en la técnica. Tales cambios y modificaciones pueden realizarse sin alejarse del alcance de la presente invención y sin disminuir sus ventajas concomitantes. Por lo tanto, se pretende que tales cambios y modificaciones queden cubiertos por las reivindicaciones adjuntas.

15

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (18) para analizar compuestos orgánicos volátiles (VOC) en el suelo que comprende un aparato (2; 102) y una tira (20; 40) de sensores de VOC del suelo,

5 en el que el aparato (102) comprende una cámara (104) de muestreo para recibir suelo, una abertura (8; 108) de tira de sensores en la cámara (4; 104) de muestreo para colocar la tira (20; 40) de sensores en comunicación fluida con la cámara (104) de muestreo, una fuente de energía y un detector de resistencia eléctrica,

en el que la tira (20; 40) de sensores se puede conectar eléctricamente a la fuente (60) de alimentación y al detector de resistencia eléctrica, y

10 en el que el sistema comprende además una pantalla (5; 105) y/o un almacenamiento (3; 103) de datos, en el que el detector de resistencia eléctrica está configurado para transmitir una salida a la pantalla (5; 105) y/o al almacenamiento (3; 103) de datos, y en el que el almacenamiento (3; 103) de datos está configurado para enviar la salida para compararla con un conjunto de datos conocido y para almacenar una salida de comparación, y la pantalla (5; 105) está configurada para mostrar la salida de comparación,

15 caracterizado porque la tira (20; 40) de sensores comprende un sustrato (42) flexible con una primera superficie (54) y una matriz de sensores (24; 124) de polímero semiconductor dispuestos sobre la primera superficie (54), en la que cada uno de los sensores (24; 124) de polímero semiconductor comprende un par de electrodos, en la que el par de electrodos comprende un primer electrodo (26; 46) y un segundo electrodo (28; 48), en la que un polímero (30; 62) semiconductor está dispuesto entre el primer electrodo (26; 46) y el segundo electrodo (28; 48).

20 2. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el aparato (2; 102) comprende además:

i. una carcasa (106), preferiblemente en la que la carcasa (106) comprende la cámara (104) de muestreo, preferiblemente en la que la carcasa (106) comprende además el detector de resistencia eléctrica y/o la fuente de alimentación, preferiblemente en la que la carcasa (106) comprende además el detector de resistencia eléctrica y la fuente de alimentación; y/o

25 ii. en el que la pantalla (105) y/o el almacenamiento (103) de datos se pueden conectar al detector de resistencia eléctrica a través de Bluetooth, Wi-Fi, un sistema de comunicación inalámbrica móvil, un cable o una conexión eléctrica directa, preferiblemente a través de Bluetooth, Wi-Fi o un sistema de comunicación inalámbrica móvil, preferiblemente a través de Bluetooth; y/o

30 en el que la pantalla (105) y/o el almacenamiento (103) de datos es un dispositivo electrónico personal (PED), preferiblemente el PED es un teléfono inteligente, una tableta, un teléfono móvil, un ordenador portátil o un cuaderno, preferiblemente un teléfono inteligente; y/o

35 iii. en el que el aparato (102) comprende además un dispositivo de fijación de la tira de sensores, preferiblemente en el que el dispositivo de fijación de la tira de sensores está unido a la carcasa (106), preferiblemente en el que el dispositivo de fijación de la tira de sensores está unido de forma pivotante a la carcasa (106), preferiblemente en el que el dispositivo de fijación de la tira de sensores es una palanca movable de una posición abierta a una posición cerrada; y/o

iv. en el que el aparato (102) comprende un calentador para calentar la cámara (104) de muestreo.

3. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el aparato (102) comprende además un dispositivo de almacenamiento de tiras de sensor; preferiblemente en el que el dispositivo de almacenamiento de tiras de sensores está sustancialmente sellado; y/o en el que el dispositivo de almacenamiento de tiras de sensores es un casete (115); y/o

40 en el que el aparato (102) comprende además al menos un mecanismo de movimiento para la sustitución y/o posicionamiento automático de la tira (20; 40) de sensores en comunicación fluida con la cámara (104) de muestreo; preferiblemente, en el que el mecanismo de movimiento comprende al menos dos carretes (114) para mover la tira (20; 40) de sensores entre ellos y a través de la cámara (104) de muestreo; opcionalmente, en el que el mecanismo de movimiento comprende un motor paso a paso y/o un dispositivo de posicionamiento de la tira de sensores.

45 4. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la cámara (104) de muestreo tiene una posición abierta y una posición cerrada, preferiblemente en el que la cámara (104) de muestreo es un cajón y el cajón es movable desde la posición abierta a la posición cerrada; y/o

50 en el que el aparato (102) comprende además un interruptor, en el que al accionar el interruptor se enciende la fuente de energía, preferiblemente en el que el interruptor se acciona cuando la cámara (104) de muestreo está en la posición cerrada; y/o

en el que la fuente de energía se apaga después de un período de tiempo predeterminado.

5. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el aparato (102) es un aparato portátil.

6. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la cámara (104) de muestreo tiene una capacidad máxima en un intervalo de aproximadamente 10 cm³ hasta aproximadamente 300 cm³; y/o

5 en el que la distancia entre el nivel del suelo cuando la cámara (104) de muestreo está llena a su capacidad máxima, y la tira (20; 40) de sensores, está en el intervalo de aproximadamente 0.5 cm a 5 cm, preferiblemente de aproximadamente 1 cm a aproximadamente 3 cm; y/o

10 en el que el espacio libre cuando la cámara (104) de muestreo está llena a su capacidad máxima y cuando la cámara (104) de muestreo está en la posición cerrada tiene un volumen en el intervalo de aproximadamente 3 cm³ hasta aproximadamente 50 cm³.

7. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que uno o cada uno de los pares de electrodos tienen forma de dedos entrelazados o espirales concéntricas; y/o

15 en el que uno o cada uno del primer electrodo (26; 46) y/o uno o cada uno del segundo electrodo (28; 48) comprende un metal, un óxido metálico, un polímero eléctricamente conductor, grafeno o carbono, preferiblemente, plata, oro, cobre, zinc, carbono, nanoplaquetas de grafeno, óxido de indio y estaño, poli(3,4-etilendioxitiofeno) sulfonato de poliestireno (PEDOT:PSS), 3,4-etilendioxitiofeno o un derivado del mismo o poli(3,4-etilendioxitiofeno o un derivado del mismo o cualquier combinación de dos o más de los mismos; y/o

en el que la distancia entre el primer electrodo (26; 46) y el segundo electrodo (28; 48) de uno o cada uno del par de electrodos está en el intervalo de aproximadamente 0.1 μm a aproximadamente 40 μm.

20 8. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que uno o cada uno del primer electrodo (26; 46) y/o uno o cada uno del segundo electrodo (28; 48) están impresos, preferiblemente impresos por flexografía, impresión en hueco, impresión en offset, impresión serigráfica o impresión digital, y/o

en el que uno o cada uno de los polímeros (30; 62) semiconductores están impresos.

25 9. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la longitud de uno o cada uno del primer electrodo (26; 46) y/o uno o cada uno del segundo electrodo (28; 48) está en el intervalo de aproximadamente 1 cm a aproximadamente 50 cm; y/o

en el que el ancho y el espesor de uno o cada uno del primer electrodo (26; 46) y/o uno o cada uno del segundo electrodo (28; 48) está cada uno independientemente en el intervalo de aproximadamente 3 nm a aproximadamente 1.5 μm; y/o

30 en el que uno o cada uno de los polímeros (30; 62) semiconductores es un polímero semiconductor orgánico; y/o

en el que uno o cada uno de los polímeros (30; 62) semiconductores tiene un peso molecular de aproximadamente 10,000 a aproximadamente 500,000.

35 10. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que al menos dos de los polímeros (30; 62) semiconductores comprenden un polímero semiconductor diferente; y/o

en el que uno o cada uno de los polímeros (30; 62) semiconductores tiene un espesor de aproximadamente 1 nm a aproximadamente 100 μm.

11. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que:

40 v) la tira (20; 40) de sensores comprende una capa de soporte sobre una segunda superficie del sustrato (42) flexible, en el que la segunda superficie se opone a la primera superficie (54), preferiblemente en el que la capa de soporte comprende papel, cartón o una película polimérica; y/o

vi) en el que la tira (20; 40) de sensores comprende un marco en el que el marco está dispuesto sustancialmente alrededor del exterior de la tira (20; 40) de sensores, preferiblemente en el que el marco es removible; y/o

45 vii) en el que el sustrato (42) flexible comprende poliimida, polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno, cloruro de polivinilo, poliamida, poliestireno, policarbonato, polilactida, celulosa, almidón, papel, papel recubierto de cera, papel recubierto de plástico, películas de plástico laminadas o cualquier combinación de dos o más de los mismos.

12. Un sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el sustrato (42) flexible tiene un espesor en el intervalo de aproximadamente 10 μm a aproximadamente 1 mm; y/o

en el que la tira (20; 40) de sensores comprende de aproximadamente 3 a aproximadamente 20 sensores (24; 124) de polímero semiconductor; y/o

en el que la longitud de la tira (20; 40) de sensores está en el intervalo de aproximadamente 1 cm a aproximadamente 12 cm; y/o

- 5 en el que el ancho de la tira (20; 40) de sensores está en el intervalo de aproximadamente 0.5 cm a aproximadamente 8 cm.

13. Un método de análisis de suelo que comprende:

- 10 a) proporcionar un aparato (102), en el que el aparato (102) comprende una cámara (104) de muestreo, una abertura (108) de tira de sensores en la cámara (104) de muestreo, una fuente de energía y un detector de resistencia eléctrica; una pantalla (105) y/o un almacenamiento (103) de datos;

b) proporcionar una tira (20; 40) de sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOC) del suelo,

- 15 en el que la tira (20; 40) de sensores comprende un sustrato (42) flexible con una primera superficie (54) y una matriz de sensores (24; 124) de polímero semiconductor dispuestos sobre la primera superficie (54), en el que cada uno de los sensores (24; 124) de polímero semiconductor comprende un par de electrodos, en el que el par de electrodos comprende un primer electrodo (26; 46) y un segundo electrodo (28; 48), en el que un polímero (30; 62) semiconductor está dispuesto entre el primer electrodo (26; 46) y el segundo electrodo (28; 48);

c) proporcionar una muestra de suelo,

- 20 d) colocar la tira (20; 40) de sensores sobre la abertura (108) de tira de sensores, en la que uno o cada uno de los sensores (24; 124) de polímero semiconductor están en comunicación fluida con la cámara (104) de muestreo, en la que cada par de electrodos está conectado eléctricamente a la fuente de energía y al detector de resistencia eléctrica,

e) colocar la muestra de suelo en la cámara (104) de muestreo,

f) accionar la fuente de alimentación para suministrar electricidad a la tira (20; 40) de sensores, y

- 25 g) detectar la resistencia eléctrica de uno o cada uno de los sensores de polímero semiconductor usando el detector de resistencia eléctrica para proporcionar una salida;

h) transmitir la salida del detector de resistencia eléctrica a la pantalla (105) y/o al almacenamiento (103) de datos; enviar la salida para compararla con un conjunto de datos conocido y mostrar una salida de comparación en la pantalla (105) y/o almacenarla en el almacenamiento (103) de datos.

- 30 14. Un método según la reivindicación 13, que comprende además:

i) usar un algoritmo de aprendizaje automático para buscar patrones en la salida; que opcionalmente comprende además:

- 35 j) proporcionar asesoramiento sobre el cuidado del suelo basado en la etapa i), preferiblemente en el que el asesoramiento sobre el cuidado del suelo comprende ajustar el contenido de materia orgánica del suelo, el nivel de pH, el contenido de agua, el contenido de nitratos, la biomasa microbiana o el contenido de hongos, o cualquier combinación de dos o más de los mismos.

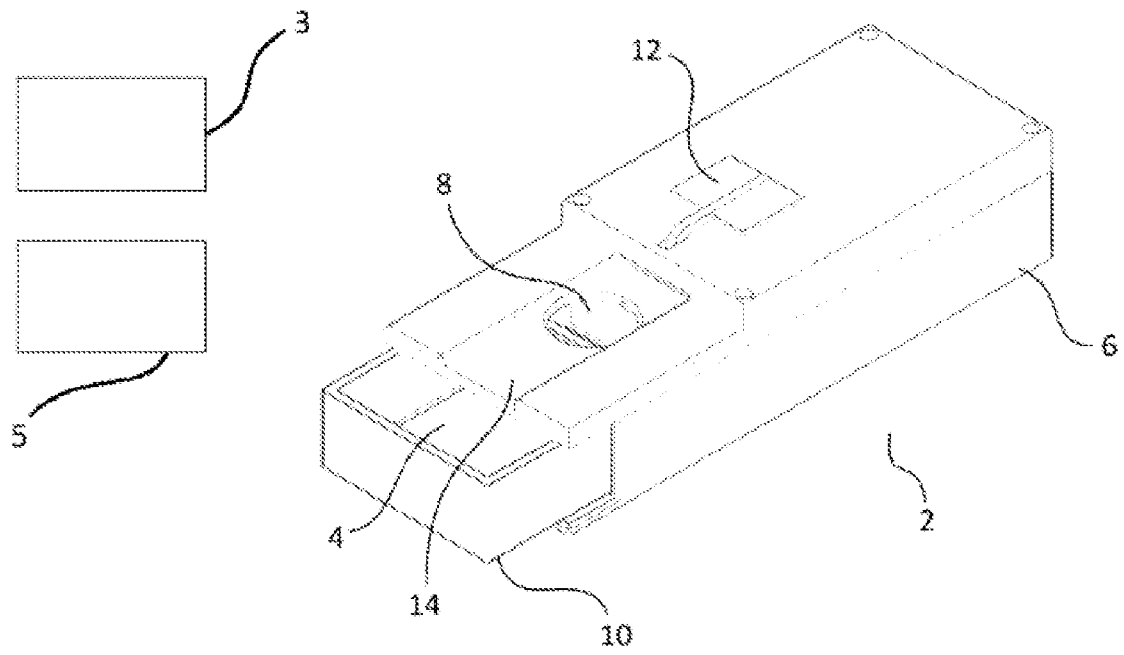


Figura 1

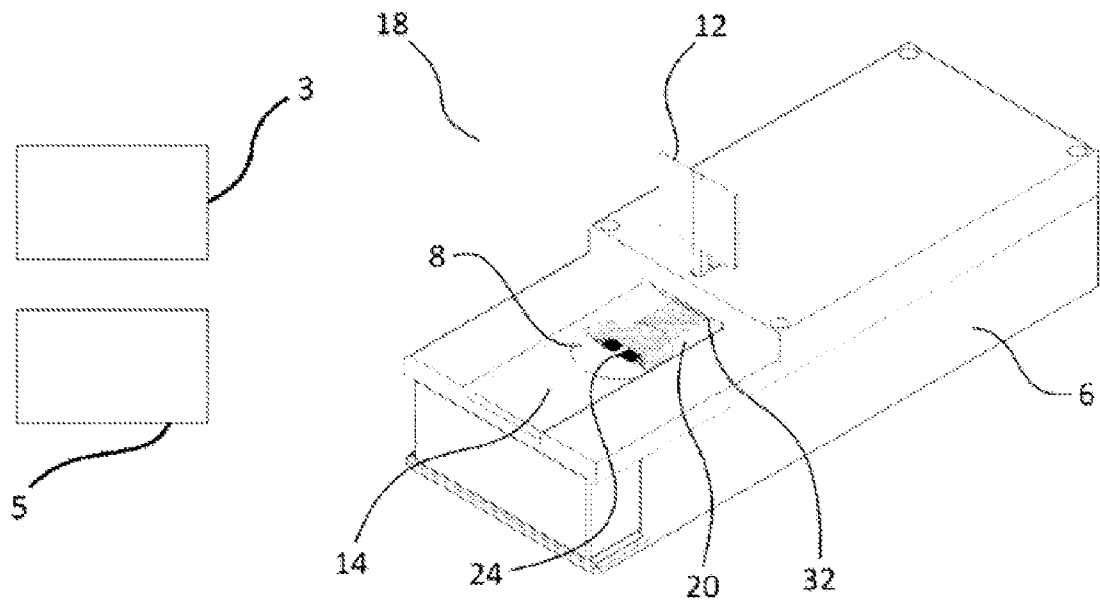


Figura 2

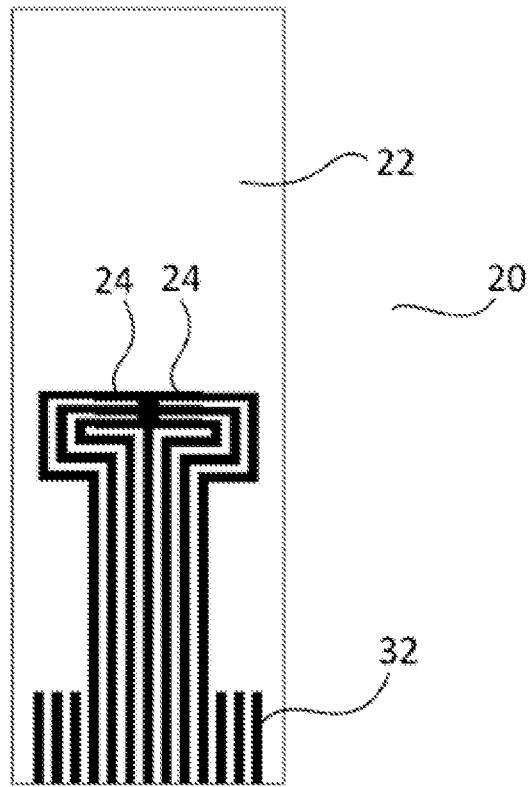


Figura 3

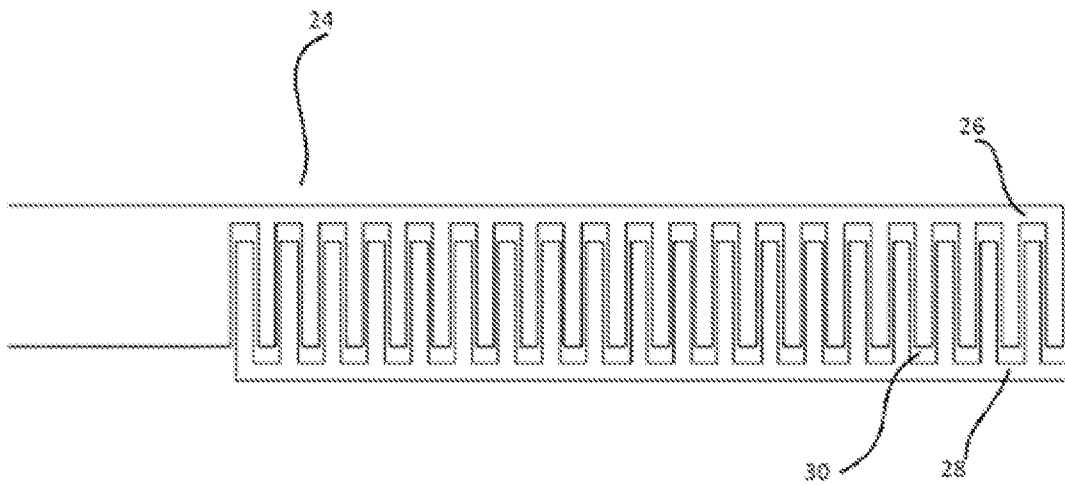


Figura 4

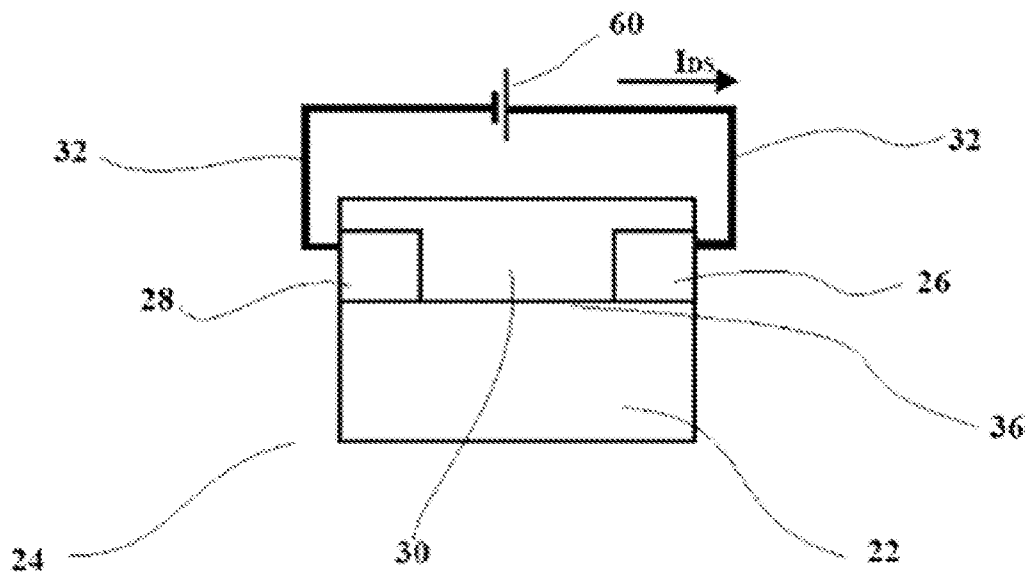


Figura 5

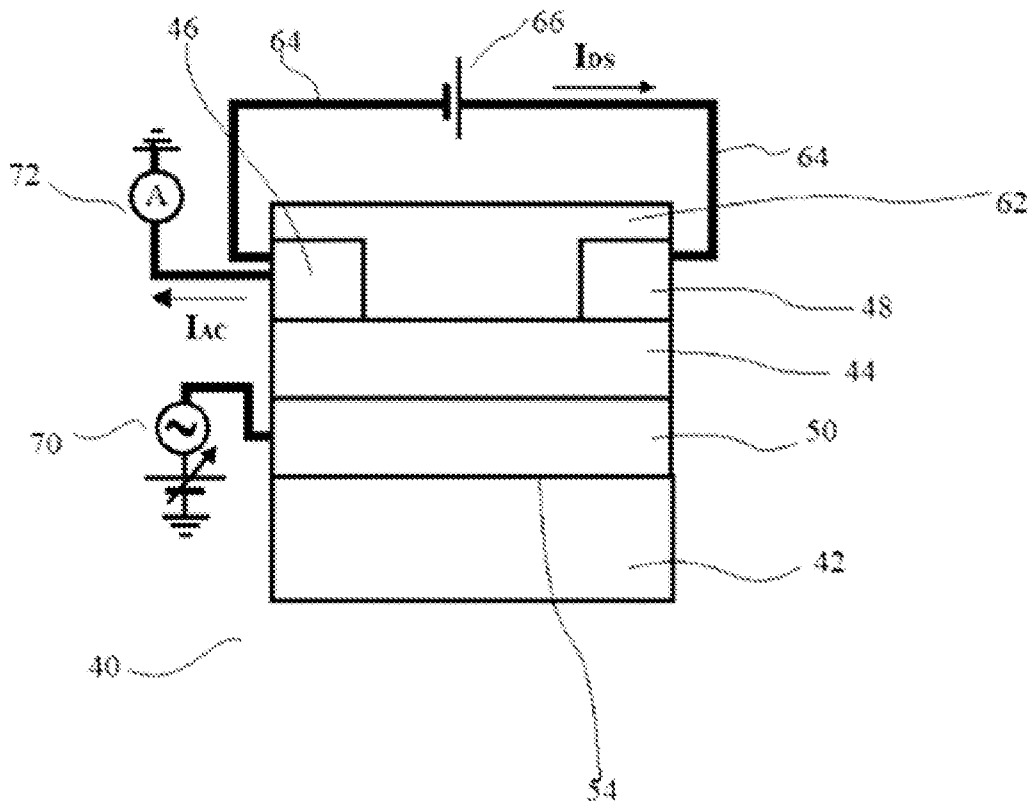


Figura 6

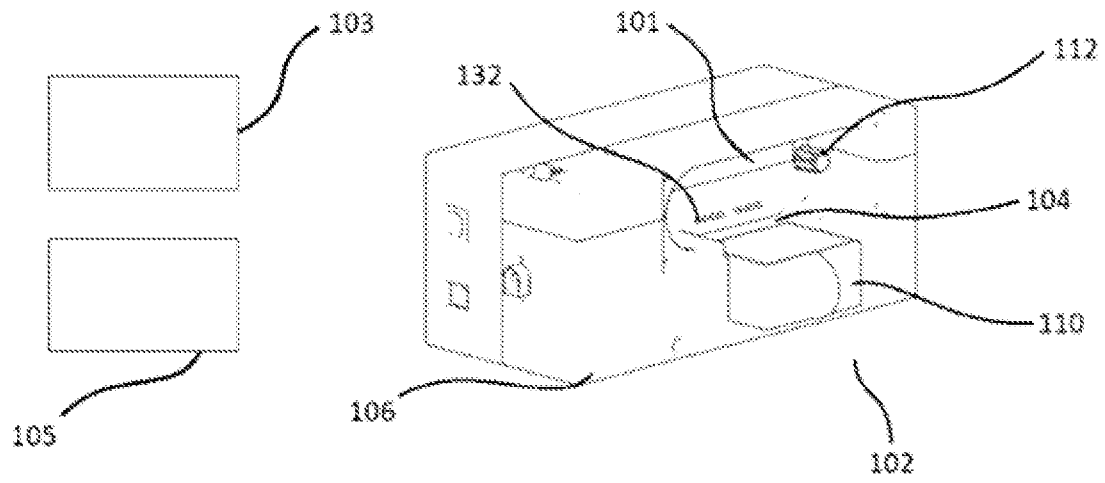


Figura 7

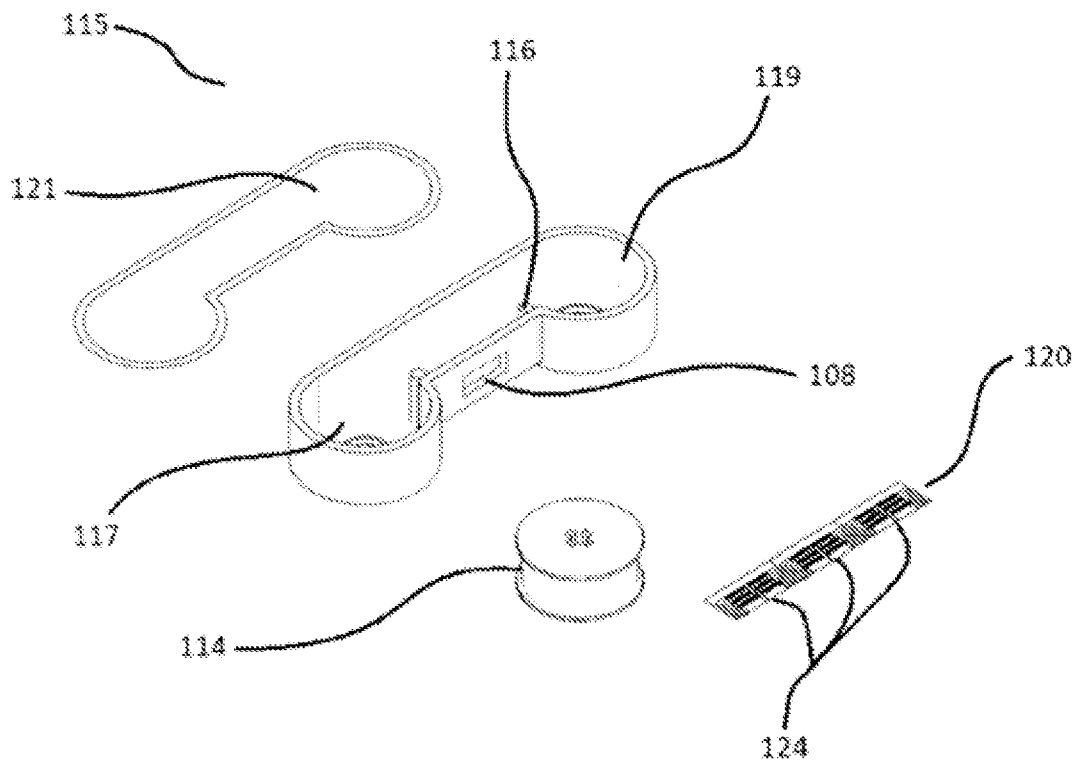


Figura 8

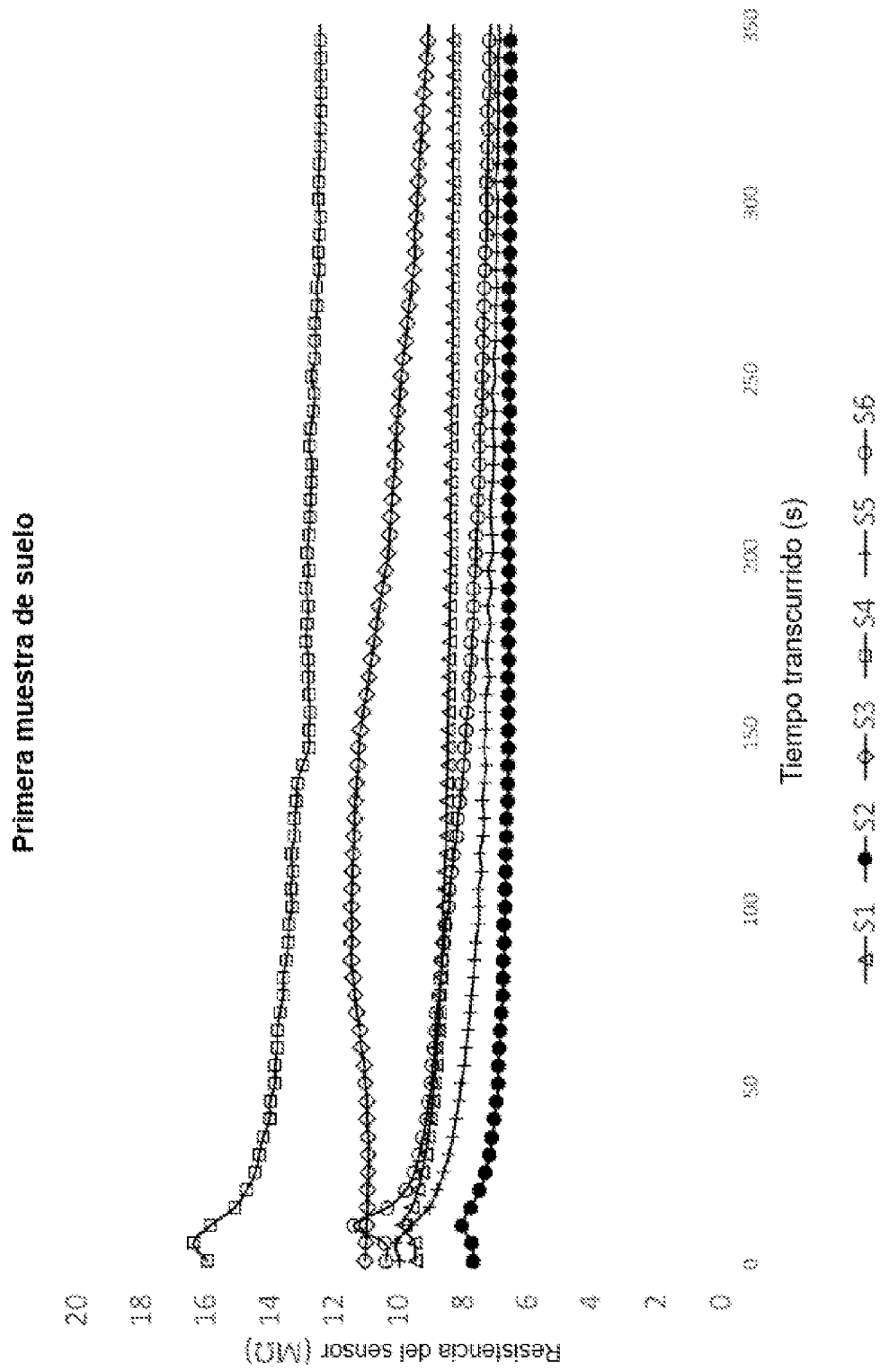


Figura 9

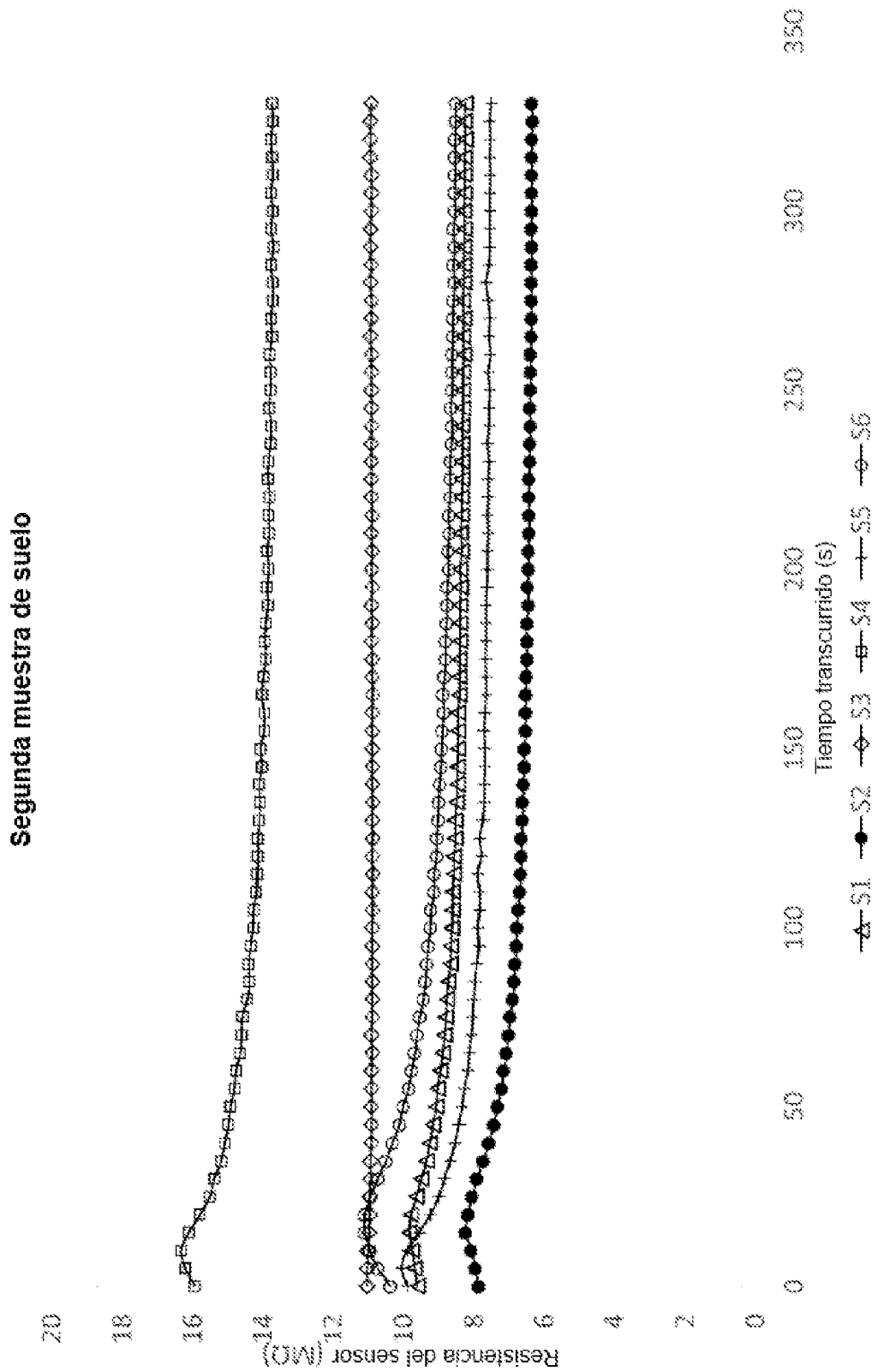


Figura 10