

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **3 010 580**

(51) Int. Cl.:

**A01G 7/00** (2006.01)  
**G01N 33/00** (2006.01)  
**A01G 24/00** (2008.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.09.2021 PCT/EP2021/075144**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **24.03.2022 WO22058289**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2021 E 21783408 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2025 EP 4213614**

---

(54) Título: **Aparato y método para controlar el entorno de crecimiento de una planta**

(30) Prioridad:

**17.09.2020 GB 202014673**

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

**03.04.2025**

(73) Titular/es:

**VIVENT SA (100.00%)  
Rue Mauverney 28  
1196 Gland, CH**

(72) Inventor/es:

**CARROLL, CALEB**

(74) Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 3 010 580 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

Aparato y método para controlar el entorno de crecimiento de una planta

- 5 La presente divulgación se refiere a un método, un aparato y un sistema para controlar el entorno de crecimiento de una planta.

Se sabe que las diferencias de potencial eléctrico, o potenciales de membrana, se mantienen a través de las membranas celulares en las plantas. Sin embargo, sigue siendo difícil evaluar el estado de salud de una planta con 10 un grado razonable de confianza basándose en una señal eléctrica obtenida de la planta. También es difícil conseguir que un usuario controle de forma fácil y flexible un entorno de crecimiento de la planta basado en el estado de salud evaluado de la planta.

15 El documento O 2017/032750 A1 desvela un método de procesamiento de señales que comprende: obtener una señal eléctrica a partir de una o más muestras vegetales; y procesar dicha señal eléctrica obtenida para generar datos de la planta. Los datos de la planta son datos indicativos de una característica de dichas una o más muestras vegetales. Dicha característica comprende al menos una de: una medida de la salud de dichas una o más muestras vegetales, una medida de la vitalidad de dichas una o más muestras vegetales y una reacción a los cambios ambientales de 20 dichas una o más muestras vegetales.

20 Por tanto, es necesario proporcionar un método mejorado, aparato y sistema para controlar un entorno de crecimiento de una planta en función de una señal eléctrica obtenida de la planta.

25 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para controlar el entorno de crecimiento de una planta, comprendiendo el método: obtener una señal eléctrica de la planta; generar, utilizando al menos un modelo de aprendizaje automático, datos de predicción basados en la señal eléctrica, en donde el al menos un modelo de aprendizaje automático se ha entrenado para evaluar al menos una característica de la planta y en donde los datos de predicción se basan en los resultados del al menos un modelo de aprendizaje automático e indican una evaluación de la al menos una característica de la planta; y aplicar un conjunto de reglas definido por el usuario a 30 los datos de predicción para generar una señal de control de la planta, en donde la señal de control de la planta está configurada para cambiar el entorno de crecimiento de la planta.

35 Aplicando a los datos de predicción un conjunto de reglas definido por el usuario, que se basan en los resultados del al menos un modelo de aprendizaje automático, el método permite al usuario definir el procesamiento realizado en los resultados del modelo de aprendizaje automático para generar una señal de control de la planta con el fin de cambiar un entorno de crecimiento de la planta. Esto contrasta con el método anterior de utilizar directamente el resultado del modelo de aprendizaje automático como desencadenante para cambiar el entorno de crecimiento de la planta. De este modo, el primer aspecto proporciona una forma más utilizable y versátil de utilizar el aprendizaje automático en el control del entorno de crecimiento de la planta.

40 El método puede ser un método implementado por ordenador.

La planta puede ser una única planta y la señal eléctrica puede comprender señales eléctricas obtenidas de la planta en múltiples momentos diferentes, y/o en múltiples partes diferentes de la planta.

45 Como alternativa, la planta puede pertenecer a un grupo de plantas, y pueden obtenerse señales eléctricas de cada una de las plantas. Los datos de predicción pueden generarse a partir de las señales eléctricas.

50 La señal eléctrica obtenida de la planta puede estar en el dominio del tiempo. La señal eléctrica puede obtenerse durante el control periódico o el control continuo de la planta.

55 El al menos un modelo de aprendizaje automático puede haber sido entrenado para detectar si está presente un factor estresante en una planta o en un entorno de crecimiento de una planta. El factor estresante puede ser cualquier factor que provoque un cambio en el entorno de crecimiento o en la fisiología de una planta. El factor estresante suele provocar en la planta una característica correspondiente (p. ej., déficit/exceso de luz, déficit/exceso de agua, déficit/exceso de nutrición, metabolismo lento/rápido, déficit/exceso de temperatura, déficit/exceso de CO<sub>2</sub>, déficit/estrés salino, infestación por insectos (por ejemplo, ataque de pulgones), presencia de patógenos, donde un patógeno puede ser un virus, hongo o bacterias, crecimiento prematuro o tardío, floración o maduración del fruto, etc.) 60 asociada a la naturaleza del factor estresante. Por lo tanto, las características de las plantas están asociadas a la presencia/ausencia de algún o algunos factores estresantes.

65 Los datos de predicción pueden ser los resultados directos del al menos un modelo de aprendizaje automático. Como alternativa, los datos de predicción pueden obtenerse procesando los resultados del al menos un modelo de aprendizaje automático.

65 Los datos de predicción pueden comprender una pluralidad de elementos de datos de predicción, cada uno de los

cuales se basa en un resultado del al menos un modelo de aprendizaje automático.

El al menos un modelo de aprendizaje automático puede comprender un primer modelo de aprendizaje automático que ha sido entrenado para acceder a una primera característica de la planta. Los datos de predicción pueden comprender unos primeros datos de predicción, que se basan en los resultados del primer modelo de aprendizaje automático e indican una evaluación de la primera característica de la planta.

Los primeros datos de predicción pueden comprender una pluralidad de primeros elementos de datos de predicción, cada uno de los cuales se basa en un resultado del primer modelo de aprendizaje automático e indica una evaluación de la primera característica de la planta. La aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario puede comprender la generación de un primer resultado de predicción basado en la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción o en un subconjunto de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción, en donde el conjunto de reglas definido por el usuario está configurado de modo que la señal de control de la planta se genere basándose en el primer resultado de predicción.

Es decir, el primer resultado de predicción puede generarse basándose en más de uno de los primeros datos de predicción. Esto es útil para amortiguar las fluctuaciones dentro de los primeros elementos de datos de predicción y mejora la precisión de la evaluación de la primera característica de la planta. Las fluctuaciones pueden ser el resultado de errores de predicción del primer modelo de aprendizaje automático, o de ruido en la señal eléctrica obtenida de la planta.

La pluralidad de primeros elementos de datos predicción puede ser generada por el primer modelo de aprendizaje automático en diferentes momentos.

25 La pluralidad de primeros elementos de datos de predicción pueden ser datos de series temporales.

La primera característica de la planta puede estar asociada a la presencia/ausencia de un primer factor estresante para la planta.

30 El primer modelo de aprendizaje automático puede comprender un modelo de regresión o un modelo de clasificación (es decir, un clasificador).

El primer modelo de aprendizaje automático puede comprender un clasificador.

35 El método puede comprender además la obtención de una pluralidad de primeras muestras de datos de la señal eléctrica a una primera frecuencia de muestreo. Generar los datos de predicción puede comprender generar, utilizando el primer modelo de aprendizaje automático, la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción basados en la pluralidad de primeras muestras de datos, respectivamente.

40 Al menos una de las primeras muestras de datos puede comprender un segmento de datos obtenido aplicando una función de ventana a la señal eléctrica.

La aplicación de una función de ventana a la señal eléctrica puede comprender multiplicar la función de ventana y la señal eléctrica. La función de ventana puede tener valores distintos de cero dentro de un intervalo de tiempo elegido y puede tener valores cero fuera del intervalo de tiempo elegido.

45 Los segmentos de datos incluidos dentro de las primeras muestras de datos consecutivas pueden solaparse parcialmente en el tiempo.

50 El primer resultado de predicción puede generarse basándose en una combinación de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción o un subconjunto de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción.

55 Se entiende que el término "combinación" significa que todos los elementos de datos de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción o un subconjunto de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción se tienen en cuenta en la generación del primer resultado de predicción. Los ejemplos de la "combinación" pueden incluir una suma, un promedio, una suma ponderada y/o un promedio ponderado de la pluralidad de primeros datos de predicción o de un subconjunto de la pluralidad de primeros datos de predicción.

60 El primer resultado de predicción puede comprender un promedio de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción o un subconjunto de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción.

65 Generando un promedio de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción o de un subconjunto de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción, pueden suavizarse las fluctuaciones a corto plazo dentro de la pluralidad de primeros datos de predicción, mejorando de este modo la precisión de la evaluación de la primera característica de la planta.

El primer resultado de predicción puede comprender un promedio móvil de un subconjunto de la pluralidad de primeros datos de predicción. Un tamaño del subconjunto para calcular el promedio móvil puede definirse basándose en una primera entrada del usuario.

- 5 Un promedio móvil también puede denominarse "promedio acumulado" o "promedio en funcionamiento". Dada una serie de números y un tamaño de subconjunto fijo, el primer elemento del promedio móvil se obtiene tomando el promedio del subconjunto fijo inicial de la serie de números. A continuación, se modifica el subconjunto mediante "desplazamiento frontal"; es decir, excluyendo el primer número de la serie e incluyendo el siguiente valor de la serie. Un promedio móvil es útil para suavizar las fluctuaciones a corto plazo y resaltar las tendencias a largo plazo. El umbral entre el corto plazo y el largo plazo viene definido por el tamaño del subconjunto.

10 Permitiendo al usuario fijar el tamaño del subconjunto, el usuario puede procesar de forma más eficiente los resultados del primer modelo de aprendizaje automático basándose en la naturaleza de la primera característica de la planta. Por ejemplo, si la primera característica de la planta está asociada a la presencia/ausencia de un factor estresante (p. ej., déficit de luz) que hace que la planta responda muy rápidamente, el tamaño del subconjunto puede ser fijado por el usuario en un valor relativamente pequeño; si la primera característica de la planta está asociada a la presencia/ausencia de un factor estresante (p. ej., presencia de patógenos) que hace que la planta responda mucho más lento, el tamaño del subconjunto puede ser fijado por el usuario en un valor grande.

- 15 20 La aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario puede comprender comparar el primer resultado de predicción con un primer valor umbral. El primer valor umbral puede definirse basándose en una segunda entrada del usuario. El conjunto de reglas definido por el usuario puede configurarse de modo que la señal de control de la planta se genere basándose en un resultado de la comparación.

25 30 35 El al menos un modelo de aprendizaje automático puede comprender un segundo modelo de aprendizaje automático que se ha entrenado para acceder a una segunda característica de la planta, y la segunda característica de la planta es diferente de la primera característica de la planta. Los datos de predicción pueden comprender unos segundos datos de predicción, que se basan en los resultados del segundo modelo de aprendizaje automático e indican una evaluación de la segunda característica de la planta.

40 45 50 Los segundos datos de predicción pueden comprender al menos un segundo elemento de datos de predicción que se basa en un resultado del segundo modelo de aprendizaje automático e indica una evaluación de la segunda característica de la planta.

Todas las características opcionales relacionadas con los "primeros datos de predicción" descritos anteriormente y las etapas de procesamiento de los mismos pueden aplicarse de forma similar a los "segundos datos de predicción".

La segunda característica de la planta puede estar asociada a la presencia/ausencia de un segundo factor estresante para la planta. El segundo factor estresante puede ser diferente del primero. El segundo modelo de aprendizaje automático puede comprender un modelo de regresión o un modelo de clasificación (es decir, un clasificador).

El segundo modelo de aprendizaje automático puede comprender un clasificador.

40 45 50 El segundo modelo de aprendizaje automático puede ser el mismo que el primero. Como alternativa, el segundo modelo de aprendizaje automático puede ser diferente del primero.

La aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario puede comprender la realización de un cálculo lógico basado en los primeros datos de predicción y los segundos datos de predicción. El cálculo lógico puede definirse basándose en una tercera entrada del usuario. El conjunto de reglas definido por el usuario puede configurarse de modo que la señal de control de la planta se genere basándose en un resultado del cálculo lógico.

55 60 Es decir, la señal de control de la planta puede generarse basándose en el resultado de dos modelos de aprendizaje automático diferentes para evaluar dos características distintas de la planta. El usuario define el cálculo lógico basándose en la naturaleza de las características de la planta evaluadas por el primer y segundo modelos de aprendizaje automático. Por ejemplo, si el primer modelo de aprendizaje automático evalúa si la planta presenta déficit hídrico y el segundo modelo de aprendizaje automático evalúa si la planta presenta déficit de temperatura, el usuario puede definir el cálculo lógico de forma que la señal de control de la planta para activar el suministro de agua se genere solo si la planta presenta déficit hídrico pero NO déficit de temperatura. Esto se debe a que es normal que algunos tipos de plantas tengan déficit hídrico a bajas temperaturas. El uso de dos modelos diferentes de aprendizaje automático permite al usuario obtener una perspectiva más completa de las características de la planta. Permitiendo además al usuario actuar, mediante el conjunto de reglas definido por el usuario, sobre los resultados del primer y segundo modelos de aprendizaje automático, el usuario puede controlar de forma más flexible y eficaz el entorno de crecimiento de la planta.

65 En general, se puede utilizar un cálculo lógico para determinar si una determinada condición es verdadera o falsa. La condición puede ser definida por la tercera entrada del usuario. La condición puede comprender un cálculo matemático

- definido por el usuario realizado sobre al menos algunos de los primeros datos de predicción y los segundos datos de predicción.
- 5 El cálculo lógico puede comprender al menos un conector lógico. Algunos ejemplos de conectores lógicos son Y, O, NO, SI, ENTONCES, FentoncesV (cambio de Falso a Verdadero), VentoncesF (cambio de Verdadero a Falso), etc.
- La realización del cálculo lógico se puede basar en el resultado de la comparación y los segundos datos de predicción.
- 10 La señal eléctrica antes mencionada puede ser una primera señal eléctrica, y la planta puede ser una primera planta. El método puede comprender además: obtener una segunda señal eléctrica de una segunda planta separada de la primera; generar, utilizando el al menos un modelo de aprendizaje automático, otros datos de predicción basados en la segunda señal eléctrica; y en donde la aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario comprende la aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario a los datos de predicción y a los datos de predicción adicionales para generar la señal de control de la planta, en donde la señal de control de la planta está configurada para cambiar el entorno de crecimiento de la primera planta y la segunda planta.
- 15 Aplicando el conjunto de reglas definido por el usuario a los datos de predicción y a los datos de predicción adicionales para generar la señal de control de la planta, el usuario es capaz de utilizar selectivamente uno o ambos datos de predicción y los datos de predicción adicionales para generar la señal de control de la planta con el fin de cambiar el entorno de crecimiento de la primera planta y la segunda planta. Esto proporciona al usuario más flexibilidad para controlar el entorno de crecimiento de las plantas y también mejora la robustez del sistema de control. Por ejemplo, si la señal eléctrica obtenida de una determinada planta tiene ruido o contiene una señal de error (p. ej., debido a un sensor defectuoso), los datos de predicción generados a partir de esa señal eléctrica no serían fiables. El conjunto de reglas definido por el usuario puede permitirle eliminar datos de predicción anómalos o datos de predicción que se desvían de otros datos de predicción, antes de que se genere la señal de control de la planta. De este modo, la señal de control de la planta no se vería sustancialmente afectada por una señal eléctrica problemática obtenida de la planta en particular y el entorno de crecimiento de la planta en particular aún puede controlarse correctamente mediante la señal de control de la planta.
- 20 30 La primera planta y la segunda planta pueden ser del mismo tipo (o especie).
- La aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario puede comprender la desestimación de uno de los datos de predicción y de los datos de predicción adicionales.
- 25 35 La aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario puede comprender combinar los datos de predicción y los datos de predicción adicionales. Más específicamente, la aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario puede comprender calcular un promedio de los datos de predicción y de los datos de predicción adicionales.
- 30 40 El método puede también comprender proporcionar al menos un dispositivo configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta.
- 45 50 El al menos un dispositivo puede comprender uno o más repetidores. Los repetidores pueden estar configurados para controlar un calentador, un ventilador, una iluminación, una bomba de agua, una bomba que suministre una sustancia química a un medio de cultivo de la planta y/o una bomba de plaguicida. Además, o como alternativa, el al menos un dispositivo puede comprender uno o más dispositivos inteligentes, tales como, un calentador inteligente, un ventilador inteligente, un dispositivo de iluminación inteligente, una bomba inteligente, etc. Por dispositivos inteligentes se entienden los aparatos electrónicos que suelen estar conectados a otros dispositivos o redes mediante protocolos inalámbricos y pueden funcionar en cierta medida de forma interactiva y autónoma. La señal de control de la planta puede estar configurada para cambiar un funcionamiento del al menos un dispositivo con el fin de cambiar el entorno de crecimiento de la planta. Cambiando el funcionamiento del al menos un dispositivo, se apreciaría que un modo operativo, un rendimiento y/o una potencia de salida del dispositivo pueden aumentar o disminuir, o el dispositivo puede encenderse o apagarse.
- 55 60 La señal de control de la planta puede transmitirse a un controlador del al menos un dispositivo. El controlador puede interpretar la señal de control de la planta y determinar la información de control contenida en la señal de control de la planta. El al menos un dispositivo puede configurarse para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la información de control determinada.
- 65 La señal de control de la planta puede transmitirse de forma inalámbrica al controlador.
- El método puede también comprender la difusión de la señal de control de la planta.
- Mediante la difusión de la señal de control de la planta, no se especifica el destinatario de la señal de control de la planta. Esto contrasta con la transmisión directa de señales punto a punto, que especifica un dispositivo concreto como destinatario y es más eficiente para comunicar la señal de control de la planta a múltiples dispositivos.

El método puede también comprender la aplicación de otro conjunto de reglas definido por el usuario al menos a un dispositivo, en donde el al menos un dispositivo está configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y el conjunto adicional de reglas definido por el usuario.

5 La aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario permite a este programar fácilmente el al menos un dispositivo y aporta flexibilidad adicional para que el usuario controle el entorno de crecimiento de la planta. Al configurar otro conjunto de reglas definido por el usuario, el usuario puede tener en cuenta las características de la planta, la finalidad del al menos un dispositivo y el contenido de la señal de control de la planta, con el fin de crear un entorno ideal para el crecimiento de la planta y reducir al mínimo el desperdicio de recursos.

10 10 El conjunto adicional de reglas definido por el usuario puede estar configurado para aplicar restricciones al funcionamiento del al menos un dispositivo.

15 15 El conjunto adicional de reglas definido por el usuario puede estar configurado para aplicar restricciones temporales al funcionamiento del al menos un dispositivo.

20 20 El conjunto adicional de reglas definido por el usuario puede estar configurado para permitir que el al menos un dispositivo ignore la señal de control de la planta si se cumple una condición predeterminada y en donde la condición predeterminada se establece por una cuarta entrada de usuario.

25 20 La condición predeterminada puede comprender una condición temporal.

25 25 La condición predeterminada puede comprender un periodo de tiempo particular de un día, de modo que el al menos un dispositivo ignore automáticamente la señal de control de la planta durante dicho periodo de tiempo particular.

30 25 Por ejemplo, si el al menos un dispositivo es un repetidor dentro de una bomba de agua que suministra agua a la planta, el conjunto adicional de reglas definido por el usuario puede establecerse para permitir que el repetidor ignore una señal de control de la planta que indique que la planta tiene déficit hídrico durante el mediodía. Esto se debe a que regar las plantas a pleno sol no es eficiente desde el punto de vista hídrico. Por lo tanto, permitiendo que el al menos un dispositivo ignore la señal de control de la planta durante un periodo de tiempo de un día, es posible reducir el desperdicio de recursos.

35 35 El conjunto adicional de reglas definido por el usuario puede estar configurado para permitir que el al menos un dispositivo ignore la señal de control de la planta durante un primer periodo de tiempo inmediatamente después de que el al menos un dispositivo se apague. El primer periodo de tiempo puede establecerse mediante una quinta entrada del usuario.

40 40 Es decir, después de la desconexión del al menos un dispositivo (manual o automática por la señal de control de la planta), el al menos un dispositivo debe esperar el primer periodo de tiempo antes de poder responder de nuevo a la señal de control de la planta. Esto puede ser útil porque evita que el al menos un dispositivo se vuelva a encender, debido a, por ejemplo, un fallo en la señal de control de la planta, evitando de este modo el desperdicio de recursos.

45 45 El conjunto de reglas definido por el usuario puede estar configurado para definir un periodo máximo de tiempo durante el que el dispositivo puede funcionar en estado ENCENDIDO. El periodo máximo de tiempo puede establecerse mediante una sexta entrada del usuario.

50 50 Es decir, el al menos un dispositivo se apagará automáticamente después de funcionar durante el periodo máximo de tiempo, independientemente de la señal de control de la planta. Esto puede ser útil al dar tiempo a que la planta responda al funcionamiento del al menos un dispositivo y evitar una hipercorrección del factor estresante presente en la planta o en el medio de cultivo de la planta. También protege el al menos un dispositivo del desgaste.

55 55 El al menos un dispositivo puede comprender un primer dispositivo y un segundo dispositivo separado del primero. La aplicación de un conjunto adicional de reglas definido por el usuario al menos a un dispositivo puede comprender aplicar una primera versión del conjunto adicional de reglas definido por el usuario al primer dispositivo y aplicar una segunda versión del conjunto adicional de reglas definido por el usuario al segundo dispositivo, en donde la primera versión y la segunda versión son definidas por separado por un usuario. El primer dispositivo puede configurarse para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y la primera versión del conjunto adicional de reglas definido por el usuario. El segundo dispositivo puede configurarse para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y la segunda versión del conjunto adicional de reglas definido por el usuario.

60 65 Es decir, diferentes dispositivos pueden ser configurados por un usuario para aplicar diferentes conjuntos de reglas locales a la misma señal de control de la planta, cambiando de este modo el entorno de crecimiento de la planta de diferentes maneras. En consecuencia, el usuario puede controlar de forma más flexible y eficaz el entorno de crecimiento de la planta.

- Se apreciará que la primera versión y la segunda versión del conjunto de reglas definido por el usuario pueden tener diferentes formatos, contener diferentes reglas definidas por el usuario y/o recibir entradas de usuario separadas.
- 5 El primer dispositivo y el segundo dispositivo pueden estar configurados para controlar diferentes aspectos del entorno de crecimiento de la planta.
- 10 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador que porta instrucciones legibles por ordenador dispuestas para hacer que un ordenador lleve a cabo un método según el primer aspecto.
- 15 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para controlar el entorno de crecimiento de una planta, comprendiendo el aparato: un procesador y un medio de almacenamiento legible por ordenador que contiene un programa informático que comprende instrucciones legibles por ordenador dispuestas para hacer que el procesador lleve a cabo un método según el primer aspecto; y un dispositivo de visualización, y en donde el procesador está configurado para generar una interfaz de usuario en el dispositivo de visualización, y la interfaz de usuario está configurada para recibir la entrada del usuario para generar el conjunto de reglas definido por el usuario.
- 20 El medio legible por ordenador puede almacenar además al menos un modelo de aprendizaje automático.
- 25 Por ejemplo, la interfaz de usuario puede estar configurada para recibir las entradas del usuario primera a tercera descritas anteriormente para generar el conjunto de reglas definido por el usuario.
- 30 El aparato puede comprender además un dispositivo de captura configurado para captar la señal eléctrica de la planta. De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema para controlar el entorno de crecimiento de una planta, comprendiendo el sistema: un aparato según el tercer aspecto, y al menos un dispositivo configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta.
- 35 El aparato puede estar configurado para aplicar un conjunto adicional de reglas definido por el usuario al menos a un dispositivo. El al menos un dispositivo puede estar configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y el conjunto adicional de reglas definido por el usuario. La interfaz de usuario puede estar configurada para recibir más entradas del usuario para generar el conjunto adicional de reglas definido por el usuario.
- 40 La interfaz de usuario puede estar configurada para realizar una o más de las siguientes acciones:  
mostrar una opción, que, cuando la selecciona un usuario, le permite controlar manualmente el al menos un dispositivo independientemente de la señal de control de la planta; y  
mostrar un mapa de zonas, que comprende una identidad del aparato, una identidad del al menos un dispositivo y parámetros operativos del al menos un dispositivo.
- 45 De acuerdo con una realización, se proporciona un método para controlar el entorno de crecimiento de una planta, comprendiendo el método: obtener una señal eléctrica de la planta; generar, utilizando al menos un modelo de aprendizaje automático, datos de predicción basados en la señal eléctrica, en donde el al menos un modelo de aprendizaje automático se ha entrenado para evaluar al menos una característica de la planta y en donde los datos de predicción se basan en los resultados del al menos un modelo de aprendizaje automático e indican una evaluación de la al menos una característica de la planta; generar una señal de control de la planta basada en los datos de predicción; y aplicar un conjunto de reglas definido por el usuario a al menos un dispositivo, en donde el al menos un dispositivo está configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y el conjunto de reglas definido por el usuario.
- 55 Todas las características relativas al "conjunto adicional de reglas definido por el usuario" descritas anteriormente en relación con los aspectos primero a cuarto se aplican igualmente al "conjunto de reglas definido por el usuario" de la realización anterior.
- 60 Cuando proceda, cualquiera de las características opcionales descritas anteriormente en relación con uno de los aspectos descritos en el presente documento podrá aplicarse a otro de los aspectos descritos en el presente documento.
- 65 Los términos "primero" a "sexto" utilizados para describir las entradas del usuario son meras etiquetas para permitir referencias claras a las entradas del usuario y de ninguna manera implican limitaciones temporales con respecto al orden en que se producen.
- A continuación se describen realizaciones, únicamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos,

en los que:

la figura 1 ilustra esquemáticamente un dispositivo de supervisión de la salud de una planta y un controlador de repetidores en uso con una planta;

5 la figura 2 es una ilustración esquemática de componentes ilustrativos que puede proporcionar el dispositivo de supervisión de la salud de la planta mostrado en la figura 1;

10 la figura 3 es una ilustración esquemática de componentes ilustrativos que puede proporcionar el controlador de repetidores mostrado en la figura 1;

15 la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de procesamiento llevadas a cabo por el dispositivo de supervisión de la salud de la planta para generar una señal de control de la planta basada en una señal eléctrica obtenida de una planta;

15 la figura 5 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de procesamiento llevadas a cabo por el dispositivo de supervisión de la salud de la planta para procesar la señal eléctrica obtenida de la planta antes de la aplicación de una técnica de aprendizaje automático;

20 la figura 6 ilustra una interfaz de usuario del dispositivo de supervisión de la salud de la planta que permite a un usuario introducir un conjunto de reglas definido por el usuario;

la figura 7 ilustra una interfaz de usuario del controlador de repetidores que permite a un usuario introducir otro conjunto 25 de reglas definido por el usuario;

25 la figura 8 ilustra un mapa de zonas que presenta el estado de los repetidores controlados por el controlador de repetidores;

30 la figura 9 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de procesamiento llevadas a cabo para generar un conjunto de datos de entrenamiento que se utilizará para entrenar un modelo de aprendizaje automático;

35 la figura 10 muestra (a) una forma de onda en el dominio del tiempo de la señal eléctrica obtenida de una planta que no padece un ataque de nematodos; y (b) una forma de onda en el dominio del tiempo de la señal eléctrica obtenida de una planta que padece un ataque de nematodos;

35 la figura 11 muestra (a) un espectrograma generado a partir de una señal eléctrica obtenida de una planta que no padece un ataque de nematodos; y (b) un espectrograma generado a partir de una señal eléctrica obtenida de una planta que padece un ataque de nematodos;

40 la figura 12 ilustra una interfaz de usuario ilustrativa del dispositivo de supervisión de la salud de la planta que permite a un usuario introducir un conjunto de reglas definido por el usuario en relación con la evaluación del ataque de nematodos en la planta;

45 la figura 13 ilustra una forma de onda de salida de un modelo de aprendizaje automático que se ha entrenado para evaluar si una planta padece un ataque de nematodos;

la figura 14 muestra (a) un espectrograma obtenido a partir de una señal eléctrica de una planta que no está en déficit hídrico; y (b) un espectrograma obtenido a partir de una señal eléctrica de una planta en déficit hídrico;

50 la figura 15 ilustra una interfaz de usuario ilustrativa del dispositivo de supervisión de la salud de la planta que permite a un usuario introducir un conjunto de reglas definido por el usuario en relación con la evaluación de si un grupo de plantas padece sequía;

55 la figura 16 ilustra una forma de onda de salida de un modelo de aprendizaje automático que se ha entrenado para evaluar si una planta padece sequía.

En las figuras, las mismas partes se indican con los mismos números de referencia. Se apreciará que los dibujos son meramente ilustrativos y no están dibujados a escala.

60 Como se muestra en la figura 1, un dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta está dispuesto para obtener señales eléctricas de una planta 2 y para supervisar la salud de la planta 2 basándose en la señal eléctrica. La planta 2 se cultiva en un medio de cultivo 3 contenido en un recipiente 4. El medio de cultivo 3 puede ser cualquier medio adecuado en el que la planta 2 pueda crecer. Por ejemplo, el medio 3 puede ser tierra, abono, agua o similares. El medio de cultivo 3 también puede denominarse "sustrato".

65 Un electrodo de referencia 5 se fija o inserta en un tallo de la planta 2 y se conecta, a través de un cable 6, al dispositivo

- 1 de supervisión de la salud de la planta. Un electrodo de captura 7 se fija a un pecíolo de una hoja 2a de la planta 2 y se conecta, a través de un segundo cable 8, al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Como alternativa, el electrodo de referencia 5 puede insertarse, o fijarse de otro modo, en una parte de la raíz de la planta 2 o en el medio de cultivo 3. La fijación del electrodo de referencia 5 al tallo/raíz de la planta 2 permite eliminar las incertidumbres 5 de la señal procedentes del medio 3. Por ejemplo, se ha observado que las variaciones en el nivel de humedad del medio 3 dan lugar a variaciones en la señal eléctrica detectada en el electrodo de referencia 5. Por lo tanto, es más preferible fijar el electrodo de referencia 5 al tallo/raíz de la planta 2 que introducirlo en el medio 3.
- En un ejemplo donde tanto el electrodo de referencia 5 como el electrodo de captura 7 están fijados a la planta 2, es 10 preferible fijar el electrodo de referencia 5 a una parte de la planta 2 que esté más cerca del medio de cultivo y fijar el electrodo de captura 7 a otra parte de la planta 2 que esté más alejada del medio de cultivo.
- Se apreciará que el electrodo de captura 7 puede comprender una pluralidad de electrodos de captura que pueden 15 fijarse a una pluralidad de plantas 2 o a múltiples partes diferentes de una única planta 2. De manera similar, el electrodo de referencia 5 puede comprender uno o varios electrodos de referencia. En un montaje ilustrativo, el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta está conectado a una pluralidad de electrodos de referencia 5 y a una pluralidad de electrodos de captura 7, y puede ser capaz de obtener señales eléctricas de más de una planta o de diferentes partes de la misma planta, al mismo tiempo.
- La figura 1 muestra además que la planta 2 se encuentra dentro de un entorno de crecimiento 50. El entorno de 20 crecimiento 50 puede ser una cámara de crecimiento, un invernadero o un campo. Un dispositivo 52 está configurado para cambiar el entorno de crecimiento 50. En un ejemplo, el dispositivo 52 comprende uno o varios repetidores, que están configurados para controlar un calentador, un ventilador o conducto de ventilación en el entorno de crecimiento 50, un dispositivo de iluminación que ilumina la planta 2, una bomba de agua que riega la planta 2, una bomba que suministre una sustancia química (p. ej., sal) al medio de cultivo 3, una bomba que aplica fungicida o insecticida a la 25 planta 2, un dispositivo que controle la humedad dentro del entorno 50 y/o un dispositivo que suministre nutrición a la planta 2. Además, o como alternativa, el dispositivo 52 puede comprender uno o más dispositivos inteligentes, tales como, un calentador inteligente, un ventilador inteligente, un dispositivo de iluminación inteligente, una bomba inteligente, etc.
- Como se describe con mayor detalle a continuación, el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta predice al 30 menos una característica de la planta 2 basándose en la señal eléctrica obtenida de la planta 2 utilizando al menos un modelo de aprendizaje automático (ML), y genera una señal de control de la planta aplicando un conjunto de reglas definido por el usuario a los datos de predicción que han sido generados por el al menos un modelo de ML. El conjunto de reglas definido por el usuario le permite personalizar el procesamiento realizado en los resultados del al menos un modelo de ML. La señal de control de la planta se utiliza para controlar automáticamente el entorno de crecimiento 50. En particular, el dispositivo de supervisión de la salud de la planta transmite la señal de control de la planta al dispositivo 35 52 a través de un controlador 100. La señal de control de la planta cambia automáticamente un funcionamiento del dispositivo 52 sin intervención humana, con el fin de cambiar el entorno de crecimiento 50 de la planta 2. Modificando el funcionamiento del dispositivo 52, se apreciaría que un modo operativo, un rendimiento y/o una potencia de salida del dispositivo 52 pueden aumentar o disminuir, o el dispositivo 52 puede encenderse o apagarse. En caso de que el dispositivo 52 sea un repetidor, la señal de control de la planta simplemente enciende o apaga el dispositivo 52.
- El controlador 100 está en comunicación con el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta a través de un 40 enlace de comunicación 53 y está en comunicación con el dispositivo 52 a través de un enlace de comunicación 55. Los enlaces de comunicación 53 y 55 pueden ser con cable o inalámbricos (p. ej., Internet, Bluetooth, etc.). En una realización preferida, los enlaces de comunicación 53 y 55 son inalámbricos, y el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta, el controlador 100 y el dispositivo 52 están dentro de la misma red de comunicación inalámbrica (p. ej., una red de área local inalámbrica (WLAN)). El controlador 100 interpreta la señal de control de la planta enviada 45 desde el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y determina qué información contiene la señal de control de la planta. Como se describe con mayor detalle a continuación, el controlador 100 permite a un usuario introducir un conjunto adicional de reglas definido por el usuario, que se utiliza para aplicar reglas (o restricciones) locales personalizadas al funcionamiento del dispositivo 52. Por lo tanto, el controlador 100 puede generar una señal de control del dispositivo, basándose en la señal de control de la planta y en el conjunto adicional de reglas definido por el usuario, 50 para controlar el funcionamiento del dispositivo 52. La señal de control del dispositivo se transmite al dispositivo 52 a través del enlace de comunicación 55. En este sentido, el funcionamiento del dispositivo 52 está controlado tanto por la señal de control de la planta generada por el dispositivo de supervisión de la salud de la planta como por el conjunto adicional de reglas definido por el usuario en el controlador 100. En un ejemplo en el que el dispositivo 52 es un 55 repetidor, el controlador 100 también puede denominarse controlador de repetidor.
- El dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta permite supervisar a corto o largo plazo las señales eléctricas 60 obtenidas de las plantas. En la figura 2 se ilustran los componentes ilustrativos del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Como se muestra en la figura 2, el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta comprende un módulo de adquisición de datos 10 y un controlador 12. Los cables 6, 8 se conectan a las entradas del módulo de adquisición de datos 10. El módulo de adquisición de datos 10 mide las diferencias de potencial de tensión presentes 65 entre cada par de electrodos 5, 7 en la planta 2. Las señales eléctricas pueden registrarse en el nivel de mV en función

del tiempo y pueden registrarse a una frecuencia de 240 Hz (es decir, 240 muestras por segundo) por el módulo de adquisición de datos 10. La frecuencia de registro del módulo de adquisición de datos 10 puede, por ejemplo, ser cualquier valor entre 1 Hz y 10 KHz.

- 5 Con más detalle, el módulo de adquisición de datos 10 comprende un filtro analógico 9, un amplificador 13 y un convertidor analógico-digital (ADC) 14. El filtro analógico 9 puede ser un filtro de paso bajo. En un ejemplo, el filtro analógico 9 puede ser un filtro de DC-30 Hz con un descenso suave de 6 dB/octava. Un filtro de este tipo es útil para minimizar oscilaciones, de modo que las formas de onda transitorias tengan una distorsión mínima en el dominio del tiempo. El amplificador 13 puede ser un amplificador de la instrumentación analógico, no commutable, y puede proporcionar un factor de amplificación de entre 0 y 100. En un ejemplo, el amplificador 13 proporciona un factor de amplificación de 4.

10 El ADC 14 puede tener un diseño de registro de aproximaciones sucesivas (SAR). En un ejemplo, el ADC 14 puede ser un ADC SAR de 18 bits capaz de procesar 100 000 muestras por segundo. En particular, el ADC 14 tiene una entrada de muestreo y retención y puede devolver un valor completo de 18 bits con signo en un intervalo de +/-2,048 V para cada entrada. El ADC 14 puede implementarse utilizando el ADC ADS8777 fabricado por Texas Instruments.

15 El controlador 12 comprende un procesador 12a que está configurado para leer y ejecutar instrucciones almacenadas en una memoria volátil 12b que adopta la forma de una memoria de acceso aleatorio. La memoria volátil 12b almacena instrucciones para su ejecución por el procesador 12a y datos utilizados por dichas instrucciones. Por ejemplo, durante el uso, los datos adquiridos por el módulo de adquisición de datos 10 pueden almacenarse en la memoria volátil 12b.

20 El controlador 12 comprende además un almacenamiento permanente 12c que puede tener la forma de una unidad de disco duro o una unidad de estado sólido. Los datos adquiridos por el módulo de adquisición de datos 10 pueden almacenarse en el almacenamiento permanente 12c. El controlador 12 comprende además una interfaz de I/O 12d a la que se conectan dispositivos de captura de datos y periféricos (p. ej., pantalla, dispositivo de entrada, etc.) utilizados en relación con el controlador 12. Como se muestra en la figura 2, la salida del módulo de adquisición de datos 10 se conecta a la interfaz de I/O 12d. En función de estas conexiones, se pueden procesar las diferencias de potencial detectadas en los electrodos 5, 7 y convertirse en una señal digital mediante el módulo de adquisición de datos 10 y posteriormente procesarse mediante el procesador 12a y almacenarse en el almacenamiento permanente 12c. Un indicador 12e también está conectado a la interfaz de I/O 102d. El indicador 12e muestra una interfaz de usuario que permite al usuario introducir conjuntos de reglas definidos por el usuario. Esto se describe con más detalle a continuación. El indicador 12e puede proporcionarse localmente al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta (p. ej., como una pantalla) o de forma remota desde el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Por ejemplo, un indicador asociado a un dispositivo independiente (p. ej., un dispositivo informático móvil o un monitor de sobremesa) puede utilizarse como indicador para el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Un dispositivo 12h de entrada del usuario también está conectado a la interfaz de I/O 12d. El dispositivo de entrada del usuario puede ser un ratón y/o un teclado. Como alternativa o adicionalmente, puede asociarse una pantalla táctil al indicador 12e para que funcione como dispositivo 12h de entrada del usuario. Una interfaz de red 12f permite conectar el controlador 12 a una red informática adecuada para recibir y transmitir datos desde y hacia otros dispositivos informáticos. El procesador 12a, la memoria volátil 12b, el almacenamiento permanente 12c, la interfaz de I/O 12d y la interfaz de red 12f están conectados entre sí por un bus 12g.

25 El controlador 12 puede estar conectado a un ordenador/servidor externo a través de la interfaz de red 12f. En ese caso, el ordenador/servidor externo puede procesar además las señales digitalizadas obtenidas por el controlador 12. En un ejemplo, el ordenador/servidor externo puede extraer y procesar las señales digitalizadas mediante un programa informático de tratamiento de datos. Además, o como alternativa, el controlador 12 puede estar conectado a un ordenador monoplaca a través de la interfaz de red 12f, de modo que las señales digitalizadas obtenidas por el controlador se recojan en el ordenador monoplaca.

30 35 40 45 50 55 55 En general, debido al ruido electromagnético terrestre natural y artificial, así como al bajo nivel de tensión de las variaciones potenciales producidas por la planta 2, normalmente se utiliza una jaula de Faraday para rodear la planta 2, los cables 6, 8 y el dispositivo de control de la salud de la planta 1 cuando se obtienen señales eléctricas de la planta 2. La jaula de Faraday protege la planta 2, los cables 6, 8 y el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta de fuentes externas de radiación electromagnética.

60 Para permitir el funcionamiento del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta fuera de una jaula de Faraday, pueden realizarse una o más de las siguientes implementaciones de diseño en el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta.

65 Se pueden proporcionar circuitos de protección contra descargas electrostáticas (ESD) a las entradas del módulo de adquisición de datos 10. El filtro analógico 9 pre-ADC puede estar diseñado para un sobreimpulso y oscilaciones mínimos, de modo que las formas de onda transitorias tengan una distorsión mínima en el dominio del tiempo. Como se ha descrito anteriormente, en un ejemplo, el filtro analógico puede ser un filtro de DC-30 Hz con un descenso suave de 6 dB/octava. Se puede seleccionar un amplificador de instrumentación de corriente de polarización de entrada ultrabaja para utilizarlo como amplificador 13. El filtro analógico 9, el amplificador 13 y el ADC 14 pueden

- implementarse normalmente en una placa de circuito impreso (PCB). En ese caso, la PCB puede diseñarse de manera que incluya múltiples planos de tierra (p. ej., al menos dos) conectados entre sí por una pluralidad de vías, garantizando de este modo trayectos cortos de retorno de la corriente eléctrica a tierra. Además, el ADC 14 puede diseñarse de forma que la señal analógica de entrada al ADC 14 se sobremuestree (es decir, se muestree a una frecuencia de muestreo significativamente superior a la frecuencia de Nyquist) y la señal de salida del ADC 14 se procese a continuación a través de un filtro digital y un diezmador. Asimismo, un filtro de corte digital, tal como un filtro de corte digital de 50 Hz/100 Hz o 60 Hz/120 Hz, puede incluirse para procesar la señal de salida del ADC 14.
- Además de las implementaciones de diseño descritas anteriormente para el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta, los cables 6, 8 pueden ser cables coaxiales dispuestos para conectar cada uno de los electrodos 5, 7 al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Los cables coaxiales pueden ser útiles para proteger los cables 6, 8 de fuentes externas de radiación electromagnética.
- Para facilitar la descripción, el cable coaxial conectado al electrodo de referencia 5 se denomina "cable de referencia" y el cable coaxial conectado al electrodo de captura 7 se denomina "cable de captura". Un cable coaxial suele constar de un conductor interno rodeado por una capa aislante tubular, rodeada además por un protector conductor externo tubular. Los conductores interiores de los cables coaxiales actúan como conductores 6, 8 y se utilizan para transferir las señales detectadas por los electrodos 5, 7 al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Los protectores conductores externos de los cables coaxiales actúan como protector 9 contra EM para proteger de interferencias electromagnéticas las señales detectadas por los electrodos 5, 7.
- El cable coaxial tiene una capacitancia entre su conductor interno y su protector conductor externo. La capacitancia del cable coaxial puede distorsionar las señales detectadas por los electrodos 5, 7. Por tanto, para compensar la capacitancia del cable coaxial de captura, puede proporcionarse un circuito de compensación con el cable de captura.
- Con más detalle, el cable coaxial de captura puede estar conectado eléctricamente al electrodo de captura 7 únicamente a través de su conductor interno. El conductor interno del cable de captura proporciona una señal eléctrica detectada por el electrodo de captura 7 al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. El circuito de compensación incluye un circuito intermedio con un factor de amplificación de "1" para el cable de captura. El circuito intermedio recibe una señal de tensión del conductor interno del cable de captura y emite una señal de tensión para conducir el protector conductor externo del mismo cable. De este modo, la diferencia de tensión entre el conductor interno y el protector conductor externo del cable coaxial de captura se mantiene sustancialmente a 0 voltios mediante el circuito intermedio. En consecuencia, la capacitancia del cable de captura no se carga ni se descarga en función de las fluctuaciones del nivel de señal y la distorsión causada por la capacitancia del cable de captura a las señales detectadas por los electrodos 5, 7 puede reducirse a un nivel insignificante. El circuito tampón puede, por ejemplo, adoptar la forma de un seguidor de tensiones. El seguidor de tensiones puede ser un circuito op-amp que tiene una retroalimentación negativa y una ganancia de tensión de "1".
- El cable de referencia puede estar conectado eléctricamente al electrodo de referencia 5 a través de su conductor interno y de su protector conductor externo. Es decir, el núcleo interno y el protector conductor externo del cable de referencia pueden estar eléctricamente acoplados entre sí con una diferencia de tensión sustancialmente de 0 voltios. El protector conductor exterior se conduce con una tensión de 0 voltios (es decir, tierra), para proporcionar una vía de baja impedancia para canalizar cualquier interferencia hacia tierra. El conductor interno del cable de referencia, que también está a una tensión sustancialmente de 0 voltios, proporciona una señal eléctrica al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. En esta configuración, el cable de referencia no requiere un circuito de compensación para compensar la capacitancia del cable.
- Como alternativa, el cable de referencia puede estar conectado al electrodo de referencia 5 únicamente a través de su conductor interno y, por consiguiente, puede tener su propio circuito de compensación, como se ha descrito anteriormente con referencia al cable de captura. En cualquiera de estas dos configuraciones para el cable de referencia, la diferencia de tensión entre el núcleo interno y el protector conductor externo del cable de referencia es sustancialmente cero. En consecuencia, la capacitancia del cable de referencia se carga o descarga durante la adquisición de la señal, por lo que su efecto sobre la señal eléctrica detectada por los electrodos 5, 7 puede considerarse insignificante. Por tanto, las distorsiones transitorias de las señales eléctricas obtenidas del electrodo de referencia 5 como resultado de la capacitancia del cable pueden considerarse insignificantes.
- La figura 3 ilustra esquemáticamente los componentes ilustrativos del controlador 100. Como se muestra en la figura 3, el controlador 100 comprende un procesador 102a, una memoria volátil 102b, un almacenamiento permanente 102c, una interfaz de I/O 102da, un indicador 102e, un dispositivo de entrada del usuario 102h, una interfaz de red 102f y un bus 102g. Estos componentes del controlador 100 son similares a los del procesador 12a, la memoria volátil 12b, el almacenamiento permanente 12c, la interfaz de I/O 12da, el indicador 12e, el dispositivo 12h de entrada del usuario, la interfaz de red 12f y el bus 12g del controlador 12 del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta, respectivamente.
- Mientras que en el ejemplo de la fig.1, el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y el controlador 100 se muestran como dos dispositivos separados, se apreciaría que pueden ser proporcionados por diferentes módulos

funcionales de un único dispositivo.

La figura 4 muestra las etapas de procesamiento para generar una señal de control de la planta. Las etapas de procesamiento pueden ser llevadas a cabo por el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y/o un ordenador/servidor externo que esté conectado al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta a través de la interfaz de red 12f.

En la etapa S01, se obtiene una señal eléctrica de la planta 2. En esta etapa, los datos brutos de la señal eléctrica recibida de la planta 2 pueden procesarse para reducir la dimensionalidad de los datos y extraer información significativa de la señal eléctrica. En particular, a partir de los datos brutos de la señal eléctrica pueden generarse muestras de datos que coincidan con la naturaleza de las variables de entrada de al menos un modelo de aprendizaje automático (ML) (al que se hace referencia en la etapa S02). Los datos brutos pueden obtenerse mediante los electrodos 5, 7 y los cables 6, 8, como se ha descrito anteriormente.

En la figura 5 se muestran etapas de subprocesamiento ilustrativas de la etapa S01, que incluyen tres fases, acondicionamiento de la señal (etapa S11), establecimiento de ventanas (etapa S12) y extracción de características (etapa S13). Las etapas S11 a S13 pueden ser llevadas a cabo por el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y/o un ordenador/servidor externo que esté conectado al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta a través de la interfaz de red 12f. Como alternativa, los datos brutos pueden almacenarse en el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta para su posterior procesamiento por cualquier dispositivo o dispositivos adecuados.

En la etapa S11, el acondicionamiento de la señal se realiza sobre los datos brutos de la señal eléctrica obtenida de la planta 2. Se pueden utilizar diferentes tipos de acondicionamiento de la señal (tanto en el dominio analógico como en el digital) para eliminar cualquier componente no deseado de la señal, o para mejorar otros componentes de la señal según sea necesario. En particular, el acondicionamiento de la señal puede comprender uno o más de: amplificar, filtrar, normalizar y/o realizar submuestreo de la señal eléctrica. Se apreciará que el acondicionamiento de la señal puede ser realizado en parte por el hardware proporcionado en el modelo 10 de adquisición de datos del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y/o dispositivos adecuados externos al dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Por ejemplo, el filtro analógico 9 del modelo 10 de adquisición de datos realiza el acondicionamiento de la señal en el dominio analógico para eliminar componentes de frecuencia no deseados, y el amplificador 13 del modelo 10 de adquisición de datos realiza el acondicionamiento de la señal en el dominio analógico amplificando la señal eléctrica detectada hasta un nivel adecuado para la digitalización. Además, como se ha descrito anteriormente, se puede proporcionar un filtro digital y un diezmador para realizar el acondicionamiento de la señal en la señal digitalizada emitida por el ADC 14, mediante filtrado digital y diezmado (es decir, submuestreo). El filtro digital puede ser un filtro de corte digital, tal como un filtro de corte digital de 50 Hz/100 Hz o 60 Hz/120 Hz. Asimismo, la señal eléctrica obtenida de diversas plantas o diversas partes de la misma planta puede normalizarse en la etapa S11. Se apreciará, sin embargo, que el uso de algún dispositivo acondicionador de señal concreto es opcional. Como alternativa, los artefactos de señal contenidos en los datos brutos pueden eliminarse manual o automáticamente. Después de la etapa S11, se obtienen datos acondicionados.

En la etapa S12, se muestrean los datos acondicionados. En un ejemplo, se toman muestras de datos de los datos acondicionados periódicamente (p. ej., a razón de una muestra cada 5 minutos). Cada muestra de datos puede incluir al menos un segmento de datos obtenido aplicando una función de ventana a los datos acondicionados. La función de ventana tiene valores distintos de cero dentro de un intervalo de tiempo elegido y tiene valores cero fuera del intervalo de tiempo elegido. Por tanto, multiplicando la función de ventana y los datos acondicionados, se obtiene un segmento de datos en el dominio del tiempo.

En un ejemplo, los segmentos de datos incluidos dentro de las muestras de datos consecutivas pueden solaparse parcialmente en el tiempo. Esto puede lograrse permitiendo que el tamaño de la ventana de la función de ventana sea mayor que el intervalo de tiempo entre muestras de datos consecutivas. Por ejemplo, si las muestras de datos se toman a razón de una muestra cada 2 minutos, el intervalo de tiempo entre muestras de datos consecutivas es de 2 minutos, pero el tamaño de la ventana de la función de ventana puede ser de 10 minutos y, en este sentido, las muestras de datos consecutivas pueden tener un 80 % de los datos superpuestos.

En la etapa S13, el procesamiento de datos se realiza en cada muestra de datos obtenida en la etapa S12 para transformar las muestras de datos en datos procesados que pueden proporcionarse como datos de entrada a al menos un modelo de ML. Se apreciará que la forma particular del procesamiento de datos llevado a cabo en la etapa S13 depende de las variables de entrada del al menos un modelo de ML en la etapa S02. Es decir, las muestras de datos obtenidas en la etapa S12 se procesan en la etapa S13 para generar datos que coincidan con los tipos de las variables de entrada del al menos un modelo de ML.

A continuación se ofrecen dos ejemplos del tratamiento de datos.

En un ejemplo, en la etapa S13, cada muestra de datos obtenida en la etapa S12 se procesa para extraer rasgos característicos del segmento de datos contenido en la muestra de datos. Los rasgos característicos extraídos pueden proporcionarse como datos de entrada al menos a un modelo de ML.

Por ejemplo, de cada segmento de datos se extraen 26 rasgos característicos. Los 26 rasgos pueden incluir: rasgos estadísticos simples (es decir, mín, máx, media, varianza, asimetría, curtosis y recorrido intercuartílico), parámetros de Hjorth (es decir, movilidad y complejidad), exponente de Hurst generalizado, entropía de ondículas (es decir, Shannon y logarítmica) y la estimación de la potencia de cada color de ruido (es decir, blanco, rosa, marrón, azul y morado) contenidos en el segmento de datos respectivo. Además, puede realizarse descomposición de ondículas en cada segmento de datos a más de un nivel, y las características estadísticas simples (mín, máx, promedio) de los coeficientes extraídos en al menos un nivel de la descomposición de ondículas se pueden calcular. En un ejemplo, se puede emplear un programa informático de procesamiento de datos (p. ej., Matlab) para realizar la descomposición de ondículas a ocho niveles en cada segmento de datos, y los coeficientes en tres de los ocho niveles, p. ej., nivel 1 (frecuencias altas), nivel 4 (frecuencias medias) y nivel 8 (frecuencias bajas), se puede extraer. A continuación, se calculan los valores mín, máx y promedio de los coeficientes (p. ej., los coeficientes de aproximación y/o de detalle) extraídos en cada uno de los tres niveles, lo que da lugar a 9 rasgos característicos en total. La descomposición de ondículas es una transformada de ondícula discreta de varios niveles y puede aplicarse utilizando la función "wavedec" del programa informático Matlab. Realizar la descomposición de ondículas a varios niveles suele requerir varios niveles de análisis de ondículas.

En un ejemplo alternativo, en la etapa S13, cada muestra de datos se procesa para obtener datos de espectrograma del segmento de datos incluido dentro de la muestra de datos. Los datos del espectrograma pueden proporcionarse como datos de entrada al menos a un modelo de ML. Como se ha descrito anteriormente, el segmento de datos incluido dentro de las muestras de datos obtenidas en la etapa S12 están en el dominio del tiempo. Los datos del espectrograma están en el dominio de la frecuencia e indican las amplitudes de los componentes de frecuencia contenidos en el segmento o segmentos de datos. Se pueden utilizar transformadas de Fourier para generar los datos del espectrograma a partir de las muestras de datos.

Volviendo a la figura 4, en la etapa S02, se generan datos de predicción basados en la señal eléctrica obtenida en la etapa S01, utilizando al menos un modelo de ML. El al menos un modelo de ML se puede haber descargado al almacenamiento permanente 12c del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta, desde un servidor remoto a través de la interfaz de red 12f. El al menos un modelo de ML puede comprender un modelo de regresión y/o un modelo de clasificación.

El al menos un modelo de ML se ha entrenado para evaluar al menos una característica de una planta basada en una señal eléctrica obtenida de la planta. En un ejemplo, el al menos un modelo de ML se puede haber entrenado para detectar si está presente un factor estresante en la planta 2 o en el entorno de crecimiento 50 de la planta 2. El factor estresante puede ser cualquier factor que provoque un cambio en el entorno de crecimiento o en la fisiología de una planta. El factor estresante suele provocar en la planta una característica correspondiente (p. ej., déficit/exceso de luz, déficit/exceso de agua, déficit/exceso de nutrición, metabolismo lento/rápido, déficit/exceso de temperatura, déficit/exceso de CO<sub>2</sub>, déficit/estrés salino, infestación por insectos (por ejemplo, ataque de pulgones), presencia de patógenos, donde un patógeno puede ser un virus, hongo o bacterias, crecimiento prematuro o tardío, floración o maduración del fruto, etc.) asociada a la naturaleza del factor estresante. Por lo tanto, las características de las plantas están asociadas a la presencia/ausencia de algún o algunos factores estresantes. Se describe un ejemplo de entrenamiento del modelo de ML en la solicitud de patente de GB 1903652.4 del solicitante, solicitud de patente de los EE. UU. 16/821 213 y solicitud de patente europea 20195796.6, cuya descripción pertinente se reproduce a continuación con referencia a la figura 9.

La señal eléctrica obtenida de la planta 2 en la etapa S01 proporciona datos de entrada al menos a un modelo de ML. En un ejemplo, los rasgos característicos extraídos de las muestras de datos de la señal eléctrica, que se obtuvieron en la etapa S13, se introducen en el al menos un modelo de ML como datos de entrada. En otro ejemplo, los datos del espectrograma de las muestras de datos de la señal eléctrica, que se obtuvieron en la etapa S13, se introducen en el al menos un modelo de ML como datos de entrada. El al menos un modelo de ML, a su vez, genera datos de salida indicativos de una evaluación de al menos una característica de la planta. Los datos de salida del al menos un modelo de ML pueden considerarse los "datos de predicción" que indican una evaluación de la al menos una característica de la planta. Adicionalmente, los datos de salida del modelo de ML pueden seguir procesándose para generar los "datos de predicción". Los datos de predicción pueden comprender una pluralidad de elementos de datos de predicción, cada uno de los cuales se genera (basándose en un resultado del modelo de ML) por cada muestra de datos obtenida de la señal eléctrica en la etapa S12. Por lo tanto, en caso de que se tomen muestras de datos de las señales eléctricas periódicamente, el modelo de ML genera una serie de datos de predicción correspondientes en distintos momentos.

En la etapa S03, se aplica un conjunto de reglas definido por el usuario a los datos de predicción para generar una señal de control de la planta.

A continuación se describe un ejemplo del conjunto de reglas definido por el usuario con referencia a la figura 6. La figura 6 muestra una interfaz de usuario visualizada en el indicador 12e del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. La interfaz de usuario permite a un usuario introducir un conjunto de reglas definido por el usuario a través del dispositivo 12h de entrada del usuario del controlador 12.

Como se muestra en la figura 6, el usuario ha creado un conjunto de reglas llamado "Prueba" (como se muestra en la entrada 31). El conjunto de reglas "Prueba" incluye 4 reglas etiquetadas como "1", "2", "3", "4" en la columna 33 de la interfaz. En la regla "1", el usuario ha seleccionado "MODELO 1, CAR 1" a través del menú desplegable bajo el encabezado "Modelo, categoría", como se muestra en la columna 34. Seleccionando "MODELO 1, CAR 1", el usuario ha seleccionado una característica particular llamada "CAR 1" de un modelo de ML particular "MODELO 1". La característica "CAR 1" puede corresponder a una característica de la planta que debe evaluar el modelo "MODELO 1". Además, el usuario ha introducido un valor "10" bajo el encabezado "Recuento" de la columna 35 y ha seleccionado un valor "70 %" bajo el encabezado "Verdadero" de la columna 36. El "MODELO 1" es un ejemplo de modelo de aprendizaje automático que se ha entrenado para evaluar más de una característica de una planta. Por lo tanto, seleccionando la característica "CAR 1" del modelo, el usuario ha seleccionado una característica correspondiente de la planta que debe ser evaluada por el ML "MODELO 1". El resultado del modelo "MODELO 1" con la característica seleccionada "CAR 1" es un ejemplo de los "datos de predicción" que indica una evaluación de la al menos una característica de la planta.

En un ejemplo, el modelo "MODELO 1" es un clasificador y el resultado del clasificador también puede denominarse valor de probabilidad de clasificación que se encuentra en el intervalo de 0,00 a 1,00. Por ejemplo, un valor de probabilidad de clasificación de 1,00 puede indicar que está presente un factor estresante en la planta 2 o en el entorno de crecimiento 50 de la planta 2, mientras que un valor de probabilidad de clasificación de 0,00 puede indicar que no está presente un factor estresante. Para un clasificador bien entrenado, los valores de probabilidad de clasificación generados son 0 o 1 o muy próximos a 0 o 1. El parámetro "Recuento" es el número de valores de probabilidad de clasificación que se utilizarán para el promedio, mientras que el parámetro "Verdadero" se utiliza para especificar un umbral para el promedio, por encima del cual se considera que se cumple la regla (es decir, la regla es verdadera). En el ejemplo de la regla "1", el valor "Recuento" introducido de "10" significa que cada vez que el modelo "MODELO 1" realice una nueva clasificación que coincide con la característica "CAR 1", el valor de probabilidad de clasificación generado se sumará a los 9 valores de probabilidad de clasificación anteriores y, a continuación, se calculará un promedio de los 10 valores de probabilidad de clasificación. El valor "Verdadero" seleccionado del "70 %" significa que la media de los 10 últimos valores de probabilidad de clasificación debe ser igual o superior al 70 % para que la regla "1" se considere verdadera. En otras palabras, dentro de la regla "1", el usuario ha definido que se calcule un promedio móvil de 10 salidas consecutivas del modelo seleccionado "MODELO 1" con la característica "CAR 1" y que el promedio móvil calculado se compare con un valor umbral seleccionado del 70 % para determinar si la regla "1" es verdadera o falsa.

Como se ha descrito anteriormente, las muestras de datos consecutivas de la señal eléctrica (las obtenidas en la etapa S12 de la figura 5) que proporcionan datos de entrada al modelo de ML pueden solaparse parcialmente. Cada valor de probabilidad de clasificación emitido por el modelo de ML se genera basándose en una de las muestras de datos respectivas. Con muestras de datos consecutivas parcialmente solapadas, se espera que, para un clasificador bien entrenado, los valores de probabilidad de clasificación generados formen conglomerados de 0 o 1 y que no haya fluctuaciones repetidas dentro de un conglomerado concreto. El tamaño del conglomerado puede ser menor que el valor de "Recuento" introducido por el usuario y, en consecuencia, un promedio móvil de un subconjunto de los resultados del modelo puede ser menor que 1. Por lo tanto, el valor umbral se selecciona entre un intervalo del 0 % al 100 %.

Un promedio móvil también puede denominarse "promedio acumulado" o "promedio en funcionamiento". Dada una serie de números y un tamaño de subconjunto fijo, el primer elemento del promedio móvil se obtiene tomando el promedio del subconjunto fijo inicial de la serie de números. A continuación, se modifica el subconjunto mediante "desplazamiento frontal"; es decir, excluyendo el primer número de la serie e incluyendo el siguiente valor de la serie. En el ejemplo de la regla "1", el usuario ha establecido que el subconjunto para calcular el promedio móvil tenga 10 valores y puede modificar el tamaño del subconjunto cambiando el valor concreto introducido bajo la cabecera "Recuento". En general, un promedio móvil es útil para suavizar las fluctuaciones a corto plazo y resaltar las tendencias a largo plazo. Las fluctuaciones a corto plazo en el resultado de un modelo de ML pueden deberse a errores de predicción del modelo o a ruido en la señal eléctrica obtenida de la planta 2. El cálculo del promedio móvil del resultado del modelo de ML es útil para amortiguar las fluctuaciones a corto plazo del resultado y para mejorar la precisión de la predicción proporcionada por el modelo de ML.

Seleccionando un valor mayor bajo la cabecera "Recuento" (es decir, estableciendo un subconjunto mayor para calcular el promedio móvil), el promedio móvil tiende a resaltar las tendencias a más largo plazo. Permitiendo al usuario fijar el tamaño del subconjunto, el usuario puede procesar más eficientemente el resultado del modelo de ML basándose en la naturaleza de la característica de la planta evaluada por el modelo de ML. Por ejemplo, si el "MODELO 1, CAR 1" evalúa la presencia/ausencia de un factor estresante (p. ej., déficit de luz) que provoca una respuesta muy rápida de la planta, el tamaño del subconjunto puede ser fijado por el usuario en un valor relativamente pequeño; si el "MODELO 1, CAR 1" evalúa la presencia/ausencia de un factor estresante (p. ej., la presencia de un patógeno) que hace que la planta responda a una velocidad mucho más lenta, el tamaño del subconjunto puede ser fijado por el usuario en un valor grande.

Si el usuario no está interesado en calcular la media de los valores de salida del modelo "MODELO 1" con la

característica "CAR 1", sino que desea obtener los valores de salida en su forma original, el usuario puede introducir simplemente el valor "1" bajo la cabecera "Recuento" de la columna 35.

Las reglas "2", "3" y "4" del conjunto de reglas ilustrativo "Prueba" son similares a la regla "1" descrita anteriormente.  
 5 El usuario puede actualizar o eliminar cada una de las reglas "1" a "4" y puede añadir nuevas reglas seleccionando las opciones que aparecen en la columna 37 de la interfaz de usuario. A modo de ejemplo, en la regla "2", el usuario ha seleccionado una característica particular "CAR 2" del modelo "MODELO 1" a través del menú desplegable 34. "MODELO 1, CAR 2" y "MODELO 1, CAR 1" utilizado en la regla "1" se refieren al mismo modelo de ML "MODELO 1" que se ha entrenado para acceder al menos a dos características (que corresponden a "CAR 1" y "CAR 2") de una planta. En la regla "3", se ha seleccionado la característica "CAR 3" de un modelo denominado "MODELO 2". Este modelo es diferente del modelo seleccionado en las reglas "1" y "2".  
 10

Cada una de las reglas incluidas en el conjunto de reglas "Prueba" puede ser establecida por el usuario independientemente de otras reglas. Seleccionando un modelo de ML adecuado y una característica del modelo en la 15 columna 34 de la interfaz de usuario, cada regla produce un valor indicativo de una evaluación de una característica correspondiente de la planta 2.

La interfaz de usuario permite además que un usuario introduzca un cálculo lógico para el conjunto de reglas en la entrada 32 de la interfaz de usuario. El cálculo lógico puede hacer referencia a algunas o a todas las reglas incluidas 20 en el conjunto de reglas.

En la figura 6, el usuario introdujo un argumento lógico "(1 o 2) y (3 o 4)" en la entrada 32. En este ejemplo, "y" y "o" 25 son conectores lógicos del lenguaje natural; "1 o 2" significa que si la Regla "1" es Verdadera o la Regla "2" es Verdadera entonces el resultado de "1 o 2" es Verdadero; "(1 o 2) y (3 o 4)" significa que solo si el resultado de "1 o 2" y el resultado de "3 o 4" son ambos Verdaderos, entonces el conjunto de reglas "Prueba" es Verdadero. "(1 o 2) y (3 o 4)" utiliza paréntesis para evitar que el argumento se interprete incorrectamente. Si el conjunto de reglas "Prueba" es Verdadero, normalmente indica que existe una condición en la planta 2 o en el entorno de crecimiento 50 y requiere 30 intervención (tal como, por ejemplo, encender el dispositivo 52). Un conjunto de reglas debe estar activado (marcando la casilla 30) para que pueda utilizarse. Se puede construir un conjunto de reglas más complejo añadiendo reglas adicionales y haciendo referencia a ellas en la entrada 32 de la interfaz de usuario.

Se pueden utilizar otros conectores lógicos de lenguaje natural para definir el conjunto de reglas en la entrada 32 de la interfaz de usuario. Algunos ejemplos son "entonces", "FentoncesV", "VentoncesF", "NO", etc. En un ejemplo, "1 entonces 2" significa que si la Regla "1" es Verdadera entonces la Regla "2" cambia de Falso a Verdadero entonces 35 el conjunto de reglas es Verdadero; "FentoncesV" significa "seguir una regla cambia de Falso a Verdadero"; "VentoncesF" significa "seguir una regla cambia de Verdadero a Falso"; y "NO" significa el opuesto lógico de una regla. Para un conjunto de reglas más complicado, los paréntesis pueden ser útiles para especificar cómo interpretar el argumento.

40 Si un conjunto de reglas incluye una sola regla - Regla "1", el usuario puede simplemente hacer referencia a la regla número "1" en la entrada 32 de la interfaz de usuario. Esto significa que si la Regla "1" es Verdadera, el conjunto de reglas es Verdadero.

45 El usuario puede además seleccionar la opción 38 para eliminar todo el conjunto de reglas "Prueba" y crear un nuevo conjunto de reglas seleccionando la opción 39 proporcionada en la interfaz de usuario.

Se apreciará que el cálculo lógico en la entrada 32 de la interfaz puede adoptar cualquier forma adecuada y no se limita a un argumento lógico con conectores lógicos. Por ejemplo, el cálculo lógico puede ser " $1+2>1,5$ ", lo que significa que si la suma del resultado de la regla "1" y el resultado de la regla "2" es mayor que 1,5, entonces el conjunto de reglas "Prueba" es Verdadero. El cálculo lógico permite al usuario definir con gran libertad el resultado de un conjunto 50 de reglas basándose en los resultados de las reglas incluidas en dicho conjunto.

55 En el ejemplo que se muestra en la figura 6, el valor introducido por el usuario bajo el encabezado "Recuento" de la columna 35, el valor seleccionado por el usuario bajo el encabezado "Verdadero" en la columna 36 y el cálculo lógico introducido por el usuario en la entrada 32 proporcionan colectivamente un "conjunto de reglas definido por el usuario". El valor introducido bajo el encabezado "Recuento" puede denominarse "una primera entrada del usuario". El valor seleccionado bajo el encabezado "Verdadero" puede denominarse "una segunda entrada del usuario". El cálculo lógico también puede denominarse "tercera entrada del usuario".

60 Como se ha descrito anteriormente, las diferentes reglas de un conjunto de reglas pueden hacer referencia a cualquier modelo de ML disponible que elija el usuario y, en consecuencia, pueden generar resultados indicativos de evaluaciones de diferentes características de la planta. El usuario puede seleccionar los modelos de ML adecuados a los que se hará referencia en las reglas y determinar la forma particular del cálculo lógico, basándose en su conocimiento de la planta. Por ejemplo, el usuario puede ser consciente de que es normal o ideal que una planta tenga déficit hídrico a baja temperatura y, por lo tanto, no es necesario regar la planta a baja temperatura. El usuario puede diseñar un conjunto de reglas que controle una bomba de riego de la planta. El conjunto de reglas puede incluir la

- regla "1", que hace referencia a un primer modelo de ML que evalúa si la planta presenta déficit hídrico, y la regla "2", que hace referencia a un segundo modelo de ML que evalúa si la planta presenta déficit de temperatura. La salida del primer modelo de ML puede considerarse como los "primeros datos de predicción" y la salida del segundo modelo de ML puede considerarse como los "segundos datos de predicción". El usuario puede definir además que el cálculo lógico sea "1 y (NO 2)", lo que significa que si el resultado de la Regla "1" es verdadero (es decir, la planta tiene déficit hídrico) pero el resultado de la Regla "2" es falso (es decir, la planta NO tiene déficit de temperatura), el conjunto de reglas es Verdadero y, en consecuencia, la bomba de riego está encendida. En este ejemplo, el uso de dos modelos diferentes de ML permite al usuario obtener una perspectiva más completa de las características de la planta. Permitiendo además al usuario diseñar, mediante el cálculo lógico (que forma parte del conjunto de reglas definido por el usuario), el tratamiento efectuado sobre los resultados de los modelos de ML, el usuario puede controlar de forma más flexible y eficaz el entorno de crecimiento de la planta.
- Aplicando un conjunto de reglas definido por el usuario al resultado o los resultados del modelo o los modelos de ML, el usuario puede personalizar el procesamiento realizado en el resultado o los resultados del modelo o los modelos de ML basándose en la naturaleza de la planta y en las funciones del modelo o los modelos de ML con el fin de generar una señal de control de la planta para optimizar el entorno de crecimiento de la planta. Esto contrasta con el método anterior de utilizar directamente el resultado de un modelo de ML como desencadenante para cambiar el entorno de crecimiento de la planta.
- En el ejemplo proporcionado en la figura 6, el conjunto de reglas definido por el usuario calcula un promedio móvil de un subconjunto de los valores de salida de un modelo de ML y el tamaño del subconjunto viene definido por el valor introducido por el usuario bajo el encabezado "Recuento". El resultado de la media móvil calculada puede denominarse "resultado de predicción" proporcionado por el modelo de ML. Se apreciará que el conjunto de reglas definido por el usuario puede modificarse de modo que se genere un resultado de predicción basado en cualquier combinación adecuada de los valores de salida de un modelo de ML o un subconjunto de los valores de salida. Los ejemplos de la "combinación" pueden incluir una suma, un promedio, una suma ponderada y/o una media ponderada de los valores de salida de un modelo de ML o de un subconjunto de los valores de salida.
- Además, en el ejemplo proporcionado en la figura 6, el modelo de ML utilizado por la regla "1" es un clasificador. Se apreciará que el modelo de ML puede ser cualquier modelo de ML adecuado, incluido un modelo de regresión y un clasificador.
- Como se ha descrito anteriormente y en referencia además a la figura 1, el valor resultante del cálculo lógico del conjunto de reglas definido por el usuario puede utilizarse para controlar el funcionamiento del dispositivo 52 con el fin de modificar el entorno de crecimiento 50 y, por lo tanto, es un ejemplo de la "señal de control de la planta". El dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta transmite la señal de control de la planta al controlador 100 a través del enlace de comunicación 53.
- En un ejemplo, el enlace de comunicación 53 es inalámbrico y hay múltiples controladores 100 en comunicación con el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. El dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta puede emitir la señal de control de la planta a los múltiples controladores 100. Mediante la difusión de la señal de control de la planta, no se especifica el destinatario de la señal de control de la planta y, por lo tanto, todos los controladores 100 pertinentes en comunicación con el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta pueden recibir la señal de control de la planta. Esto contrasta con la transmisión directa de señales punto a punto, que especifica un dispositivo concreto como destinatario y es más eficiente para comunicar la señal de control de la planta a múltiples controladores 100.
- Por lo tanto, los múltiples controladores reciben la misma señal de control de la planta y, por tanto, la señal de control de la planta puede considerarse una señal global para los controladores 100. Cada controlador 100 es capaz de interpretar la señal de control de la planta y determinar qué información contiene la señal de control de la planta. La información contenida en la señal de control de la planta puede ser utilizada por el controlador 100 para controlar el funcionamiento del dispositivo 52.
- El controlador 100 también permite a un usuario introducir otro conjunto de reglas definido por el usuario y aplica el conjunto adicional de reglas definido por el usuario para restringir el funcionamiento del dispositivo 52. El conjunto de reglas definido por el usuario incluye reglas personalizadas, locales, aplicables al dispositivo 52. En este sentido, el funcionamiento del dispositivo 52 está controlado tanto por la señal de control de la planta procedente del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta como por el conjunto adicional de reglas definido por el usuario en el controlador 100. Cuando hay múltiples dispositivos 52 controlados por el mismo controlador 100, el usuario puede proporcionar diferentes versiones del conjunto adicional de reglas definido por el usuario a diferentes dispositivos 52, de modo que los diferentes dispositivos 52 son controlados por diferentes reglas locales y responden de diferentes maneras a la misma señal de control de la planta. Se apreciará que las diferentes versiones del conjunto adicional de reglas definido por el usuario pueden tener diferentes formatos, contener diferentes reglas definidas por el usuario y/o recibir entradas de usuario separadas.
- A continuación se describe un ejemplo del conjunto adicional de reglas definido por el usuario con referencia a la figura

7. La figura 7 muestra una interfaz de usuario visualizada en el indicador 102e del controlador 100. La interfaz de usuario permite a un usuario introducir el conjunto adicional de reglas definido por el usuario para el dispositivo 52, a través del dispositivo 102h de entrada del usuario del controlador 100. En este ejemplo, el dispositivo 52 es un repetidor que puede controlar un calentador, un ventilador, un conducto de ventilación, un dispositivo de iluminación, una bomba o cualquier otro dispositivo adecuado dentro del entorno de crecimiento 50.

Como se muestra en la figura 7, el estado actual del repetidor se muestra en la casilla 40 de la interfaz de usuario. La casilla 40 indica el estado ENCENDIDO/APAGADO del repetidor y es también un botón que se puede pulsar para tomar manualmente el control del repetidor. Una vez establecido el control manual del repetidor, la señal de control de la planta se ignora hasta que el usuario libera la anulación manual.

La interfaz de usuario de la figura 7 incluye una sección denominada "Fuente de datos de control". El "Identificador del dispositivo" que se muestra en esta sección es el identificador del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta que proporciona la señal de control de la planta. En este sentido, el dispositivo 52 solo responde a la señal de control de planta transmitida por un dispositivo con el mismo identificador. Si el identificador no aparece en el menú desplegable 41, el usuario puede pulsar el botón "Volver a explorar" situado junto al menú 41. La interfaz de usuario puede diseñarse de forma que no sea posible introducir manualmente el identificador del dispositivo de supervisión de la salud de la planta, ya que se trata de una función de seguridad destinada a garantizar que el controlador 100 y el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta estén conectados a la misma red y puedan comunicarse entre sí (p. ej., a través del enlace de comunicación 53). La casilla de entrada 42 permite al usuario introducir el nombre del conjunto de reglas que se utiliza para generar la señal de control de la planta. Se supone que el nombre del conjunto de reglas coincide con el nombre de uno de los conjuntos de reglas definidos en la interfaz de usuario del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Si la casilla de entrada 42 se deja en blanco, significa que se aceptará como fuente de la señal de control de la planta cualquiera de los conjuntos de reglas que esté definido en la interfaz de usuario del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y esté habilitado para su uso.

La interfaz de usuario de la figura 7 incluye además una sección denominada "Restricciones temporales de los datos de control". Las opciones disponibles en esta sección permiten al usuario aplicar restricciones temporales al funcionamiento del repetidor (p. ej., el dispositivo 52).

En particular, la primera opción permite al usuario introducir un periodo de tiempo concreto de un día en los menús desplegables 43, de modo que el repetidor responda a la señal de control de la planta generada por el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta durante dicho periodo de tiempo, pero ignorará automáticamente la señal de control de la planta fuera del periodo de tiempo. Por ejemplo, si el dispositivo 52 es un repetidor dentro de una bomba de agua que riega la planta 2, y el usuario no desea regar la planta 2 hacia el mediodía (p. ej., entre las 10:00 y las 15:00 horas) porque no es eficiente, el usuario puede introducir un periodo de tiempo de 15:00 a 10:00 utilizando los menús desplegables 43. Como resultado, el repetidor 52 permanecerá apagado e ignorará la señal de control de la planta procedente del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta entre las 10:00 y las 15:00 horas.

La segunda opción permite al usuario seleccionar una primera duración en un menú desplegable 44, de modo que después de permanecer encendido durante la primera duración seleccionada, el repetidor se desconectará automáticamente independientemente de la señal de control de la planta. La primera duración es, por lo tanto, la longitud máxima del tiempo ENCENDIDO del repetidor. Esto puede ser útil al dar tiempo a que la planta responda al funcionamiento del repetidor y evitar una hiper corrección del factor estresante presente en la planta 2 o en el medio de cultivo 50. También protege el dispositivo controlado por el repetidor 52 del desgaste.

La tercera opción permite al usuario seleccionar una segunda duración en un menú desplegable 45, de modo que, después de desconectar el repetidor, ignorará la señal de control de la planta durante la segunda duración antes de volver a responder a la señal de control de la planta. Esto puede ser útil al dar tiempo a que la planta responda al funcionamiento del repetidor y evitar una hipercompensación del factor estresante presente en la planta 2 o en el medio de cultivo 50. También puede evitar que el repetidor se encienda y apague con frecuencia, debido a, por ejemplo, un fallo en la señal de control de la planta, evitando de este modo el desperdicio de recursos.

La sección "Restricciones de tiempo de los datos de control" puede ofrecer otra opción que permita al usuario establecer tiempos de encendido/apagado preprogramados para el dispositivo 52.

Las opciones incluidas en la sección "Restricciones temporales de los datos de control" proporcionan colectivamente el conjunto de reglas definido por el usuario. El conjunto de reglas definido por el usuario permite a este programar fácilmente el dispositivo 52, de modo que el dispositivo 52 responda a la señal de control de la planta con las restricciones establecidas por el conjunto de reglas definido por el usuario. Por lo tanto, el conjunto de reglas definido por el usuario proporciona flexibilidad adicional para que el usuario controle la planta 2 o su entorno de crecimiento 50. Al configurar otro conjunto de reglas definido por el usuario, el usuario puede tener en cuenta las características de la planta 2, la finalidad del dispositivo 52 y el significado de la señal de control de la planta, con el fin de crear un entorno ideal para el crecimiento de la planta y reducir al mínimo el desperdicio de recursos.

En el caso de que haya múltiples dispositivos 52 dentro del entorno de crecimiento 50, el controlador 100 puede

proporcionar una interfaz de usuario que permita al usuario introducir por separado el conjunto adicional de reglas definido por el usuario para cada dispositivo individual 52, de manera que los dispositivos 52 respondan de maneras diferentes a la misma señal de control de la planta.

- 5 La interfaz de usuario del controlador 100 también puede incluir una función de mapa de zonas. En la figura 8 se ilustra un mapa de zonas 60 ilustrativo. El mapa de zonas 60 incluye 4 zonas 61, 62, 63 y 64 que corresponden a 4 repetidores controlados por el controlador 100. Se muestra la siguiente información para cada zona: un botón 65 que muestra el identificador de dispositivo del controlador de repetidores (es decir, el ID del controlador 100) seguido de "Repetidor" y el número de repetidor, el estado del repetidor (ENCENDIDO o APAGADO), el conjunto de reglas que supervisa el repetidor (que se muestra en la línea 66. Si el repetidor no supervisa ningún conjunto de reglas, se muestra "Desactivado" y una marca de tiempo 67 que indica cuándo tuvo lugar la última comunicación entre el repetidor y el controlador 100. Una vez que el repetidor recibe los datos del controlador 100, el Identificador de Dispositivo puede cambiar de texto a un botón. Al hacer clic en el botón se puede abrir la interfaz web del controlador 100. El estado del repetidor puede actualizarse inmediatamente si cambia de APAGADO a ENCENDIDO o viceversa. También puede actualizarse automáticamente cada 15 segundos. El mapa de zonas también puede mostrar un botón de "Configurar zonas" que, cuando se pulsa, permite al usuario configurar las zonas.

En el ejemplo anterior, el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta utiliza la señal eléctrica obtenida de una planta para generar una señal de control de la planta, que controla el entorno de crecimiento de la misma planta. Si la señal eléctrica obtenida es errónea (p. ej., debido a un sensor de señal defectuoso), existe el riesgo de que el entorno de crecimiento de la planta se controle de forma incorrecta. Por lo tanto, en otra realización de la presente invención, el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta puede obtener señales eléctricas de al menos dos plantas y generar datos de predicción utilizando el al menos un modelo de ML basado en la señal eléctrica de cada una de las plantas. Más específicamente, los datos de predicción pueden incluir datos de predicción para una primera planta, y otros datos de predicción para una segunda planta. La primera planta y la segunda planta pueden ser del mismo tipo (o especie). Se puede aplicar un conjunto de reglas definido por el usuario a los datos de predicción y a los datos de predicción adicionales para generar la señal de control de la planta, y la señal de control de la planta está configurada para cambiar el entorno de crecimiento de la primera planta y de la segunda planta. En particular, el conjunto de reglas definido por el usuario puede permitir al usuario utilizar selectivamente uno o ambos de los datos de predicción y los datos de predicción adicionales para generar la señal de control de la planta. Si la señal eléctrica obtenida de una determinada planta tiene ruido o contiene una señal de error (p. ej., debido a un sensor defectuoso), los datos de predicción generados en función de esa señal eléctrica serían anómalos y/o se desvían normalmente de los datos de predicción generados para otras plantas. La interfaz de usuario del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta puede permitir al usuario inspeccionar todos los datos de predicción. Mediante el uso del conjunto de reglas definido por el usuario, se puede permitir al usuario eliminar o descartar cualquier dato de predicción anómalo o que se desvíe de otros datos de predicción, antes de que se genere la señal de control de la planta. De este modo, la señal de control de la planta no se vería sustancialmente afectada por una señal eléctrica problemática obtenida de la planta en particular y el entorno de crecimiento de la planta en particular aún puede controlarse correctamente. Esto proporciona al usuario más flexibilidad para controlar el entorno de crecimiento de las plantas y también mejora la robustez del sistema de control. Por supuesto, si ninguno de los datos de predicción generados parece anómalo o erróneo, el conjunto de reglas definido por el usuario puede aplicarse para generar la señal de control de la planta basándose en una combinación de los datos de predicción y los datos de predicción adicionales. Se entiende que el término "combinación" significa que tanto los datos de predicción como los datos de predicción adicionales se tienen en cuenta en la generación de la señal de control de la planta. Los ejemplos de la "combinación" pueden incluir una suma, un promedio, una suma ponderada y/o un promedio ponderado de los datos de predicción y de los datos de predicción adicionales. A continuación se ofrece un ejemplo con referencia a la figura 15.

El ejemplo de la figura 1 ilustra el uso de un único dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y un único dispositivo 52 en el entorno de crecimiento 50 de la planta 2. Sin embargo, se apreciará que en un entorno de crecimiento de plantas, se puede proporcionar una pluralidad de dispositivos de supervisión de la salud de la planta 1 que se cargan con diversas combinaciones de modelos de ML y a los que se proporcionan diferentes o los mismos conjuntos de reglas definidos por el usuario. También se puede proporcionar una pluralidad de dispositivos 52 configurados para controlar diferentes o los mismos aspectos del entorno de crecimiento y/o para controlar diferentes o los mismos grupos de plantas dentro del entorno de crecimiento. Cada uno de los dispositivos 1 de supervisión de la salud de la planta puede emitir una señal de control de la planta respectiva. El controlador o los controladores 100 pueden permitir a un usuario programar cada uno de los dispositivos 52, de modo que cada dispositivo 52 responda a uno o varios de determinados dispositivos 1 de supervisión de la salud de la planta y a determinados conjuntos de reglas definidos por el usuario activados en dichos dispositivos. Esto puede lograrse configurando la sección "Fuente de datos de control" (como se muestra en la figura 7) de la interfaz de usuario para cada uno de los dispositivos 52. Además, la sección "Fuente de datos de control" de la interfaz de usuario puede modificarse de modo que cada dispositivo 52 responda a las señales de control de la planta generadas por más de uno de los dispositivos de supervisión de la salud de la planta 1. La interfaz de usuario de la figura 7 puede ofrecer además una opción que permita al usuario introducir un cálculo lógico (similar al de la entrada 32 de la figura 6). El cálculo lógico puede hacer referencia a las señales de control de la planta generadas por más de uno de los dispositivos 1 de supervisión de la salud de la planta y uno de los dispositivos 52 en particular puede responder al resultado del cálculo lógico. El cálculo lógico puede formar parte del conjunto adicional de reglas definido por el usuario.

- A continuación se describen métodos ilustrativos de generación de un conjunto de datos de entrenamiento y de utilización del conjunto de datos de entrenamiento para entrenar un modelo de aprendizaje automático para evaluar una característica de una planta. El modelo de aprendizaje automático entrenado puede descargarse en el dispositivo 5 1 de supervisión de la salud de la planta y puede ser seleccionado por un usuario en la columna 34 de la interfaz de usuario mostrada en la figura 6.
- La figura 9 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de procesamiento llevadas a cabo para generar un conjunto 10 de datos de entrenamiento que se utilizará para entrenar un modelo de aprendizaje automático.
- En la etapa S101, se introduce un factor estresante en una primera planta o en un entorno de crecimiento de la primera 15 planta. La variedad de la primera planta y el tipo de agente estresante pueden elegirse adecuadamente en función de las necesidades de un cultivador de plantas. En general, el entorno de crecimiento de la primera planta pueden ser cámaras de cultivo, invernaderos o campos, y la primera planta puede cultivarse en condiciones controladas para simular entornos de crecimiento normales. El factor estresante se introduce a propósito para simular acontecimientos naturales. El factor estresante puede ser cualquier factor que provoque un cambio en el entorno de crecimiento o en la fisiología de la primera planta.
- En la etapa S102, se obtiene una primera señal eléctrica de la primera planta durante un primer periodo de tiempo en 20 el que el factor estresante se aplica al entorno de crecimiento de la primera planta.
- En la etapa S103, se obtiene una segunda señal eléctrica de la primera planta durante un segundo periodo de tiempo en el que el factor estresante no se aplica al entorno de crecimiento de la primera planta.
- Las señales eléctricas primera y segunda pueden ser datos brutos obtenidos por los cables 6, 8 del dispositivo 1 de 25 supervisión de la salud de la planta descrito anteriormente. Como alternativa, las señales eléctricas primera y segunda pueden ser señales digitalizadas emitidas por el ADC 14 del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y pueden estar en el dominio del tiempo.
- En la etapa S104, la primera señal eléctrica y la segunda señal eléctrica se procesan para generar un conjunto de 30 datos de entrenamiento. Esta etapa puede llevarse a cabo mediante cualquier dispositivo o dispositivos adecuados a los que se suministre la primera señal eléctrica y la segunda señal eléctrica.
- Las etapas de procesamiento de datos mostrados en la figura 5 pueden utilizarse para procesar las señales eléctricas 35 primera y segunda en la etapa S104. Después de caracterizar los rasgos o los datos del espectrograma, se obtienen datos de cada muestra de datos en la etapa S13 de la figura 5, cada muestra de datos se etiqueta con una característica correspondiente de la primera planta. Las etiquetas de las muestras de datos pueden obtenerse mediante la supervisión de un marcador fisiológico de la primera planta y/o una condición ambiental de la primera planta durante los periodos de tiempo primero y segundo.
- El marcador fisiológico puede incluir, por ejemplo, la presión de turgencia de la hoja, el estado de desarrollo de la 40 planta, el diámetro del tallo, la fluorescencia de la hoja, la temperatura de la hoja y/o el color de la hoja, etc. La condición ambiental incluye, por ejemplo, las condiciones de iluminación ambiental, el nivel de CO<sub>2</sub> ambiental, la temperatura del aire y/o el contenido de agua del suelo, etc. La supervisión puede realizarse mediante cualquier sensor adecuado 45 disponible en el mercado. El marcador fisiológico y/o la condición ambiental específicos que se supervisan dependen de la naturaleza del factor estresante introducido en la etapa S101. Como alternativa, las etiquetas de las muestras de datos pueden obtenerse basándose únicamente en la presencia y la ausencia del factor estresante.
- Una vez etiquetadas las muestras de datos, la normalización puede aplicarse a los rasgos característicos extraídos o 50 a los datos del espectrograma de las muestras de datos obtenidas a través de diferentes plantas en la misma condición de factor estresante. Esto puede ser útil para compensar la variabilidad entre plantas de los rasgos extraídos.
- Una vez realizado el tratamiento de datos de la figura 9, cada muestra de datos obtenida en la etapa S12 de la figura 55 5 proporciona una entrada de datos, que incluye los rasgos característicos extraídos o los datos del espectrograma de la muestra de datos (es decir, rasgos de entrada) y las etiquetas correspondientes (es decir, rasgos de salida) de la muestra de datos. Todas las entradas de datos forman colectivamente un conjunto de datos. A continuación, el conjunto de datos puede dividirse en un conjunto de datos de aprendizaje (también denominado "conjunto de datos de entrenamiento") y un conjunto de datos de validación. El conjunto de datos de aprendizaje puede suponer hasta el 80 % de todo el conjunto de datos y el conjunto de datos de validación puede suponer hasta el 20 % de todo el conjunto de datos.
- El conjunto de datos de entrenamiento obtenido mediante las etapas de procesamiento de la figura 9 puede utilizarse 60 para entrenar un modelo de aprendizaje automático. El entrenamiento puede ser realizado por cualquier ordenador/servidor adecuado. El modelo de ML puede ser un modelo de regresión o un modelo de clasificación (es decir, un clasificador). El clasificador puede ser binario o polinomial. Además, el clasificador puede ser un clasificador lineal. Por ejemplo, el clasificador lineal puede ser una máquina de vectores de soporte (SVM) con un núcleo lineal o

puede estar basado en regresión logística. Como alternativa, el clasificador puede ser un clasificador no lineal, tal como una red neuronal.

5 Las variables de entrada (X) del modelo de aprendizaje automático pueden corresponder a los rasgos de entrada del conjunto de datos de entrenamiento. Las variables de salida (Y) del modelo de aprendizaje automático pueden corresponder al tipo o los tipos de rasgos de salida del conjunto de datos de entrenamiento. A cada una de las variables de entrada le corresponde un peso, que indica la fuerza de la variable de entrada respectiva en la determinación de las variables de salida. Entrenar un modelo de aprendizaje automático significa básicamente calibrar todos los pesos. Una vez entrenado el modelo, el conjunto de datos de validación puede utilizarse para probar el rendimiento del modelo 10 entrenado.

En un ejemplo, el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta se utiliza para evaluar si una planta padece un ataque de nematodos. Los nematodos son insectos pluricelulares que se alimentan de plantas. Los nematodos pueden causar nudos o agallas en las raíces, lesiones de las puntas de las raíces, ramificación excesiva de las raíces, agallas 15 foliares, lesiones o tejido moribundo y hojas retorcidas deformadas en las plantas.

La figura 10 muestra (a) una forma de onda de la señal eléctrica obtenida de una planta sin ataque de nematodos; y 20 (b) una forma de onda de la señal eléctrica obtenida de una planta que padece un ataque de nematodos. Cada forma de onda muestra la diferencia de tensión entre el electrodo de captura 7 y el electrodo de referencia 5 que están conectados a una planta respectiva entre las 12:00 y las 13:00 de un día. El eje de ordenadas de cada forma de onda indica la magnitud (unidad: mV) de la diferencia de tensión. Al comparar las dos formas de onda, resulta evidente que la tensión eléctrica obtenida de la planta enferma es de una magnitud mucho menor y tiene más fluctuaciones, en comparación con la obtenida de la planta sana.

25 Las señales eléctricas se procesan según las etapas de procesamiento mostradas en la figura 5 y descritas anteriormente. En particular, se obtienen segmentos de datos que tienen una anchura temporal de 10 segundos a partir de las señales eléctricas según la etapa S12 y se generan datos de espectrograma para cada segmento de datos según la etapa S13. La figura 11 muestra (a) un espectrograma generado a partir de una señal eléctrica obtenida de una planta libre del ataque de un nematodo (p. ej., una señal similar a la mostrada en la figura 10(a)); y (b) un 30 espectrograma generado a partir de una señal eléctrica obtenida de una planta que padece un ataque de nematodos (p. ej., una señal similar a la mostrada en la figura 10(b)). Un espectrograma (también llamado espectrograma) es una representación visual del espectro de frecuencias de una señal a medida que varía con el tiempo. Cada espectrograma de la figura 11 muestra datos de espectrograma de un segmento de datos respectivo de 10 s. El eje de abscisas del espectrograma es el tiempo. El eje de ordenadas del espectrograma es la frecuencia. La escala de colores representa la magnitud según una leyenda a la derecha. Comparando los dos espectrogramas, resulta evidente que la señal eléctrica obtenida de la planta enferma tiene componentes de alta frecuencia 71, 72 que no están presentes en la señal eléctrica obtenida de la planta sana.

40 La figura 12 ilustra la interfaz de usuario del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y un usuario ha proporcionado un conjunto de reglas ilustrativo definido por el usuario en relación con la evaluación del ataque de nematodos en las plantas. Como se muestra en la figura 12, el usuario ha creado un conjunto de reglas llamado "Destruir\_nematodos\_2" que incluye dos reglas "1" y "2". La regla "1" hace referencia a una característica "NemaDía" 45 de un modelo de ML denominado "ComplejoNema" y la regla "2" hace referencia a una característica "NemaNoche" del modelo de ML "ComplejoNema". El modelo de ML llamado "ComplejoNema" ha sido entrenado para evaluar dos características de una planta. Las dos características son si una planta padece un ataque de nematodos durante el día (correspondiente a "NemaDía") y si una planta padece un ataque de nematodos durante la noche (correspondiente a "NemaNoche"). El usuario ha introducido además valores bajo los encabezados "Recuento" y "Verdadero". El usuario también ha proporcionado un argumento lógico "(1 o 2)" que significa que si la regla "1" es Verdadera o la regla "2" es Verdadera, entonces el resultado del conjunto de reglas es Verdadero (es decir, existen nematodos en la planta o en su entorno de crecimiento).

55 La figura 13 ilustra una forma de onda de salida del modelo entrenado "ComplejoNema" con la característica seleccionada "NemaNoche". Los datos de entrada comprenden datos obtenidos de plantas durante períodos en los que se sabía que había nematodos presentes y durante períodos en los que no había nematodos presentes. Se apreciará que en la vida real, es necesario un seguimiento a largo plazo para saber si una planta padece un ataque de nematodos. En este ejemplo, se utiliza el modelo "ComplejoNema" como clasificador. El eje de ordenadas de la forma de onda indica el valor de la probabilidad de clasificación y el eje de abscisas de la forma de onda indica el tiempo. El valor de la probabilidad de clasificación de salida confirma los estados de salud de las plantas implicadas y muestra que los nematodos se detectan en diferentes momentos a lo largo del periodo supervisado, incluyendo brevemente, pero con confianza alta en torno a 01:01 y 01:04, brevemente con confianza baja en torno a 01:05 y luego constantemente a partir del tiempo 01:08.

60 En otro ejemplo, el dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta se utiliza para evaluar si una planta padece sequía (es decir, déficit hídrico). En un ejemplo particular, se obtienen señales eléctricas de un grupo de plantas de tomate cherry y se procesan además según las etapas mostradas en la figura 5 para obtener datos de espectrograma.

La figura 14 muestra (a) un espectrograma obtenido a partir de una señal eléctrica de una planta de tomate cherry que no está en déficit hídrico; y (b) un espectrograma obtenido a partir de una señal eléctrica de una planta de tomate cherry en déficit hídrico. Cada espectrograma de la figura 14 muestra datos de espectrograma de un segmento de datos respectivo de 15 s. Las diferencias de los dos espectrogramas de la figura 14 no son perceptibles para el ojo humano, pero pueden detectarse mediante el algoritmo de ML.

5 La figura 15 ilustra la interfaz de usuario del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta y un usuario ha proporcionado un conjunto de reglas ilustrativo definido por el usuario en relación con la evaluación de la sequía. En comparación con las interfaces de usuario mostradas en las figuras 6 y 12, la interfaz de usuario mostrada en la figura 10 15 incluye una columna 73 adicional bajo el encabezado "Canal". El dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta puede tener varios canales de entrada que admiten el registro de señales eléctricas de varias plantas simultáneamente. Con la columna "Canal", la interfaz de usuario permite a un usuario activar el modelo o los modelos de ML en cualquiera de los canales disponibles o en todos ellos. En el ejemplo que se muestra en la figura 15, el 15 conjunto de reglas "Prueba1" actúa sobre un primer grupo de dos plantas conectadas al canal "1" y al canal "2" del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta; el conjunto de reglas "Prueba2" actúa sobre un primer grupo de dos plantas conectadas al canal "3" y al canal "4" del dispositivo 1 de supervisión de la salud de la planta. Aportando un argumento lógico "1 o 2", el resultado del conjunto de reglas "Prueba1" (o "Prueba2") viene determinado por una combinación de los resultados de ML generados por cada planta dentro de un grupo respectivo. Puede haber un repetidor controlado por el controlador 100 que actúa sobre el resultado del conjunto de reglas "Prueba1" para controlar 20 el riego del primer grupo de plantas. Puede haber otro repetidor controlado por el controlador 100 que actúa sobre el resultado del conjunto de reglas "Prueba2" para controlar el riego del segundo grupo de plantas. Otras partes de la interfaz de usuario son similares a las descritas en relación con las figuras 6 y 12.

25 La figura 16 ilustra una forma de onda de salida del modelo "CTom6B" con la característica "Grave" seleccionada, como se indica en la figura 15. El modelo ha sido entrenado para evaluar si una planta presenta déficit hídrico. En este ejemplo, el modelo "CTom6B" es un clasificador. El eje de ordenadas de la forma de onda indica el valor de la probabilidad de clasificación y el eje de abscisas de la forma de onda indica el tiempo. Bajo un determinado valor de "Recuento" (p. ej., 10) y de "Verdadero" (p. ej., 20 %), el resultado de una regla que hace referencia al modelo se convierte en Verdadero poco después de las 01:56:30. Esto, a su vez, activa un repetidor que actúa en función del 30 resultado de la regla (a través del controlador de repetidores) para suministrar agua a la planta en un punto temporal 74. Poco después del suministro de agua, la detección de estrés hídrico en la planta se detiene antes de las 01:58.

35 En términos generales, se entenderá que donde se describa en el presente documento que se evalúa una característica de una planta, una evaluación de este tipo también puede denominarse diagnóstico (p. ej., un diagnóstico de presencia de un determinado estado de salud de una planta). De manera similar, una evaluación puede denominarse predicción (p. ej., una predicción de presencia de una determinada condición o estado de una planta).

Aunque la invención se ha descrito en términos de realizaciones preferidas como se ha expuesto anteriormente, debe 40 entenderse que estas realizaciones son meramente ilustrativas y que las reivindicaciones no se limitan a dichas realizaciones. Los expertos en la materia podrán realizar modificaciones y alternativas a la vista de la invención que se contemplan dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar el entorno de crecimiento de una planta, comprendiendo el método:

- 5        obtener una señal eléctrica de la planta (S01);  
       generar, utilizando al menos un modelo de aprendizaje automático, datos de predicción basados en la señal eléctrica (S02), en donde el al menos un modelo de aprendizaje automático se ha entrenado para evaluar al menos una característica de la planta y en donde los datos de predicción se basan en los resultados del al menos un modelo de aprendizaje automático e indican una evaluación de la al menos una característica de la planta; y  
 10      aplicar un conjunto de reglas definido por el usuario a los datos de predicción para generar una señal de control de la planta (S03), en donde la señal de control de la planta está configurada para cambiar el entorno de crecimiento de la planta.

15     2. El método de la reivindicación 1, en donde:

- 15      el al menos un modelo de aprendizaje automático comprende un primer modelo de aprendizaje automático que ha sido entrenado para acceder a una primera característica de la planta;  
       los datos de predicción comprenden unos primeros datos de predicción, que se basan en los resultados del primer modelo de aprendizaje automático e indican una evaluación de la primera característica de la planta.

20     3. El método de la reivindicación 2, en donde:

- 20      los primeros datos de predicción comprenden una pluralidad de primeros elementos de datos de predicción, cada uno de los cuales se basa en un resultado del primer modelo de aprendizaje automático e indica una evaluación de la primera característica de la planta; y  
       la aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario comprende la generación de un primer resultado de predicción basado en la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción o en un subconjunto de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción, en donde el conjunto de reglas definido por el usuario está configurado de modo que la señal de control de la planta se genere basándose en el primer resultado de predicción.

25     4. El método de la reivindicación 3:

- 35      i) que comprende además la obtención de una pluralidad de primeras muestras de datos de la señal eléctrica a una primera frecuencia de muestreo; en donde la generación de los datos de predicción comprende generar, utilizando el primer modelo de aprendizaje automático, la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción basados en la pluralidad de primeras muestras de datos, respectivamente; y/o  
       ii) en donde el primer resultado de predicción se genera basándose en una combinación de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción o un subconjunto de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción; y/o  
 40      iii) en donde el primer resultado de predicción comprende un promedio de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción o un subconjunto de la pluralidad de primeros elementos de datos de predicción; y/o  
       iv) en donde el primer resultado de predicción comprende un promedio móvil de un subconjunto de la pluralidad de primeros datos de predicción; y un tamaño del subconjunto para calcular el promedio móvil se define basándose en una primera entrada del usuario; y/o  
 45      v) en donde la aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario comprende comparar el primer resultado de predicción con un primer valor umbral, el primer valor umbral se define basándose en una segunda entrada del usuario y el conjunto de reglas definido por el usuario está configurado de modo que la señal de control de la planta se genere basándose en un resultado de la comparación.

50     5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde:

- 55      el al menos un modelo de aprendizaje automático comprende un segundo modelo de aprendizaje automático que se ha entrenado para acceder a una segunda característica de la planta, y la segunda característica de la planta es diferente de la primera característica de la planta; y  
       los datos de predicción comprenden unos segundos datos de predicción, que se basan en los resultados del segundo modelo de aprendizaje automático e indican una evaluación de la segunda característica de la planta.

60     6. El método de la reivindicación 5, en donde:

- 60      la aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario comprende la realización de un cálculo lógico basado en los primeros datos de predicción y los segundos datos de predicción,  
       el cálculo lógico se define basándose en una tercera entrada del usuario; y  
       el conjunto de reglas definido por el usuario está configurado de modo que la señal de control de la planta se genere basándose en un resultado del cálculo lógico.

7. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la señal eléctrica es una primera señal eléctrica y la planta es una primera planta, comprendiendo el método además:
- 5        obtener una segunda señal eléctrica de una segunda planta separada de la primera; generar, utilizando el al menos un modelo de aprendizaje automático, otros datos de predicción basados en la segunda señal eléctrica; y en donde la aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario comprende la aplicación del conjunto de reglas definido por el usuario a los datos de predicción y a los datos de predicción adicionales para generar la señal de control de la planta, en donde la señal de control de la planta está configurada para cambiar el entorno de crecimiento de la primera planta y de la segunda planta.
- 10      8. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además:
- 15      proporcionar al menos un dispositivo que está configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y, opcionalmente: que comprende además la emisión de la señal de control de la planta.
- 20      9. El método de la reivindicación 8, que comprende además:
- 25      aplicar un conjunto adicional de reglas definido por el usuario al menos a un dispositivo, en donde el al menos un dispositivo está configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y el conjunto adicional de reglas definido por el usuario.
- 30      10. El método de la reivindicación 9, en donde:
- 35      i) el conjunto adicional de reglas definido por el usuario está configurado para aplicar restricciones temporales al funcionamiento del al menos un dispositivo; y/o ii) el conjunto adicional de reglas definido por el usuario está configurado para permitir que el al menos un dispositivo ignore la señal de control de la planta si se cumple una condición predeterminada, y en donde la condición predeterminada se establece mediante una cuarta entrada del usuario, y opcionalmente en donde la condición predeterminada comprende un periodo de tiempo particular de un día de modo que el al menos un dispositivo ignora automáticamente la señal de control de la planta durante dicho periodo de tiempo particular; y/o iii) el conjunto adicional de reglas definido por el usuario está configurado para permitir que el al menos un dispositivo ignore la señal de control de la planta durante un primer periodo de tiempo inmediatamente después de que el al menos un dispositivo se apague, y en donde el primer periodo de tiempo se establece mediante una quinta entrada del usuario; y/o iv) el conjunto adicional de reglas definido por el usuario está configurado para definir una duración máxima de tiempo durante la cual el al menos un dispositivo puede funcionar en estado ENCENDIDO, y en donde la duración máxima de tiempo se establece mediante una sexta entrada del usuario.
- 40      11. El método de las reivindicaciones 9 o 10, en donde:
- 45      el al menos un dispositivo comprende un primer dispositivo y un segundo dispositivo separado del primero; la aplicación de un conjunto adicional de reglas definido por el usuario al menos a un dispositivo comprende aplicar una primera versión del conjunto adicional de reglas definido por el usuario al primer dispositivo y aplicar una segunda versión del conjunto adicional de reglas definido por el usuario al segundo dispositivo, en donde la primera versión y la segunda versión son definidas por separado por un usuario;
- 50      el primer dispositivo está configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y la primera versión del conjunto adicional de reglas definido por el usuario; y el segundo dispositivo está configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y la segunda versión del conjunto adicional de reglas definido por el usuario.
- 55      12. Un medio de almacenamiento legible por ordenador que porta instrucciones legibles por ordenador dispuestas para hacer que un ordenador lleve a cabo un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior.
- 60      13. Un aparato (1) para controlar un entorno de crecimiento de una planta que comprende:
- 65      un procesador (12a) y un medio de almacenamiento legible por ordenador (12b, 12c) que contiene un programa informático que comprende instrucciones legibles por ordenador dispuestas para hacer que el procesador lleve a cabo un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11; y un dispositivo de visualización (12e), y en donde el procesador está configurado para generar una interfaz de usuario en el dispositivo de visualización, y la interfaz de usuario está configurada para recibir la entrada del usuario para generar el conjunto de reglas definido por el usuario.
- 70      14. Un sistema para controlar un entorno de crecimiento de una planta, que comprende:

un aparato de acuerdo con la reivindicación 13 y al menos un dispositivo (100) que está configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta.

- 5            15. El sistema de la reivindicación 14, en donde:
- 10            a) el aparato está configurado para aplicar un conjunto adicional de reglas definido por el usuario al menos a un dispositivo, el al menos un dispositivo está configurado para cambiar el entorno de crecimiento de la planta basándose en la señal de control de la planta y el conjunto adicional de reglas definido por el usuario; y la interfaz de usuario está configurada para recibir más entradas del usuario para generar el conjunto adicional de reglas definido por el usuario;  
y/o  
b) la interfaz de usuario está configurada para realizar una o más de las siguientes acciones:
- 15            i) mostrar una opción, que, cuando la selecciona un usuario, le permite controlar manualmente el al menos un dispositivo independientemente de la señal de control de la planta; y  
ii) mostrar un mapa de zonas, que comprende una identidad del aparato, una identidad del al menos un dispositivo y parámetros operativos del al menos un dispositivo.

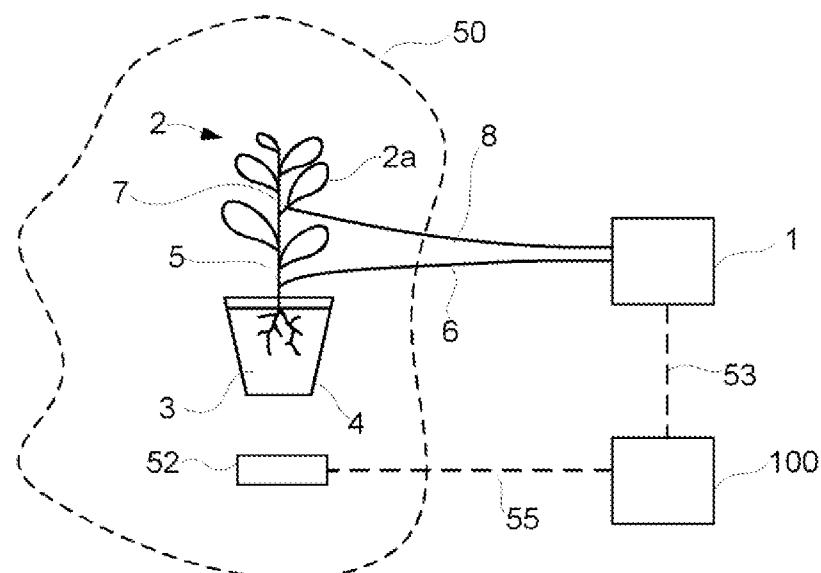


Figura 1

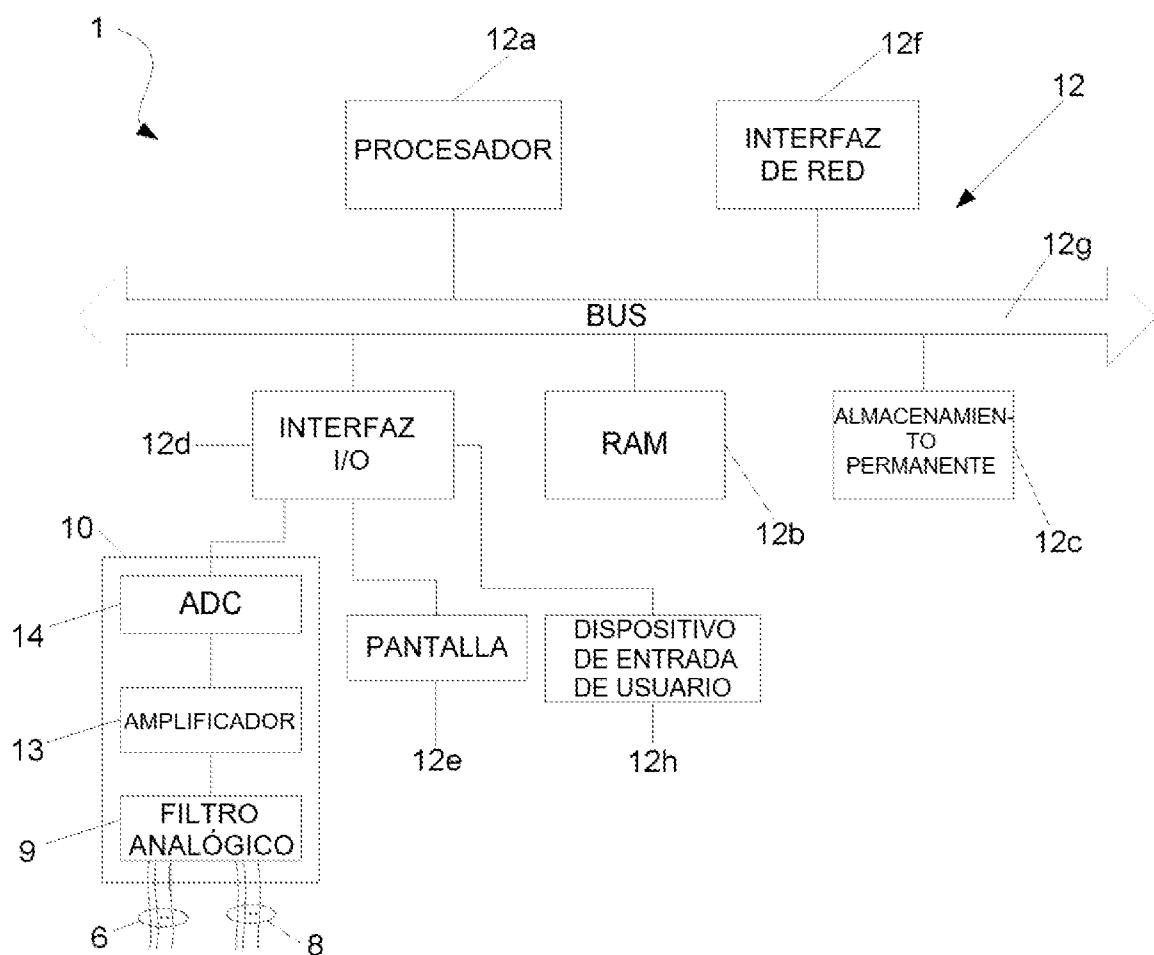


Figura 2

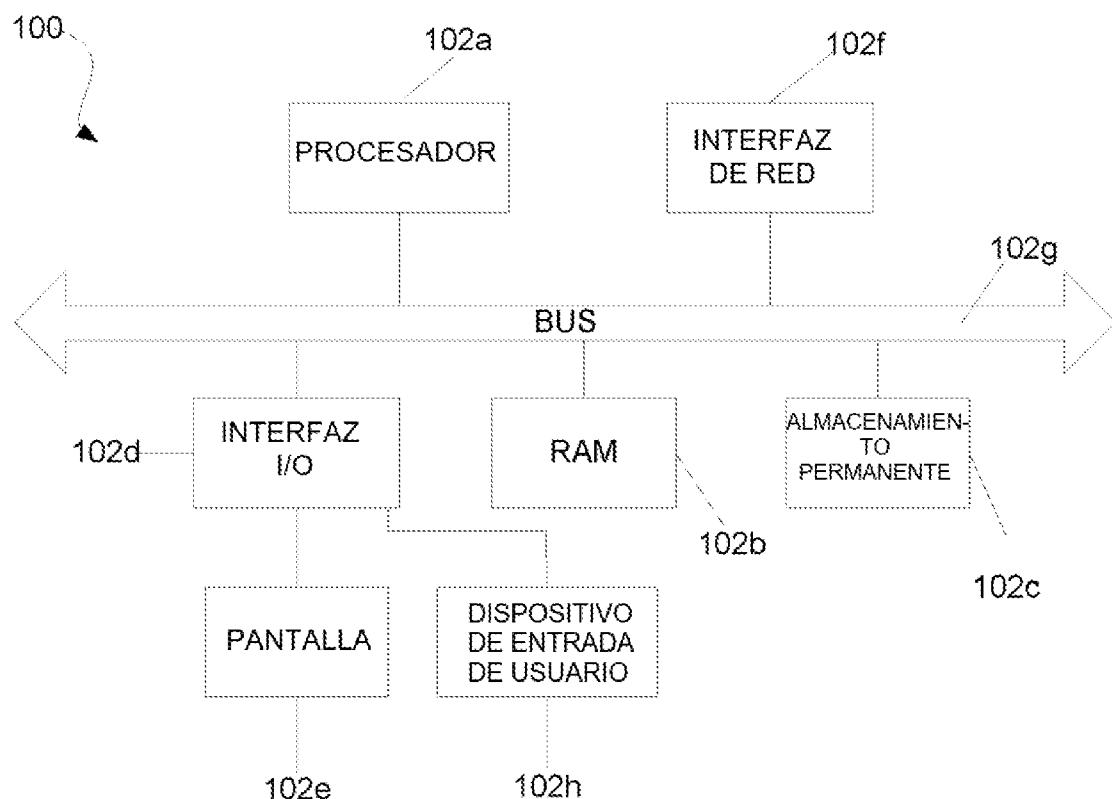


Figura 3

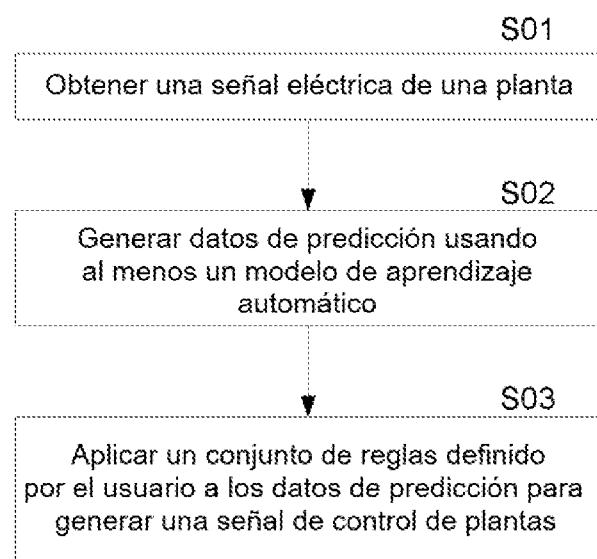


Figura 4

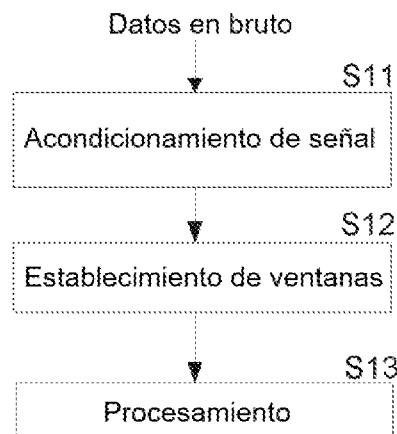


Figura 5

Activado	Conjunto de reglas	Prueba	En	(1 o 2) y (3 o 4)	Actualizar conjunto de reglas
	<input checked="" type="checkbox"/>				
Regla	Modelo, categoría	Recuento	Verdadero	Opción	
1	MODELO 1,CHA 1	101	70%	Actualizar Eliminar	
2	MODELO 1,CHA 2	101	70%	Actualizar Eliminar	
3	MODELO 2,CHA 3	2	70%	Actualizar Eliminar	
4	MODELO 3,CHA 4	2	70%	Actualizar Eliminar	
				Añadir	
<input type="button" value="Eliminar conjunto de reglas"/> 33    34    35    36    37					
<input type="button" value="Crear conjunto de reglas"/> 39					

Figura 6

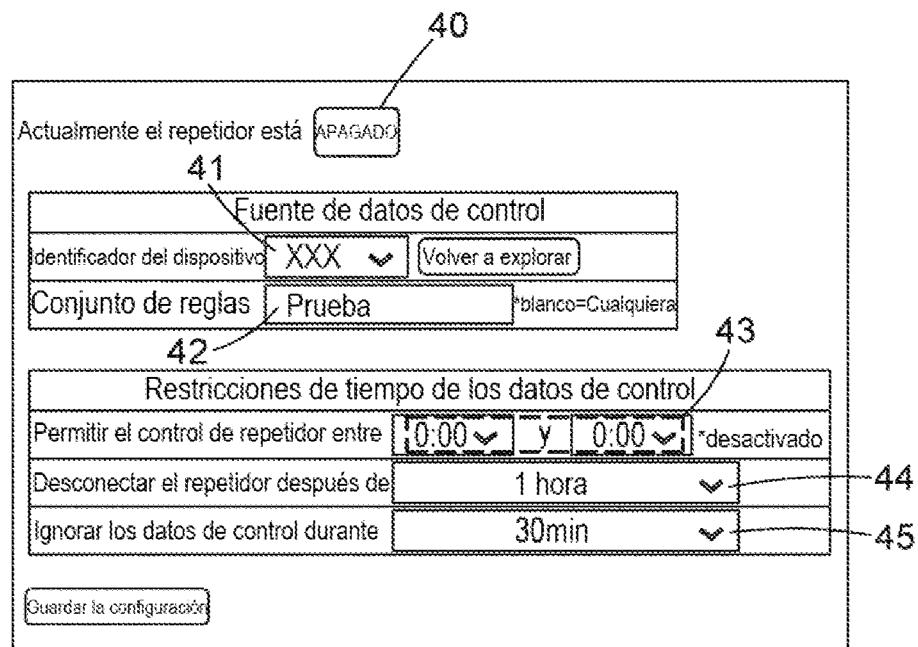
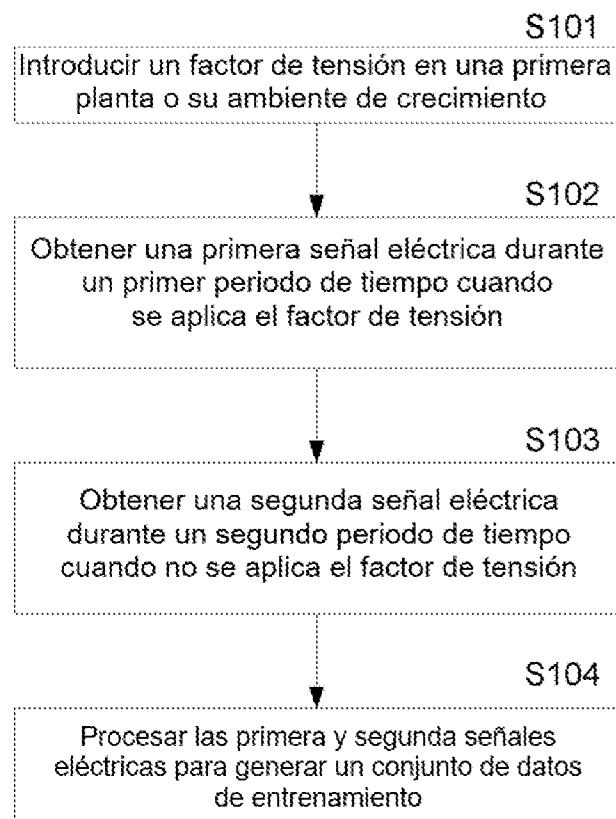


Figura 7

61	60
65 El controlador ID_relay1 está APAGADO	El controlador ID_relay3 está APAGADO
66 Prueba de seguimiento	Prueba de seguimiento
67 Actualizado 16:51:35	Actualizado 16:51:36
62	63
64	64
El controlador ID_relay2 está APAGADO Desactivado Actualizado 16:51:35	El controlador ID_relay4 está APAGADO Desactivado Actualizado 16:51:36

Figura 8



**Figura 9**

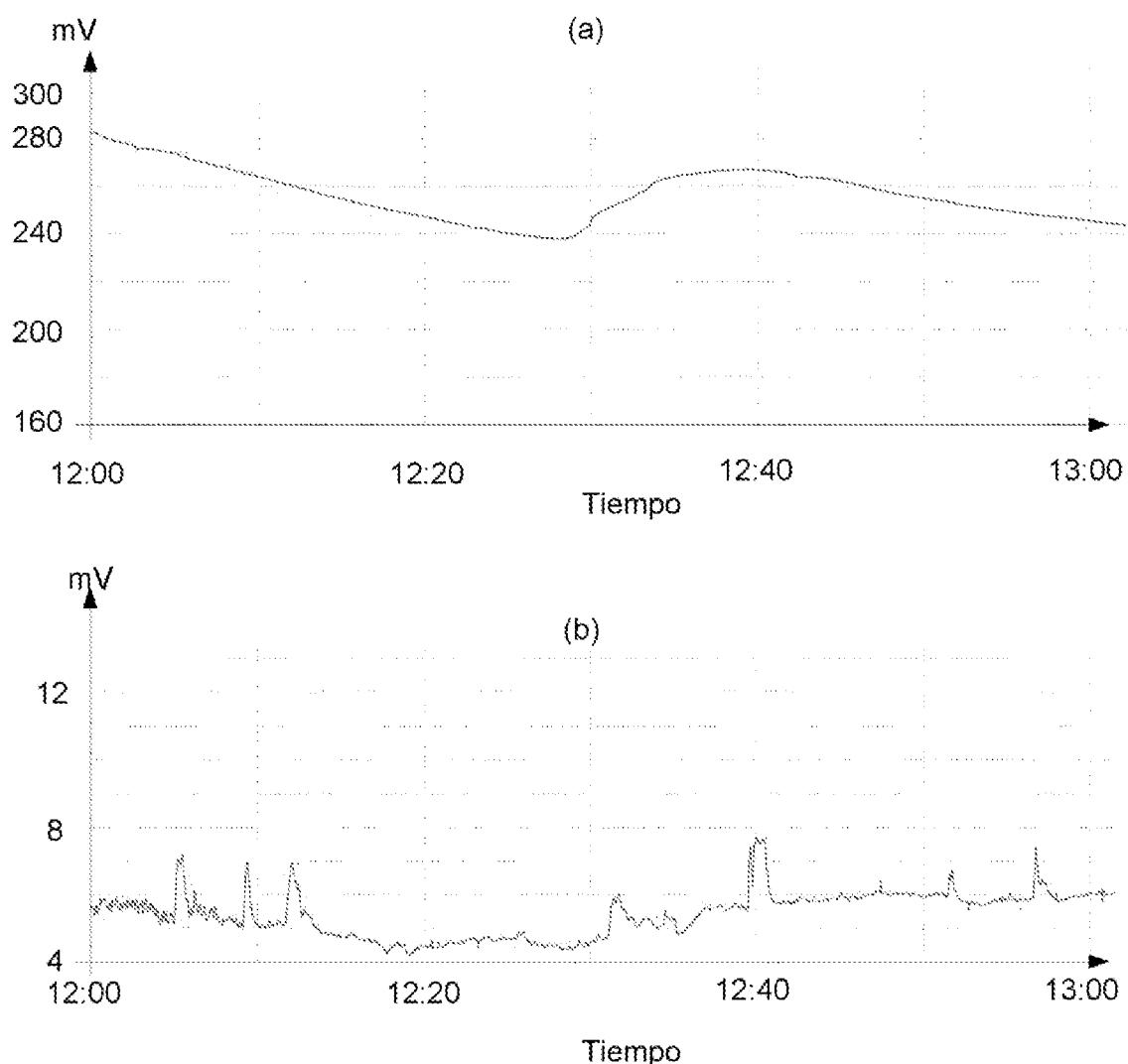


Figura 10

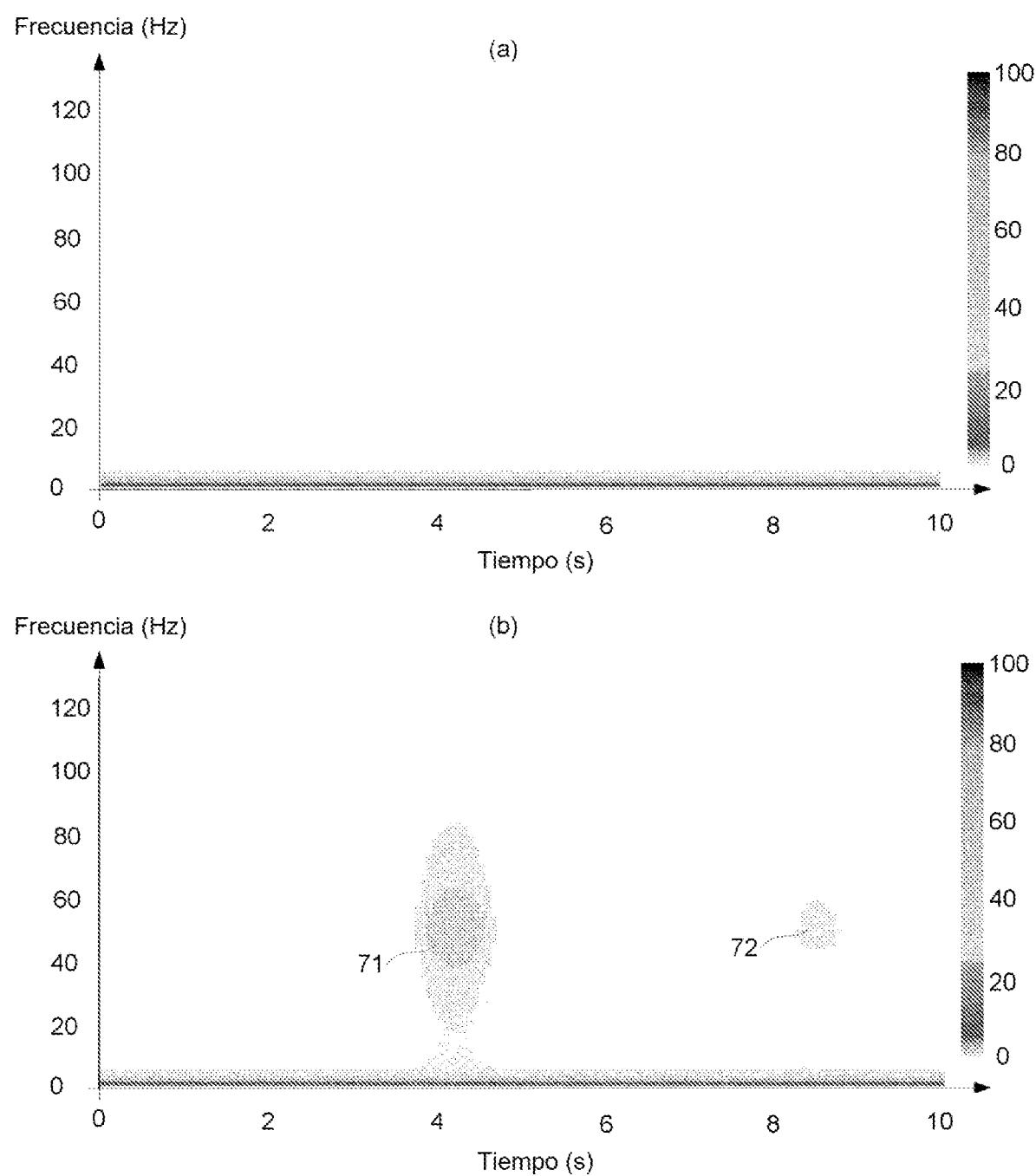


Figura 11

Activado <input checked="" type="checkbox"/>	Conjunto de reglas	Destruir_nematodos_2	En	(1 o 2)	<input type="button" value="Actualizar conjunto de reglas"/>
Regla	Modelo, categoría	Recuento	Verdadero	Opción	
1	ComplejoNema,NemaDía	12	90%	<input type="button" value="Actualizar"/> <input type="button" value="Eliminar"/>	
2	ComplejoNema,NemaNoche	10	70%	<input type="button" value="Actualizar"/> <input type="button" value="Eliminar"/>	
				<input type="button" value="Añadir"/>	
<input type="button" value="Eliminar conjunto de reglas"/>					
			<input type="button" value="Crear conjunto de reglas"/>		

Figura 12

Probabilidad (%)

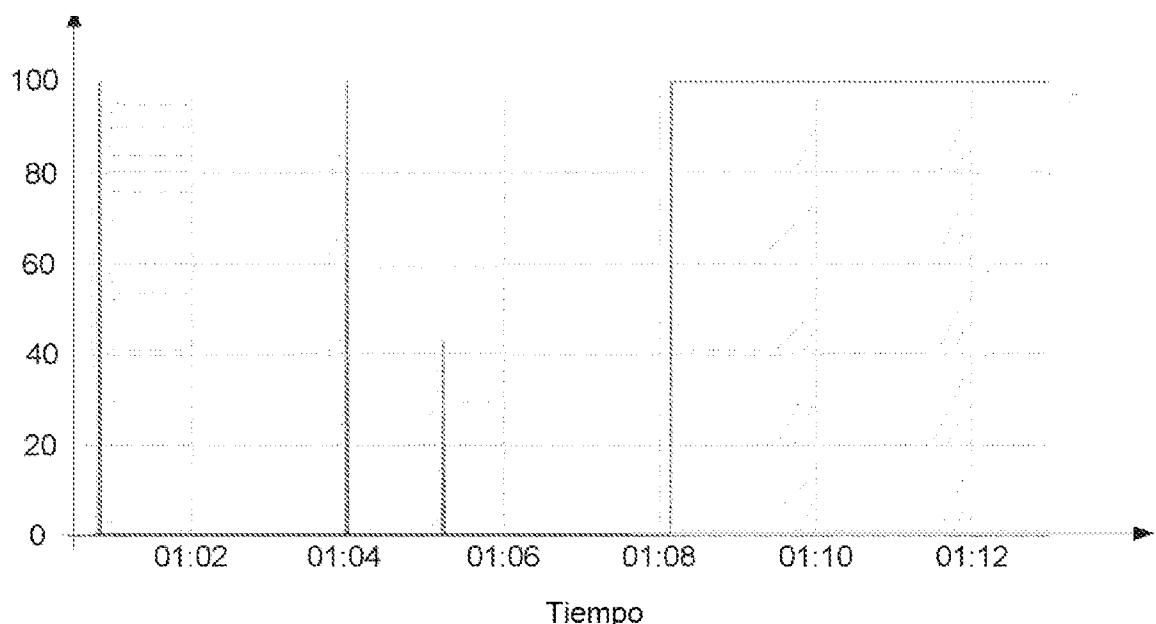


Figura 13

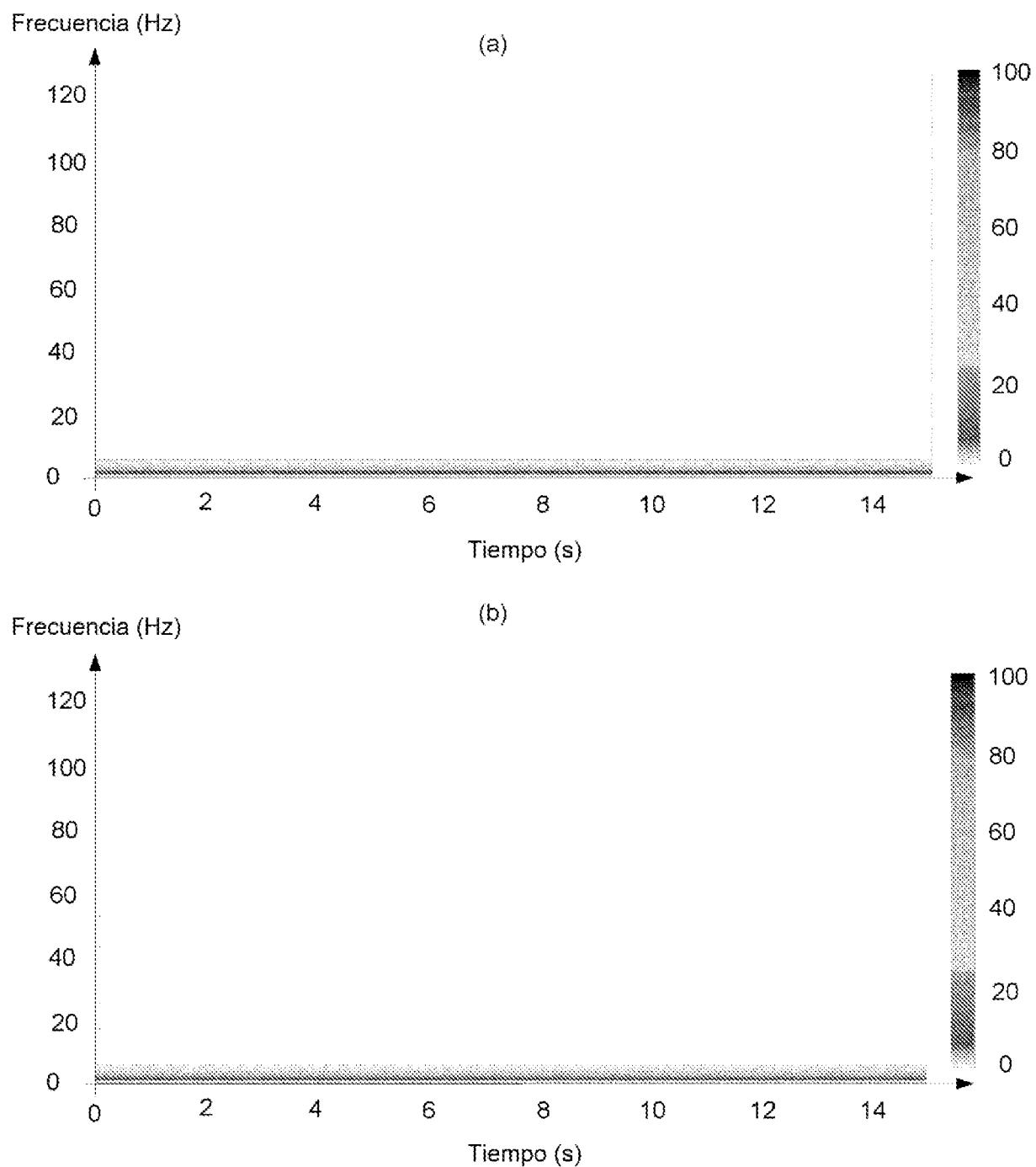


Figura 14

Activado <input checked="" type="checkbox"/>		Conjunto de reglas	Prueba1	En	(1 o 2)	Actualizar conjunto de reglas	
Regla	Canal	Modelo, categoría	Recuento	Verdadero	Opción	Actualizar	Eliminar
1	1	CTom6B,Grave	5	10%		Actualizar	Eliminar
2	2	CTom6B,Grave	10	10%		Actualizar	Eliminar
						Añadir	
<a href="#">Eliminar conjunto de reglas</a>							
Activado <input checked="" type="checkbox"/>		Conjunto de reglas	Prueba2	En	(1 o 2)	Actualizar conjunto de reglas	
Regla	Canal	Modelo, categoría	Recuento	Verdadero	Opción	Actualizar	Eliminar
1	3	CTom6B,Grave	5	20%		Actualizar	Eliminar
2	4	CTom6B,Grave	5	20%		Actualizar	Eliminar
						Añadir	
<a href="#">Eliminar conjunto de reglas</a>							
73							
<a href="#">Crear conjunto de reglas</a>							

Figura 15

Probabilidad (%)

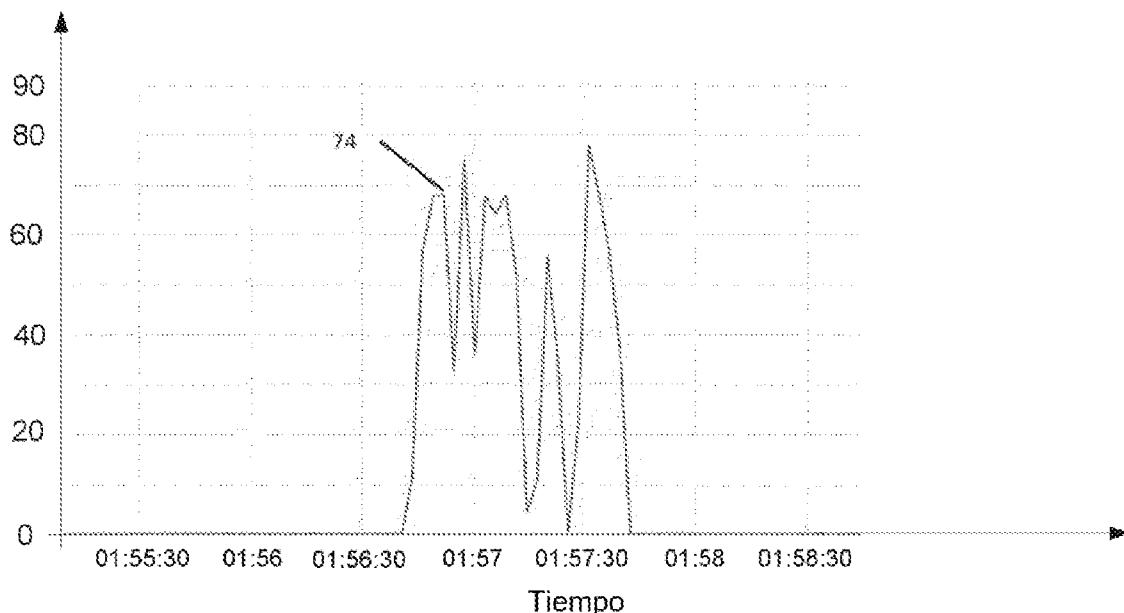


Figura 16