

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 628**

51 Int. Cl.:

A01G 7/00 (2006.01)

A01G 25/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.01.2008 E 08707157 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014 EP 2244548**

54 Título: **Método y dispositivo para determinar un parámetro de presión de una muestra de planta**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.02.2015

73 Titular/es:

**MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN E.V.
(33.3%)
Hofgartenstrasse 8
80539 München, DE;
JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
WÜRZBURG (33.3%) y
ZIM PLANT TECHNOLOGY GMBH (33.3%)**

72 Inventor/es:

**ZIMMERMANN, DIRK;
BAMBERG, ERNST;
ZIMMERMANN, ULRICH;
WESTHOFF, MARKUS;
REUSS, RANDOLPH;
GESSNER, ALBERT y
BAUER, WILLIBALD**

74 Agente/Representante:

ESPIELL VOLART, Eduardo María

ES 2 528 628 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

Método y dispositivo para determinar un parámetro de presión de una muestra de planta.

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un método de determinación de un parámetro de presión de una muestra de planta, en particular a un método de determinación de un parámetro de presión relacionado con el estado hídrico de la muestra de planta. Además, la presente invención se refiere a un dispositivo que está adaptado para realizar un método de determinación de un parámetro de presión. Las aplicaciones preferidas de la invención se encuentran en el campo de la supervisión no invasiva de las relaciones de agua de las plantas, en particular de hojas de plantas intactas, el control de sistemas de irrigación, y en investigación básica.

10 Antecedentes de la técnica

15 La gestión del agua es un aspecto importante para una producción con éxito de plantas agrícolas debido a que el estrés hídrico puede tener un efecto pronunciado sobre el crecimiento vegetativo, y el número y el tamaño y la calidad de los frutos. Una irrigación excesiva es costosa, puede dar lugar a un crecimiento vegetativo vigoroso así como a una maduración retardada y aumenta la necesidad de un control de enfermedades y plagas. Un suministro de agua excesivo también dará lugar a una percolación de agua por debajo de la zona de la raíz, filtrando nitrato y otros productos químicos a las aguas subterráneas. Además, la necesidad de optimizar el uso de agua del cultivo se ha vuelto más importante, dada la disminución en la cantidad de agua disponible para la agricultura y el aumento en la irregularidad de las distribuciones pluviales.

20 En la práctica, se han desarrollado diversos métodos de irrigación para optimizar la cantidad de agua y la frecuencia de la aplicación en función de la demanda de evapotranspiración, las condiciones atmosféricas y el tipo de suelo. Una irrigación eficiente requiere una información precisa acerca de los requisitos específicos de agua de la especie vegetal en diferentes fases de crecimiento y en unas condiciones (micro-) climáticas variables, y acerca del consumo de agua del cultivo para cumplir el sincronismo de programación de irrigación correcto y la cantidad correcta de agua y fertilizantes y para limitar las pérdidas a través de una percolación profunda.

25 El estado hídrico de las hojas puede determinarse usando una cámara de presión (P. F. Scholander y col. en "Science", vol. 148, 1965, págs. 339 - 346). El método es simple, pero sumamente invasivo, consume mucho tiempo y es poco adecuado para su automatización. Un inconveniente adicional es que el número de hojas que puede medirse es bastante limitado y, por lo tanto, los datos pueden presentar una imagen falsa de las condiciones *in situ* globales (debido a la variabilidad en cuanto a la altura, la exposición al sol, las condiciones microclimáticas, la circunferencia de la cubierta de copas etc.). Algo de la mayor importancia y que se ignora con frecuencia es que las lecturas no siempre pueden interpretarse con sencillez en términos de la presión de xilema y / o la presión de turgencia.

30 En la práctica se conocen técnicas adicionales para investigar el estado hídrico de las plantas, en particular para fines de irrigación. Como un ejemplo, pueden usarse sensores de humedad para medir directamente el contenido de humedad del suelo. A pesar de que tales sensores pueden instalarse de forma permanente en lugares representativos en un campo agrícola, se dan desventajas particulares en términos de la heterogeneidad del suelo y el requisito de un contacto íntimo con la matriz del suelo.

35 La información más fiable acerca del estado hídrico puede obtenerse si la presión de turgencia en las células vegetales se mide directamente. Se han descrito en el pasado diversos tipos de dispositivos de medición de presión de turgencia. Uno de los primeros ejemplos es la medición de presión en células vegetales que se describe por U. Zimmermann y col. ("*Die Naturwissenschaften*", 1969, vol. 56, pág. 634), mientras que la presión de turgencia se detecta con una combinación de una micro-aguja y una sonda de presión. Se han descrito técnicas adicionales de medición de presión de turgencia, como por ejemplo tonometría de bola, micro-indentación, mediciones de flexión de viga en voladizo o mediciones de aspiración por U. Zimmermann y col. ("*New Phytologist*", vol. 162, 2004, págs. 575 - 615) y por A. Geitmann ("*American Journal of Botany*", vol. 93, 2006, págs. 1380 - 1390). Como otro enfoque, la relación entre el espesor de la hoja y el potencial de agua de la planta se ha descrito por T. McBurney ("*Journal of Experimental Botany*", vol. 43, 1992, págs. 327 - 335).

40 En general, las técnicas convencionales de medición de presión de turgencia presentan desventajas en términos de una susceptibilidad de aplicación y fiabilidad limitadas en condiciones prácticas de la agricultura. Se ha descubierto que los resultados obtenidos con las técnicas convencionales tienen una importancia limitada. Además, las técnicas convencionales no son adecuadas para aplicaciones en exteriores a largo plazo, en especial debido a su susceptibilidad frente a vientos racheados o fuertes.

Objetivo de la invención

55 El objetivo de la invención es la provisión de un método y dispositivo mejorados de determinación de un parámetro de presión de una muestra de planta, que sea capaz de superar las limitaciones de las técnicas convencionales. En particular, el objetivo de la invención es la provisión de una técnica facilitada, fiable, económica y

adecuada para el campo de la supervisión en línea del estado hídrico de una planta.

Los objetivos anteriores se logran con unos métodos y dispositivos que comprenden las características de las reivindicaciones independientes. Se definen realizaciones y aplicaciones ventajosas de la invención en las reivindicaciones dependientes.

5 Resumen de la invención

De acuerdo con un primer aspecto, la invención está basada en la enseñanza técnica general de la provisión de un método de determinación de un parámetro de presión de una muestra de planta, mientras que la muestra de planta es sometida a una presión de apriete, se mide por lo menos un valor de respuesta de presión de la muestra de planta, la cual depende de la presión de apriete, y el parámetro de presión que va a obtenerse se determina sobre la base del por lo menos un valor de respuesta de presión medido. De acuerdo con la invención, la presión de apriete es ajustada, de tal modo que la muestra de planta tiene una respuesta de presión viscoelástica a la presión de apriete.

Con otras palabras, la presión de apriete se selecciona de tal modo que la muestra de planta tiene un comportamiento viscoelástico. Por consiguiente, si la muestra de planta es sometida a la presión de apriete previamente determinada, la muestra de planta se comprime hasta un determinado punto, mientras que con una liberación de la presión de apriete, la muestra de planta se está relajando. Preferiblemente, la relajación da como resultado una formación reversible de la geometría previa a la compresión. Sin embargo, una relajación reversible completa no es estrictamente necesaria para implementar la invención. Una relajación parcial hacia la geometría previa a la compresión puede ser suficiente para proporcionar un parámetro de presión preciso y fiable de la muestra de planta. Si la presión de apriete fuera demasiado baja, no se obtendría una respuesta de presión viscoelástica, la presión de apriete se vería absorbida por partes de la muestra de planta, que no dependen de la presión de turgencia. Por otro lado, si la presión de apriete fuera demasiado elevada, la muestra de planta podría sufrir daños.

El ajuste de la invención de la presión de apriete representa una ventaja esencial en comparación con las técnicas convencionales debido a que el por lo menos un valor de respuesta de presión medido proporciona una información precisa acerca del estado hídrico de la planta y permite un acceso a la presión de turgencia de las células vegetales de la muestra de planta investigada. Con el ajuste de la invención de la presión de apriete, en esencia se mejora la fiabilidad y reproducibilidad del parámetro de presión determinado. Por consiguiente, pueden facilitarse unas mediciones en condiciones prácticas de la agricultura, mientras que el aparato de la invención puede manejarse con un riesgo reducido de un error operativo.

De acuerdo con un segundo aspecto, la invención está basada en la enseñanza técnica general de la provisión de un aparato para determinar un parámetro de presión de una muestra de planta, en particular con un método según el primer aspecto anterior, que comprende un dispositivo de apriete (o: dispositivo de generación de presión de apriete) que está adaptado para someter la muestra de planta a una presión de apriete, un dispositivo de detección (o: dispositivo de detección de respuesta de presión) que está adaptado para detectar por lo menos un valor de respuesta de presión de la muestra de planta, mientras que el por lo menos un valor de respuesta de presión depende de la presión de apriete, y un dispositivo de ajuste, que está adaptado para ajustar la presión de apriete, de tal modo que la muestra de planta tiene una respuesta de presión viscoelástica a la presión de apriete.

De acuerdo con un tercer aspecto, la invención está basada en la enseñanza técnica general de la provisión de una instalación de irrigación que incluye por lo menos un aparato de determinación de parámetro de presión según el segundo aspecto anterior y por lo menos un dispositivo de irrigación, que está adaptado para ser controlado en función del parámetro de presión que se determina con el aparato de determinación de parámetro de presión. Ventajosamente, una pluralidad de aparatos de determinación de parámetro de presión pueden proporcionar una red, la cual está conectada con uno o múltiples dispositivos de irrigación. Además, la función de la instalación de irrigación puede mejorarse de modo ventajoso si esta está provista con por lo menos un componente de supervisión adicional que incluye un dispositivo de cámara y / o una estación de supervisión de condiciones atmosféricas (por ejemplo, temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa, precipitaciones pluviales).

De acuerdo con una realización preferida de la invención, el ajuste de presión de apriete comprende una calibración de dispositivo de apriete, mientras que la muestra de planta se somete a múltiples impulsos de presión de apriete de prueba (que varían en cuanto a su duración y / o amplitud) y se miden las respuestas de relajación de la muestra de planta, que están asociadas con cada uno de los impulsos de presión de apriete de prueba. Si la respuesta de relajación da como resultado una relajación por lo menos parcialmente (preferiblemente, completa) reversible de la muestra de planta, la presión de apriete de prueba asociada es seleccionada como la presión de apriete que va a usarse para las mediciones adicionales. Este procedimiento de calibración tiene una ventaja particular en términos de la optimización de la presión de apriete para una muestra de planta particular bajo investigación. Además, el procedimiento de calibración puede ser utilizado para recoger datos de planta de referencia.

Como alternativa, el ajuste de presión de apriete de la invención puede realizarse sobre la base de unos datos de planta de referencia previamente determinados. Como un ejemplo, pueden recogerse datos de planta de

5 referencia en almacenamientos de datos o tablas de datos, mientras que la presión de apriete óptima se enumera en función de la especie vegetal y unas propiedades fisiológicas detalladas adicionales de la muestra de planta (por ejemplo, edad, estado de crecimiento, fructificación, metabolismo) y propiedades del suelo. Los datos de referencia pueden obtenerse mediante mediciones, por ejemplo mediante el procedimiento de calibración anterior. Con el uso de los datos de planta de referencia previamente determinados, puede evitarse una calibración repetida de tal modo que se facilita adicionalmente la medición.

La muestra de planta que va a investigarse comprende en general cualquier parte de una planta biológica, en particular una hoja de planta u otro órgano de planta. La invención se ha sometido a prueba en particular con las plantas intactas vid, bejuco, plátano, tabaco, eucalipto, arce, aguacate y árboles frutales.

10 El valor de respuesta de presión comprende en general cualquier tipo de una medida física que sea característica para la respuesta directa o retardada de la muestra de planta a una presión externa. Es una ventaja particular de la invención que diversos tipos de valores de respuesta de presión pueden medirse y evaluarse adicionalmente para determinar el parámetro de presión. De acuerdo con una primera variante, una presión de apriete atenuada (presión de salida) de la muestra de planta puede medirse como el valor de respuesta de presión.
15 La presión de apriete atenuada es el valor de presión, que puede detectarse sobre un primer lado de la muestra de planta, mientras que la presión de apriete se ejerce sobre el segundo lado opuesto de la muestra de planta. Como un ejemplo, si la muestra de planta comprende una hoja de planta, la presión de apriete es sometida al lado superior de la hoja y la presión de apriete atenuada se mide en el lado opuesto inferior de la hoja. Debido a que la presión de apriete es parcialmente absorbida por la muestra de planta, tiene lugar una atenuación de tal modo que la presión de apriete atenuada es menor que la presión de apriete.
20

De acuerdo con una segunda variante, se mide una fuerza de salida de la muestra de planta, fuerza de salida que se crea en respuesta al ejercicio de la presión de apriete. La fuerza de salida puede medirse con un sensor de fuerza, el cual se dispone sobre un lado de la muestra de planta en una relación opuesta con respecto al lado del ejercicio de la presión de apriete. Medir la fuerza de salida de la muestra de planta en respuesta a la presión de apriete representa una ventaja debido a que la fuerza de salida es medida sin una dependencia de una deformación final pronunciada de la muestra de planta.
25

De acuerdo con una tercera variante, la medición del por lo menos un valor de respuesta de presión comprende medir por lo menos un valor de conductividad eléctrica de la muestra de planta. Ventajosamente, la presente realización de la invención usa el hecho de que la presión y el potencial eléctrico de membrana de las células vegetales están vinculados entre sí. Con una presión de turgencia variable, se hace que varíe el potencial de membrana, el cual puede detectarse con un dispositivo de electrodo. Además, las plantas tienen un potencial de superficie y una conductividad superficial. Con la aplicación de por lo menos dos dispositivos de detección dispuestos dentro de una distancia mutua sobre la muestra de planta, pueden detectarse los gradientes de presión a lo largo de la muestra de planta.
30

35 Otra ventaja de la invención viene dada por los diferentes parámetros de presión, que pueden ser determinados como características del estado hídrico de la planta. En primer lugar, el por lo menos un valor de respuesta de presión medido puede proporcionarse directamente como el parámetro de presión que va a ser determinado. El estado hídrico puede deducirse directamente a partir del valor de respuesta de presión medido, por ejemplo, mediante la presión de apriete atenuada medida, la fuerza de salida o la conductividad eléctrica. Como alternativa, pueden medirse una pluralidad de valores de respuesta de presión, mientras que el parámetro de presión que va a obtenerse viene dado por una medida cambiante cuantitativa de los valores de respuesta de presión. Para este fin, se proporciona un dispositivo de evaluación, que está adaptado para determinar la medida cambiante cuantitativa de los valores de respuesta de presión. De acuerdo con una alternativa adicional, el parámetro de presión comprende la presión de turgencia celular de la muestra de planta, que puede calcularse sobre la base del por lo menos un valor de respuesta de presión medido. Ventajosamente, la presión de turgencia representa una característica directa del estado hídrico de la planta. Con el cálculo de la presión de turgencia, se obtienen la máxima reproducibilidad y comparabilidad de los resultados de la medición.
40
45

Preferiblemente, la presión de turgencia celular es determinada sobre la base de por lo menos un valor de función de transferencia que depende de la presión de apriete y la presión de apriete atenuada medida. En general, la función de transferencia es un parámetro característico, el cual depende de la presión de turgencia. La función de transferencia puede construirse en función de la aplicación particular de la invención, por ejemplo con una función de simulación o unos datos de referencia previamente determinados. Sin embargo, preferiblemente, la función de transferencia viene dada por el cociente de la presión de apriete atenuada y la presión de apriete. En este caso, se facilita el cálculo de la presión de turgencia.
50

De acuerdo con realizaciones adicionales de la invención, la determinación de la medida cambiante cuantitativa comprende un cálculo de un cociente diferencial de valores de respuesta de presión subsiguientes, una primera derivada de los valores de respuesta de presión, una segunda derivada de los valores de respuesta de presión, una tasa de fluctuación de los valores de respuesta de presión, y / o un patrón de variación de los valores de respuesta de presión. La determinación de la medida cambiante cuantitativa tiene la ventaja particular de que las influencias individuales y específicas de las muestras de planta sobre el valor de respuesta de presión medido se
55
60

5 reducen o incluso se suprimen por completo. La medida cambiante cuantitativa puede determinarse con respecto al tiempo o una condición de medición variable. Preferiblemente, puede hacerse que varíe por lo menos una condición ambiental física o química de la muestra de planta, en particular por lo menos una de intensidad de iluminación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, y / o por lo menos una condición fisiológica de la muestra de planta, en particular por lo menos una de transpiración, actividad de estoma, fotosíntesis y una concentración de sustancia activa, por ejemplo una concentración de hormona, de pesticida y / o de herbicida.

10 Una realización ventajosa adicional de la invención está caracterizada por la etapa de seleccionar una ubicación de medición sobre la muestra de planta. La ubicación de medición puede seleccionarse con respecto a una distancia entre la ubicación de medición y un borde de la muestra de planta y / o un elemento estructural, por ejemplo un vaso de planta o cualquier parte saliente sobre la superficie de muestra de planta. Ventajosamente, seleccionar la ubicación de medición permite una optimización adicional de la determinación de parámetro de presión. Con la medición simultánea en una pluralidad de muestras de planta, seleccionar unas ubicaciones de medición idénticas, por ejemplo, en hojas de plantas, mejora la compatibilidad de los resultados de medición.

15 De acuerdo con la invención, la etapa de ajuste de la presión de apriete puede modificarse adicionalmente tal como sigue. En primer lugar, una determinada almohadilla de apriete puede seleccionarse en función del tipo de la muestra de planta. Como ejemplos, puede seleccionarse un par de almohadillas de apriete planas para unas mediciones en muestras de planta planas, por ejemplo, hojas de plantas. Como alternativa, pueden usarse unas almohadillas de apriete curvadas, de superficie estructurada y adaptables a la estructura superficial, para la medición con muestras de planta que tienen otra geometría. En segundo lugar, puede hacerse que varíe una longitud de brazo de apriete del dispositivo de apriete para una adaptación al tipo, en particular el tamaño de la muestra de planta y / o la presión de apriete que va a ejercerse. De acuerdo con realizaciones adicionales de la invención, la determinación de parámetro de presión puede combinarse con etapas adicionales que comprenden procedimientos de medición, de supervisión y / o de inyección. Como ejemplos, pueden medirse por lo menos una de intensidad de iluminación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, condición de transpiración y condición de fotosíntesis, la muestra de planta puede supervisarse con un dispositivo de cámara, y / o puede inyectarse una sustancia activa, por ejemplo una hormona, un pesticida y / o un herbicida en la muestra de planta. Ventajosamente, puede detectarse una variación del parámetro de presión o la presión de turgencia celular en respuesta a una inyección de la sustancia activa. Como una variante adicional, puede medirse un gradiente del parámetro de presión o en particular un gradiente de la presión de turgencia celular a lo largo de una superficie de muestra de planta.

30 De acuerdo con una realización preferida particular de la invención, el parámetro de presión de la invención o en particular la presión de turgencia celular se compara con por lo menos un valor de referencia, y se genera una señal de control dependiendo de un resultado de esta comparación. Preferiblemente, la presente realización de la invención proporciona la señal de control como un resultado de la comparación del parámetro de presión (o la presión de turgencia) con un valor umbral previamente determinado que es característico para el estado hídrico de la planta. Como un ejemplo, si la presión de turgencia disminuye por debajo de un límite previamente determinado, la señal de control puede usarse para accionar un dispositivo de irrigación. La etapa de comparación puede implementarse mediante el aparato para determinar el parámetro de presión, mediante una instalación de accionamiento independiente, mediante un dispositivo de control central o mediante el dispositivo de irrigación.

40 Por consiguiente, el método de la invención puede comprender una etapa de enviar el valor de respuesta de presión medido, el parámetro de presión, la presión de turgencia y / o la señal de control anterior al componente, el cual se dispone para implementar la etapa de comparación. Ventajosamente, estos datos pueden enviarse por medio de una red a una ubicación distante, donde se implementa la etapa de comparación y se completa un procesamiento adicional de la señal de control.

45 Preferiblemente, el dispositivo de irrigación es controlado directamente por lo menos mediante uno de los datos anteriores (valor de respuesta de presión medido, parámetro de presión, presión de turgencia y / o señal de control). Un control automático puede implementarse con un lazo de control que comprende el aparato para determinar el parámetro de presión, un circuito de comparación para implementar la etapa de comparación anterior y el dispositivo de irrigación.

50 De acuerdo con una realización adicional de la invención, las etapas de someter la muestra de planta a la presión de apriete y medir los valores de respuesta de presión de la muestra de planta pueden realizarse sobre diferentes lados de la muestra de planta. Ventajosamente, esto puede proporcionar una información más detallada acerca del estado hídrico de la muestra de planta.

55 De acuerdo con una realización adicional de la invención, se suministra energía al aparato de determinación de parámetro de presión (que incluye el equipo para almacenamiento de datos y transferencia de datos) usando un dispositivo de suministro de energía conectado con el dispositivo de apriete y / o el dispositivo de detección, preferiblemente una célula solar o un dispositivo de célula de combustible en combinación con un acumulador de energía, tal como una batería recargable. Ventajosamente, el dispositivo de suministro de energía puede ser controlado de tal modo que se suministra energía eléctrica al aparato de determinación de parámetro de presión (que incluye el equipo para almacenamiento de datos y transferencia de datos) dependiendo de la hora del día. Como un ejemplo, al mediodía el suministro de energía eléctrica puede aumentarse cuando el sistema de

irrigación requiere unas mediciones frecuentes, mientras que el suministro de energía eléctrica puede reducirse hasta cero por la tarde o de noche.

5 Son objetos independientes adicionales de la invención un programa informático que reside en un medio legible por ordenador, con un código de programa para llevar a cabo por lo menos una etapa de un método de determinación de un parámetro de presión de la muestra de planta de acuerdo con el primer aspecto anterior, y un aparato que comprende un medio de almacenamiento legible por ordenador que contiene instrucciones de programa para llevar a cabo por lo menos una etapa del método de determinación de un parámetro de presión de la muestra de planta.

10 Como una modificación adicional, es posible usar la invención para determinar un parámetro de presión de otro material biológico o no biológico, como por ejemplo una pieza de máquina o un bien de consumo. Por ejemplo, las siguientes muestras no biológicas pueden ser investigadas con el método de la invención (por ejemplo, material celular, corcho, materiales sintéticos, polímeros, hidrogeles).

Breve descripción de los dibujos

15 Se describen detalles y ventajas adicionales de la invención en lo siguiente con referencia a los dibujos adjuntos, que muestran en:

- la figura 1: un diagrama esquemático de flujo que ilustra características de realizaciones preferidas del método de la invención;
- la figura 2: una ilustración esquemática de una realización preferida de un aparato de determinación de parámetro de presión de acuerdo con la invención;
- 20 la figura 3: una representación esquemática de modelo de una muestra de planta usada para ilustrar los antecedentes teóricos del método de la invención;
- la figura 4: una ilustración en sección transversal de un dispositivo de detección de valor de respuesta de presión usado de acuerdo con la invención;
- las figuras 5 y 6: unas ilustraciones de dispositivos de apriete usados de acuerdo con la invención;
- 25 la figura 7: una ilustración esquemática de una instalación de irrigación de la invención; y
- las figuras 8 a 12: unos ejemplos de resultados experimentales que se obtienen con la técnica de la invención.

Realizaciones de la invención

30 Se describen realizaciones preferidas de la invención en lo siguiente con ejemplar referencia a mediciones con hojas de plantas. Se hace notar que la implementación de la invención no se limita a este tipo de muestras, sino que es posible, de forma correspondiente, con otros tipos de muestras de planta, como por ejemplo tejido de planta u otras partes de las plantas (por ejemplo, agujas (hojas aciculares), tallo, brotes, hojas cortadas, frutos, raíces). Además, la invención puede usarse con plantas vivas o en particular para fines de investigación con fragmentos de planta separados de una planta viva.

1. Métodos de determinación de un parámetro de presión de una muestra de hoja

35 En la figura 1 se resumen de forma esquemática características de realizaciones preferidas del método de la invención de determinación de un parámetro de presión de una muestra de planta. Generalmente, el método comprende tres etapas principales de someter la muestra de planta a una presión de apriete (la etapa S1), medir por lo menos un valor de respuesta de presión de la muestra de planta (la etapa S2) y un análisis de datos con una determinación del parámetro de presión que va ser investigado (la etapa S3).

40 A pesar de que se describen detalles de las etapas S1 a S3 en lo siguiente, se hace referencia adicional a la figura 2 la cual ilustra esquemáticamente una realización de un aparato 100 para determinar un parámetro de presión de una hoja de planta 1 con los métodos de acuerdo con la figura 1. El aparato 100 comprende un dispositivo de apriete 10 con la primera y la segunda almohadillas de apriete 11, 12, unos brazos de apriete 13 y un elemento de fuerza 14, un dispositivo de detección 20, un dispositivo de ajuste 30 y un dispositivo de evaluación 40. El dispositivo de detección 20 está integrado en la segunda almohadilla de apriete 12. Con el dispositivo de apriete 45 10, la hoja de planta 1 se somete a una presión de apriete entre las almohadillas de apriete 11 y 12. Detalles adicionales del aparato 100 se describen más adelante.

50 La etapa S1 incluye el acondicionamiento del sistema de hoja - sensor con una selección de un órgano de planta que va a investigarse (etapa 11), una provisión de un contacto uniforme de las almohadillas de apriete 11, 12 del dispositivo de apriete 10 con el órgano seleccionado (etapa S12) y una generación de la presión de apriete (etapa S13). De acuerdo con la característica esencial de la presente invención, la presión de apriete se selecciona con un método de relajación de presión (etapa S14) y / o con un acceso a unos datos de referencia (etapa S15) de

tal modo que la hoja de planta presenta una respuesta de presión viscoelástica.

La etapa de selección de órgano de planta S11 incluye la selección de una determinada hoja 1 de una planta en un campo agrícola de plantas o en condiciones de laboratorio, una selección de una ubicación de medición, en la que se colocan el dispositivo de apriete 10 y un dispositivo de detección de valor de respuesta de presión 20 y / o una selección de una cierta distancia de la ubicación de medición con respecto al borde de una hoja de planta 1. Estas selecciones se realizan en función de la aplicación particular de la invención. Para medir de manera muy sensible la pérdida de agua, el elemento de apriete se encuentra preferentemente cerca de la periferia de la hoja, para medir el suministro de agua desde las raíces hasta las hojas, el elemento de apriete se coloca de forma preferente cerca de la vena principal de la hoja.

Con la etapa S12, se proporciona el contacto uniforme de la almohadilla de apriete con la hoja de planta. Para este fin, la etapa S12 puede incluir una etapa de una selección de una forma de almohadilla apropiada, por ejemplo, un par de almohadillas con unas superficies planas o curvadas. Como alternativa o adicionalmente, pueden seleccionarse unas almohadillas con una superficie estructurada que tiene una geometría complementaria con respecto a la superficie de la hoja de planta.

La presión de apriete apropiada específica de la planta es aplicada a la hoja de planta sobre la base de un ajuste con el dispositivo de ajuste 30. Si la presión de apriete se selecciona con el método de relajación de presión (calibración), la etapa S14 incluye las etapas de someter la hoja de planta a unos impulsos de presión de apriete de prueba. Se aplica a la hoja de planta una serie de impulsos de presión de apriete de prueba con una amplitud (y duración) de presión de apriete creciente. Después de cada impulso de presión de apriete de prueba, la presión de apriete se libera para supervisar el comportamiento de relajación de la hoja de planta. Si la hoja de planta muestra un método de relajación reversible, es decir, si la presión vuelve al valor previo en un tiempo muy corto (por ejemplo, hasta 60 segundos), este valor de presión es usado como una presión de apriete apropiada que va a aplicarse con la etapa S13.

La etapa de medición S2 incluye unas mediciones continuas de las presiones de salida (presiones de apriete atenuadas) con el dispositivo de detección 20 (etapa S21). Como un ejemplo, se registran valores de presión cada 5 s si se realizan experimentos a corto plazo (por ejemplo, durante hasta 1 día). Para las mediciones a largo plazo, es suficiente si se registra un valor cada 15 min. La frecuencia de registro depende de la energía eléctrica que se encuentra disponible. Bajo condiciones de campo, por lo general se usa energía solar para cargar baterías. Como alternativa, puede usarse una célula de combustible como un suministro de energía. Opcionalmente, puede hacerse que varíen determinados parámetros de sistema durante la medición de las presiones de apriete atenuadas (etapa S22). La etapa de variación S22 incluye por ejemplo la variación de parámetros ambientales físicos o químicos o la inyección de sustancias activas, como por ejemplo hormonas o pesticidas o herbicidas. Simultáneamente, pueden medirse los gradientes de presión o los gradientes de conductividad eléctrica a través de la hoja de planta.

Las señales de presión atenuada medida se transfieren a un registrador de datos, un ordenador o un servidor en una red (etapa S23) o bien mediante cable o bien mediante un sistema de transmisor - receptor inalámbrico. La transferencia de datos S23 se conduce, por ejemplo, a Internet. Los datos transferidos se someten a un procesamiento de datos para determinar por lo menos un parámetro de presión sobre la base de los valores de respuesta de presión medidos (etapa S24). El parámetro de presión que va a determinarse comprende por lo menos uno del valor o valores de respuesta de presión medidos, una presión de turgencia celular (p_c) y una medida cambiante cuantitativa de los valores de respuesta de presión.

El análisis adicional (etapa S3) puede comprender un análisis de umbral (la etapa S31) para generar una señal de control para un sistema de irrigación y / o un análisis de datos adicional (S33) para el fin de una investigación adicional (etapa S34). Sobre la base de la señal de control que se genera con la etapa 31, se controlan los sistemas de irrigación. Se proporcionan unos sistemas de realimentación, por ejemplo lazos de control, para controlar incluso la irrigación de la planta o el campo de plantas en el que se ha realizado la medición de presión (etapa S32).

2. Teoría de respuesta de presión y determinación de parámetro de presión de turgencia

La generación y la medición de una respuesta de presión de una muestra de planta y el análisis de la misma se describe con referencia a la figura 3, la cual muestra una vista esquemática en sección ampliada de una hoja de planta 1. La hoja de planta 1 comprende el tejido de planta 2 con las células turgentes 3 y la cutícula (que incluye otros elementos estructurales) 4.

La presión de entrada vista por las células 3 en la hoja 1, $P_{entrada}$, sólo es igual a la presión de apriete externa, $P_{apriete}$, si la señal de presión se transfiere sin pérdidas a las células 3. No obstante, por lo general tienen lugar pérdidas debido a la compresibilidad y la deformabilidad de la silicona del dispositivo de detección 20 (véase más adelante) así como de la compresibilidad de la cutícula 4 y otros elementos estructurales de la hoja 1. Por lo tanto, solo una fracción de $P_{apriete}$ es vista por las células 3, es decir, el factor de atenuación, $F_a = P_{entrada} / P_{apriete}$, es más pequeño que la unidad. En el caso de las hojas rígidas de, por ejemplo, hojas de vid, F_a es c. 0,3, tal como se pone de manifiesto por experimentos de control de los inventores de la presente invención. Puede suponerse que F_a

es constante debido a que $P_{apriete}$ se mantiene constante durante el periodo de medición.

Por lo tanto, la presión de salida (o: presión de apriete atenuada), P_p , se determina sólo por una función de transferencia de célula, $T_f(V)$, en la que V es el volumen de hoja de parche. $T_f(V)$ determina la fracción de $P_{entrada}$ que se detecta por el dispositivo de detección 20 (es decir, P_p). T_f es adimensional y adopta unos valores entre cero y la unidad:

$$P_p = T_f(V) \cdot P_{entrada} \quad (1)$$

El aparato 100 mide la presión de apriete atenuada, P_p , de la hoja 1 en respuesta a la presión de apriete externa, $P_{apriete}$. La atenuación de $P_{apriete}$ depende de la función de transferencia de hoja. La magnitud de la función de transferencia de hoja y, por lo tanto, la atenuación de señales de presión externas, se determina mediante un término independiente de la presión de turgencia y específico de la planta (relacionado con la compresión de la cutícula, las paredes celulares y otros elementos estructurales) y un término dependiente de la presión de turgencia, T_f . Con el ajuste de la invención de la presión de apriete, se elimina el término independiente de la presión de turgencia. Las siguientes ecuaciones muestran que T_f es una función potencial de P_c y que T_f adopta unos valores cercanos a cero si P_c es alta y viceversa, unos valores cercanos a la unidad si P_c es baja.

La función de T_f sobre el volumen de hoja, V , viene dada a una temperatura ambiente constante, T , por la Ec. 2:

$$T_f = - \left(\frac{\delta T_f}{\delta V} \right)_T \cdot V \quad (2)$$

El cambio de volumen relativo $\delta V / V$ del parche de hoja se correlaciona con el cambio de presión de turgencia, δP_c , por el módulo elástico volumétrico promedio, ϵ_p , del tejido por debajo del elemento de apriete.

$$\left(\frac{\delta P_c}{\delta V} \right)_T = \frac{\epsilon_p}{V} \quad (3)$$

ϵ_p es un parámetro complejo y dependerá, entre otros, de la magnitud de la presión de turgencia P_c . Para una aproximación, puede suponerse que ϵ_p aumenta de forma lineal con P_c :

$$\epsilon_p = aP_c + b \quad (4)$$

en la que a y b son constantes. Debido a las propiedades viscoelásticas de las paredes celulares, la magnitud de las constantes depende de la duración de la aplicación de presión. Las constantes son relativamente grandes si se inducen unos cambios rápidos de presión de turgencia (por ejemplo, mediante el uso del dispositivo de apriete 10), mientras que unos cambios lentos de presión de turgencia (por ejemplo, inducidos por transpiración) dan como resultado unos valores pequeños.

La combinación de las Ecs. 2 - 4 conduce a la Ec. 5:

$$\frac{dT_f}{T_f} = - \frac{dP_c}{aP_c + b} \quad (5)$$

La Ec. 5 puede integrarse si se supone para una primera aproximación que, a $P_c = 0$ $T_f = 1$ y que la presión osmótica interna de las células 3 se mantiene casi constante en el intervalo de turgencia celular. Después de unas reorganizaciones apropiadas, se obtiene la Ec. 6:

$$T_f = \left(\frac{b}{aP_c + b} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (6)$$

y, respectivamente, si el denominador se sustituye por la Ec. 4:

$$T_f = \left(\frac{b}{\varepsilon_p} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (7)$$

La introducción de la Ec. 6 en la Ec. 1 proporciona una relación entre los parámetros P_p y $P_{entrada}$:

$$P_p = \left(\frac{b}{aP_c + b} \right)^{\frac{1}{a}} P_{entrada} \quad (8)$$

5 La Ec. 8 puede demostrarse por medios experimentales. La inspección de la ecuación muestra que la presión de apriete atenuada, P_p , es una función potencial de la presión de turgencia P_c . El exponente de la función es igual o más pequeño que la unidad. Si $a = 1$ y $b \ll P_c$, la Ec. 8 se convierte en $P_p = b \cdot 1 / P_c$, es decir, ambos parámetros están vinculados directamente de forma recíproca entre sí. Por lo tanto, T_f adopta unos valores bajos si P_c es alta y viceversa, un valor cercano a la unidad si P_c es cercano a cero. Usando unos valores apropiados para a y b (véase más adelante) puede mostrarse que, por debajo de $P_c = 100$ kPa, P_p ha de aumentar drásticamente. Esto es de gran interés para la programación de irrigación debido a que el rápido incremento de P_p tras el acercamiento al punto plasmolítico permite la detección de pérdida de presión de turgencia a su debido tiempo.

Para aplicaciones prácticas, pueden suponerse los siguientes valores de a y b : $a = 2 - 10$ kPa, $b = 2 - 15$ kPa.

15 Por consiguiente, la presión de turgencia P_c puede determinarse como el parámetro de presión sobre la base del por lo menos un valor de respuesta de presión (P_p).

3. Aparato para determinar un parámetro de presión de una muestra de hoja

Detalles adicionales del dispositivo de apriete 10, el dispositivo de detección 20, el dispositivo de ajuste 30 y el dispositivo de evaluación 40 se describen en lo siguiente (las figuras 2, 4).

20 Con referencia a la figura 2, el dispositivo de apriete 10 comprende dos almohadillas de apriete 11, 12 circulares planas, en las que una de las almohadillas de apriete 11, 12 contiene un receptáculo para la integración del dispositivo de detección 20. Para las mediciones de presión, una hoja se coloca en el espacio entre dos almohadillas de apriete 11, 12. Las almohadillas de apriete pueden integrarse en diversos tipos de montajes de elemento de apriete (las figuras 5, 6).

25 El elemento de fuerza 14 del dispositivo de apriete 10 está adaptado para generar una fuerza de apriete, que se transmite directamente a las almohadillas de apriete 11, 12 (figura 6; dispositivo de apriete de tornillo) o por medio de los brazos de apriete 13 (figura 5; dispositivo de apriete de resorte). De acuerdo con la invención, pueden generarse diversos tipos de fuerzas de apriete con el elemento de fuerza 14, por ejemplo, una fuerza de resorte elástica (véase el dispositivo de apriete de resorte de la figura 5), una fuerza estática (véase el dispositivo de apriete de tornillo de la figura 6), una fuerza acústica, una fuerza magnética o una fuerza eléctrica.

30 El dispositivo de detección 20 está integrado en la segunda almohadilla de apriete 12. La figura 4 ilustra detalles de una realización preferida de un dispositivo de detección 20. La presente realización está adaptada para detectar una fuerza de salida que se transmite por la hoja de planta 1 en respuesta a la presión de apriete externa.

35 El dispositivo de detección 20 comprende una cubierta exterior 21, el cual contiene un disco de contacto 22, una junta de silicona 23, un sensor de fuerza 24, una lechada de silicona 26, una membrana de PTFE 27 y unos cables de conexión 28. La cubierta 21 está integrada en la almohadilla de apriete inferior 12 del dispositivo de apriete 10 (figura 2). Como alternativa, la cubierta 21 puede proporcionar la almohadilla de apriete 12 como tal.

40 El disco de contacto 22 comprende una placa fabricada de un material sólido, por ejemplo, una placa metálica. El disco de contacto 22 está expuesto a la hoja de planta 1. Una diferencia en cuanto a la altura se proporciona entre la superficie superior de la cubierta 21 y la superficie del disco de contacto 22 (tal como se muestra en la figura 4). Esta distancia puede seleccionarse en el intervalo de 10 μ m a 5 mm. Como alternativa, la superficie del disco de contacto 22 puede alinearse con la superficie superior de la cubierta 21. La junta de silicona 23 se usa para colocar el disco de contacto 22 en la cubierta 21 de una manera móvil y evita la entrada de humedad. Por consiguiente, el disco de contacto 22 se coloca de una manera flotante sobre la esfera de contacto 25 del sensor de fuerza 24. La esfera de contacto 25 proporciona un contacto con forma de punto del disco de contacto 22 con el sensor de fuerza 24. El sensor de fuerza 24 incluye un elemento piezoeléctrico, que está incluido en un puente de Wheatstone que es conocido a partir de sensores de presión convencionales. La señal de salida del puente de

Wheatstone se transfiere por medio del cable de conexión 28 al dispositivo de evaluación 40 (la figura 2). El dispositivo de detección 20 puede calibrarse mediante presurización en una cámara de presión que está equipada con un manómetro integrado o mediante la carga del disco de contacto con unos pesos definidos.

5 Como alternativa, el dispositivo de detección puede estar provisto para una medición de fuerza con por lo menos un sensor de viga en voladizo tal como se conoce a partir de la microscopía de fuerza de barrido.

10 Como una alternativa adicional, el dispositivo de detección puede estar adaptado para medir una presión de salida o la función de transferencia de la hoja 1. Este está basado en una galga extensométrica de chip electrónica que está revestida con una membrana de silicona delgada. Tras la aplicación de presión, se generan unos efectos piezorresistivos que son proporcionales a las deformaciones que se experimentan por el sensor. Los cambios en la resistencia se detectan mediante un puente de Wheatstone que está integrado en el chip.

De acuerdo con la invención, el dispositivo de detección puede estar adaptado para medir la conductividad eléctrica de la hoja (en perpendicular con respecto a la extensión plana de la hoja).

15 De acuerdo con alternativas adicionales, el dispositivo de detección 20 puede incluir múltiples sensores de presión o de fuerza. Por consiguiente, pueden recogerse de forma simultánea múltiples valores de respuesta de presión, en particular para fines de referencia o para supervisar los gradientes de presión. En el caso de un mal funcionamiento de un sensor, los sensores restantes pueden usarse para la medición.

20 Si se proporcionan electrodos en ambas almohadillas de apriete 11, 12 opuestas, puede realizarse el siguiente procedimiento de medición. Se suministran impulsos de tensión / corriente a los electrodos para múltiples mediciones de la conductividad eléctrica. La frecuencia del impulso puede seleccionarse en el intervalo de, por ejemplo, 0,01 Hz a 100 MHz. La respuesta de presión puede correlacionarse con la conductividad eléctrica.

25 Los dispositivos de apriete 10 pueden estar provistos con las siguientes modificaciones adicionales. El área de las almohadillas de apriete 11, 12 y / o la longitud de los brazos de apriete 13 pueden ser variables. Las almohadillas de apriete 11, 12 pueden ser intercambiables, de tal modo que el dispositivo de apriete puede estar adaptado a una planta particular, por ejemplo a muestras de agujas de planta. La forma y / o la estructura de las almohadillas de apriete pueden ser ajustables, por lo tanto puede facilitarse adicionalmente la adaptación de las almohadillas de apriete a una planta particular. Además, un revestimiento superficial coincidente, por ejemplo fabricado de un material sintético o por deposición en fase de vapor sobre superficies de metal puede proporcionarse sobre por lo menos una de las almohadillas de apriete. La estructura de las almohadillas de apriete puede ser seleccionada según la estructura de la muestra de planta. Por consiguiente, el contacto con la muestra puede mejorarse. Incluso es posible medir la respuesta de presión en los vasos de hojas de planta, como venas de hojas, o detectar vasos con cavitaciones.

30 Si por lo menos una almohadilla de apriete está fabricada de un material transparente, la superficie de hoja sometida a apriete puede iluminarse durante la medición. Si por lo menos una almohadilla de apriete está fabricada de un material poroso, la transpiración de la hoja puede facilitarse.

35 El número de referencia 15 en la figura 2 hace referencia a un componente opcional adicional del dispositivo de apriete 10, el cual puede comprender por lo menos uno de un dispositivo de inyección integrado, un dispositivo de guía de luz, y un dispositivo de electrodo. Con el dispositivo de inyección 15, que incluye un depósito de inyección y una aguja de inyección, puede aplicarse a la hoja una sustancia activa. Como alternativa, puede proporcionarse un dispositivo de inyección, a distancia del dispositivo de apriete, en particular con el dispositivo de irrigación y / o con un dispositivo para una inyección directa a un órgano de planta (por ejemplo, raíces, tallo).

40 La figura 2 ilustra de forma esquemática un dispositivo de protección 50 que cubre el aparato 100. El dispositivo de protección 50 está adaptado para proteger por lo menos los componentes 10 y 20 frente a la humedad, la temperatura extrema y / o el impacto mecánico.

45 La presión de apriete que se ejerce con el dispositivo de apriete 10 se ajusta con el dispositivo de ajuste 30 sobre la base de unos datos de referencia o con el método de relajación de presión de la etapa S14 (figura 1).

50 El dispositivo de evaluación 40 está adaptado para el procesamiento de datos de valores de respuesta de presión que se detectan con el dispositivo de detección 20. En particular, el dispositivo de evaluación 40 está adaptado para determinar una medida cambiante cuantitativa de los valores de respuesta de presión. El dispositivo de evaluación 40 puede proporcionarse en combinación con el dispositivo de apriete 10 o, preferiblemente, como un componente de circuito a distancia, por ejemplo en un dispositivo de control central.

El dispositivo de evaluación 40 está conectado con el dispositivo de apriete 10 o el dispositivo de detección 20 por medio de un dispositivo de puerto de datos 16, el cual está adaptado para la transmisión de datos. Preferiblemente, el dispositivo de puerto de datos 16 está configurado para una conexión con un sistema de telemetría y / o una red para transferencia de datos (por ejemplo, Internet).

55 Las figuras 5 y 6 representan unos diagramas esquemáticos de dos tipos de dispositivos de apriete 10. De

acuerdo con la figura 5, un elemento de apriete de resorte está provisto con las almohadillas de apriete 11, 12 (incluyendo el dispositivo de detección 20) en los extremos libres de los brazos de apriete 13. Un resorte se usa como un elemento de fuerza 14 para empujar uno hacia otro los brazos de resorte 13. La presión de apriete (la fuerza aplicada del elemento de fuerza 14) puede ajustarse con el dispositivo de ajuste 30, el cual comprende una tira rígida para una variación de la carga de resorte.

El elemento de apriete de resorte de la figura 5 comprende dos brazos de apriete curvados 13 unidos por un resorte 14 en la parte intermedia (por ejemplo, fabricante Wolfcraft GmbH; microfix S, B3630Fz60; Kempenich, Alemania). La mordaza está fabricada de un material sintético rígido. Un ajuste óptimo de la presión de apriete, P_{apriete} , al espesor y la rigidez de la hoja se logró mediante una tira rígida (el dispositivo de ajuste 30), que está fabricada de un material sintético. La tira está extendida entre los brazos de apriete 13 de la mordaza de resorte en el sitio de agarre. La tira contiene unos orificios perforados con regularidad como una correa que permiten la variación de longitud y, por lo tanto, de la carga de resorte que actúa sobre la hoja entre las dos almohadillas.

La figura 6 ilustra un elemento de apriete de tornillo con las almohadillas de apriete 11, 12 (incluyendo el dispositivo de detección 20). En el presente caso, el elemento de fuerza 14 y el dispositivo de ajuste 30 se proporcionan mediante el tornillo. Con el ajuste del tornillo, puede establecerse la presión de apriete seleccionada.

De acuerdo con realizaciones alternativas de la invención, pueden usarse dispositivos de apriete acústicos, magnéticos o eléctricos. A pesar de que no se muestran en el presente caso realizaciones de estos dispositivos, se hace notar que estas realizaciones tienen unas estructuras similares, en las que el elemento de fuerza está adaptado de forma correspondiente para generar una fuerza acústica, magnética o eléctrica. Con una fuerza acústica, la presión de apriete se genera con la presión de una onda de sonido que se ejerce sobre la muestra de planta. Con las fuerzas magnéticas o eléctricas, las almohadillas de apriete se empujan una hacia otra bajo la influencia, respectivamente, de campos magnéticos o eléctricos externos. Además, pueden usarse combinaciones de los diversos tipos de dispositivos de apriete.

La figura 7 ilustra esquemáticamente una realización de una instalación de irrigación 200 que incluye una pluralidad de aparatos de determinación de parámetro de presión 100 y por lo menos un dispositivo de irrigación 300, que se controla en función de parámetros de presión que se proporcionan con los aparatos de determinación de parámetro de presión 100. La instalación de irrigación 200 estará estructurada con grupos de dispositivos 100 dispuestos sobre hojas de una determinada planta y / o grupos de dispositivos 100 distribuidos en un campo de plantas (o en laboratorios). Este concepto jerárquico puede ampliarse a una pluralidad de campos en un determinado paisaje o incluso a nivel mundial.

El número de referencia 220 en la figura 7 hace referencia a por lo menos un sensor el cual está adaptado para detectar por lo menos una de una intensidad luminosa, una temperatura, una humedad relativa, una velocidad del viento, una condición de transpiración, una condición de fotosíntesis y una concentración de sustancia activa, por ejemplo una concentración de hormona, de pesticida y / o de herbicida. El sensor 220 está conectado con el dispositivo de control central y el dispositivo de irrigación 300.

La adquisición de datos de la turgencia de la hoja se realiza por transmisión inalámbrica (telemetría) desde el sitio de medición hasta una estación receptora conectada con un ordenador personal y / o con un servidor de Internet por medio de un teléfono móvil. Debido a que los datos se encuentran disponibles en tiempo real, estos pueden usarse para un control a distancia inalámbrico de sistemas de irrigación. En contraste con los métodos basados en plantas convencionales, el método de la invención no sólo da una información acerca de si se requiere, o no, irrigación, sino también una información acerca de cuánta agua ha de aplicarse, y durante cuánto tiempo.

Las señales de sensor se adquieren mediante unos sistemas de telemetría 210 (fabricante: Telebitcom GmbH, Teltow, Alemania). Los transmisores (que no se muestran) leen y amplifican señales analógicas del dispositivo de detección 20. Se envían datos digitalizados junto con un código de ID de transmisor en intervalos regulares por medio de la banda de ISM de 433 MHz a una unidad de recepción de RF a lo largo de una distancia de hasta 400 m. El receptor está conectado por medio de una interfaz de RS-232 a un ordenador personal o a un módem de GPRS enlazado con un servidor de Internet (NTBB Systemtechnik GmbH, Zeuthen, Alemania) por medio de una red de telefonía móvil. El sistema de telemetría 210 permite un procesamiento de datos simultáneo de, por ejemplo, 32 dispositivos de detección. En paralelo a la adquisición de datos por los sistemas de telemetría, los datos también pueden almacenarse por registradores de datos.

Pueden usarse varios métodos de irrigación, dependiendo del tipo de cultivo irrigado y de la disponibilidad de agua. Como un ejemplo, la irrigación por goteo se considera como un método preferible para irrigar viñedos debido a que el agua se aplica directamente al suelo mientras que la cubierta de copas se mantiene sin mojar.

4. Resultados experimentales

Las mediciones con la vid han mostrado que la técnica de la invención es capaz de supervisar con precisión los cambios en la presión de turgencia, incluso en picos de demanda de agua y a lo largo de la totalidad del periodo vegetativo. Las mediciones concomitantes de presión de apriete atenuada y de presión de turgencia celular (usando la sonda de presión de turgencia celular) en vides confirmaron las predicciones de la teoría antes citada. Unas

mediciones de cámara de presión de Scholander que se realizan en paralelo a mediciones de P_p revelaron que los valores de presión de compensación están dictados obviamente por la presión de turgencia en el estado turgente mientras que, en el estado sin turgencia, éstos reflejan la presión que se necesita para desplazar agua hasta el extremo cortado de la ramilla o pecíolo de hoja.

5 Las figuras 8 a 12 ilustran, a modo de ejemplo, resultados experimentales que se obtienen con la técnica de la invención con diversos tipos de hojas. La figura 8 muestra valores de presión de salida (eje y, unidades arbitrarias) en función del tiempo (eje x, 7 días) que se miden sobre una hoja de vid. Los valores de P_p se han sometido a una interpolación. Sobre la base de los datos interpolados, se han calculado la primera (figura 9) y la segunda (figura 10) derivadas. La primera y la segunda derivadas representan unas medidas cambiantes cuantitativas de los valores de respuesta de presión, que pueden usarse para un procesamiento adicional, por ejemplo para controlar un dispositivo de irrigación. Las figuras 11 y 12 muestran la primera y la segunda derivadas de valores de presión de salida interpolados que se miden con hojas de bejucos. Como una ventaja, cualesquiera derivas de la señal de referencia (figura 8) se eliminan con las derivadas. Además, las curvas de la primera y la segunda derivadas proporcionan unos patrones optimizados que pueden someterse a un procedimiento de umbral.

10 15 Las curvas experimentales muestran la relación de los parámetros de presión que se obtienen con el estado hídrico de las plantas y, correspondientemente, la capacidad de usar éstos para controlarlos dispositivos de irrigación. Las mediciones sobre plátanos, aguacate, bejucos y árboles han dado unos resultados similares.

20 La primera o la segunda derivadas pueden procesarse adicionalmente como el parámetro de presión que va a ser determinado. Como alternativa, el valor o valores de respuesta de presión medidos (por ejemplo, de acuerdo con la figura 8) o la presión de turgencia celular que se calcula a partir de los mismos pueden procesarse adicionalmente como el parámetro de presión que va a determinarse.

25 Las características de la invención que se divulga en la descripción anterior, los dibujos y las reivindicaciones pueden ser de importancia tanto de manera individual como en combinación para la materialización de la invención en sus diversas realizaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método de determinación de un parámetro de presión de una muestra de planta (1), que comprende las etapas de:

- 5
- someter la muestra de planta (1) a una presión de apriete (p_{apriete}) creada con un dispositivo de apriete (10),
 - medir por lo menos un valor de respuesta de presión (p_p) de la muestra de planta (1), la cual depende de la presión de apriete (p_{apriete}), y
 - determinar el parámetro de presión sobre la base del por lo menos un valor de respuesta de presión (pp),

caracterizado por la etapa de

- 10
- ajustar la presión de apriete (p_{apriete}), de tal modo que la muestra de planta (1) tiene una respuesta de presión viscoelástica a la presión de apriete (p_{apriete}).

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

- 15
- la presión de apriete (p_{apriete}) es ajustada con una calibración inicial del dispositivo de apriete (10), que incluye las etapas de someter la muestra de planta (1) a múltiples impulsos de presión de apriete de prueba, medir una respuesta de relajación de la muestra de planta (1), y seleccionar una presión de apriete de prueba particular como la presión de apriete (p_{apriete}) si la respuesta de relajación para la presión de apriete de prueba particular da como resultado una relajación por lo menos parcial de la muestra de planta (1), o
 - la presión de apriete (p_{apriete}) se ajusta sobre la base de unos datos de planta de referencia previamente determinados.
- 20

3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- 25
- el por lo menos un valor de respuesta de presión comprende por lo menos una de una presión de apriete atenuada (pp) de la muestra de planta (1), una fuerza de salida de la muestra de planta (1) y una conductividad eléctrica de la muestra de planta (1),
 - el parámetro de presión que va a determinarse comprende por lo menos uno del por lo menos un valor de respuesta de presión, una presión de turgencia celular (p_c) y una medida cambiante cuantitativa de los valores de respuesta de presión
 - las etapas de someter la muestra de planta (1) a la presión de apriete (p_{apriete}) y medir los valores de respuesta de presión (p_p) de la muestra de planta (1) se realizan sobre diferentes lados de la muestra de planta (1).
- 30

4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que

- 35
- la presión de turgencia celular (p_c) se determina sobre la base de por lo menos un valor de función de transferencia ($T_f(p_{\text{apriete}}, p_p)$) dependiendo de la presión de apriete (p_{apriete}) y la presión de apriete atenuada (pp), en el que el por lo menos un valor de función de transferencia ($T_f(p_{\text{apriete}}, p_p)$) depende de un cociente de la presión de apriete atenuada (pp) y la presión de apriete (p_{apriete}) con $T_f = T_f(p_p / (F_a \cdot p_{\text{apriete}}))$, con F_a siendo un factor de atenuación, y / o
 - la etapa de determinación de la medida cambiante cuantitativa comprende la determinación de por lo menos uno de un cociente diferencial de valores de respuesta de presión subsiguientes, una primera derivada de los valores de respuesta de presión, una segunda derivada de los valores de respuesta de presión, una tasa de fluctuación de los valores de respuesta de presión, y un patrón de variación de los valores de respuesta de presión.
- 40

5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que

- 45
- los valores de respuesta de presión se miden en una condición ambiental variable de la muestra de planta (1), en particular por lo menos una de intensidad de iluminación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, y / o en una condición fisiológica variable de la muestra de planta (1), en particular por lo menos una de transpiración, actividad de estoma, fotosíntesis y una concentración de sustancia activa, por ejemplo una concentración de hormona, de pesticida y / o de herbicida.

6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que

- la medida cambiante cuantitativa de los valores de respuesta de presión se determina con respecto a dicha condición ambiental y / o condición fisiológica variable.

7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende por lo menos una de las etapas de
- 5 - seleccionar una ubicación de medición sobre la muestra de planta con respecto a una distancia de la misma con respecto a un borde de la muestra de planta (1) y / o un elemento estructural sobre la superficie de muestra de planta,
- medir un gradiente del parámetro de presión o la presión de turgencia celular (p_c) a lo largo de una superficie de muestra de planta,
- 10 - determinar una variación del parámetro de presión o la presión de turgencia celular (p_c) en respuesta a una inyección de una sustancia activa, por ejemplo una hormona, un pesticida y / o un herbicida,
- enviar por lo menos uno de los valores de respuesta de presión, el parámetro de presión, la presión de turgencia celular (p_c) y la señal de control a una instalación de accionamiento (200) o un dispositivo de control central,
- suministrar energía usando una célula solar o un dispositivo de célula de combustible,
- 15 - medir por lo menos una de intensidad de iluminación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, condición de transpiración, y condición de fotosíntesis,
- supervisar la muestra de planta (1) con un dispositivo de cámara, e
- inyectar una sustancia activa, por ejemplo una hormona, un pesticida y / o un herbicida en la muestra de planta (1).
- 20 8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de ajuste comprende por lo menos una de las etapas:
- seleccionar una almohadilla de apriete del dispositivo de apriete en función de un tipo de la muestra de planta (1), y
- 25 - seleccionar una longitud de brazo de apriete del dispositivo de apriete (10) en función de un tipo de la muestra de planta (1).
9. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende las etapas de
- comparar el parámetro de presión (p_c) o la presión de turgencia celular (p_c) con por lo menos un valor de referencia, y
- generar una señal de control en función de un resultado de la etapa de comparación.
- 30 10. Método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que
- la instalación de accionamiento es un dispositivo de irrigación, que se controla con el por lo menos uno de los valores de respuesta de presión, el parámetro de presión, la presión de turgencia celular (p_c) y la señal de control.
11. Método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que
- 35 - la energía se suministra en función de la hora del día.
12. Aparato (100) para determinar un parámetro de presión de una muestra de planta (1), que comprende:
- un dispositivo de apriete (10) adaptado para someter la muestra de planta (1) a una presión de apriete ($p_{apriete}$), y
- 40 - un dispositivo de detección (20) adaptado para detectar por lo menos un valor de respuesta de presión (p_p) de la muestra de planta (1), en el que el por lo menos un valor de respuesta de presión (p_p) depende de la presión de apriete ($p_{apriete}$),
- caracterizado por**
- un dispositivo de ajuste (30), que está adaptado para ajustar la presión de apriete ($p_{apriete}$), de tal modo que la muestra de planta (1) tiene una respuesta de presión viscoelástica a la presión de apriete ($p_{apriete}$).
- 45 13. Aparato de acuerdo con la reivindicación 12, que comprende

- un dispositivo de evaluación (30), que está adaptado para determinar una medida cambiante cuantitativa de los valores de respuesta de presión, en el que la medida cambiante representa el parámetro de presión que va a ser determinado,
- 5
- por lo menos un sensor que está adaptado para detectar por lo menos una condición ambiental y / o por lo menos una condición fisiológica de la muestra de planta (1),
 - un dispositivo de protección (50) para proteger frente a por lo menos uno de humedad, temperatura extrema o impacto mecánico,
 - un dispositivo de puerto de datos que está adaptado para la transmisión de datos.
14. Aparato de acuerdo con la reivindicación 12 ó 13, en el que
- 10
- el dispositivo de apriete (10) comprende por lo menos uno de un dispositivo de apriete de resorte (11), un dispositivo de apriete de tornillo (12), un dispositivo de apriete acústico, un dispositivo de apriete de campo magnético y un dispositivo de apriete de campo eléctrico
 - el dispositivo de detección (20) incluye por lo menos un sensor de presión, por lo menos un sensor de fuerza o por lo menos un sensor de conductividad eléctrica,
- 15
- el dispositivo de apriete (10) comprende por lo menos uno de una longitud de brazo de apriete variable, un área de apriete variable, por lo menos una almohadilla de apriete intercambiable, por lo menos una almohadilla de apriete con una forma de almohadilla ajustable, por lo menos una almohadilla de apriete con una superficie de almohadilla estructurada, por lo menos una almohadilla de apriete transparente, por lo menos una almohadilla de apriete porosa, por lo menos una almohadilla de apriete con un revestimiento superficial coincidente, por lo menos una almohadilla de apriete con un dispositivo de inyección integrado, por lo menos una almohadilla de apriete con múltiples sensores, un dispositivo de guía de luz, y un dispositivo de electrodo.
- 20
15. Aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en el que:
- 25
- el por lo menos un sensor está adaptado para detectar por lo menos una de una intensidad de iluminación, una temperatura, una humedad relativa, una velocidad del viento, una condición de transpiración, una condición de fotosíntesis y una concentración de sustancia activa, por ejemplo una concentración de hormona, de pesticida y / o de herbicida.
16. Aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en el que:
- 30
- el dispositivo de puerto de datos está configurado para una conexión con un sistema de telemetría y / o una red de datos.
17. Instalación de irrigación (200), que incluye:
- 35
- por lo menos un aparato de determinación de parámetro de presión (100) de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 16, y
 - por lo menos un dispositivo de accionamiento de irrigación, que puede controlarse en función del parámetro de presión que se determina con el por lo menos un aparato de determinación de parámetro de presión (100).
18. Instalación de irrigación de acuerdo con la reivindicación 17, en la que
- 40
- una red de aparatos de determinación de parámetro de presión (100) que están conectados con el por lo menos un dispositivo de accionamiento de irrigación.
19. Instalación de irrigación de acuerdo con la reivindicación 17 ó 18, que incluye por lo menos uno de
- 45
- un dispositivo de cámara, y
 - una estación de supervisión de condiciones atmosféricas.
20. Programa informático que reside en un medio legible por ordenador, con un código de programa para llevar a cabo el método de determinación de un parámetro de presión de una muestra de planta (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11.
21. Aparato que comprende un medio de almacenamiento legible por ordenador que contiene instrucciones de programa para llevar a cabo el método de determinación de un parámetro de presión de una muestra de planta (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11.

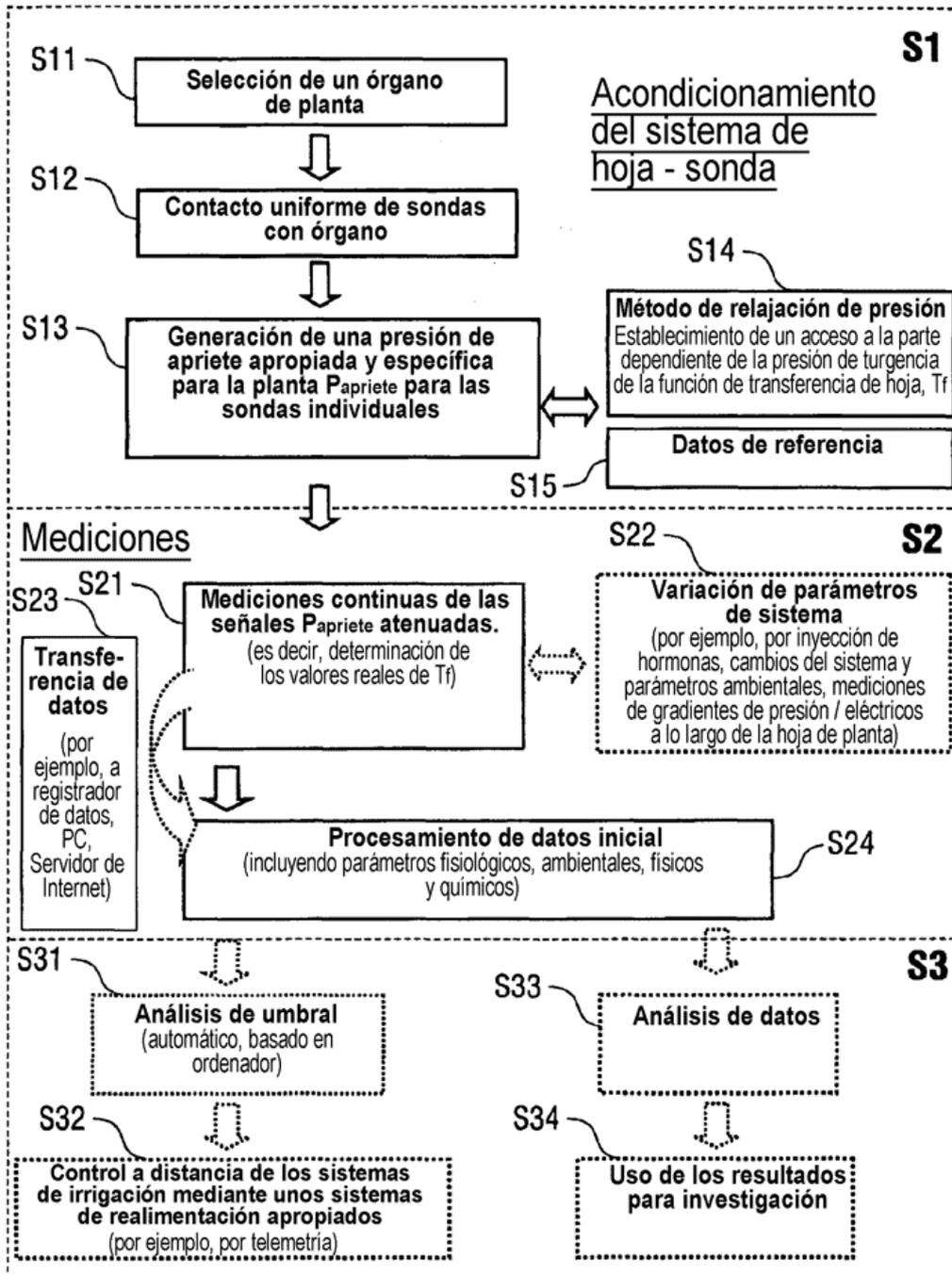


FIG. 1

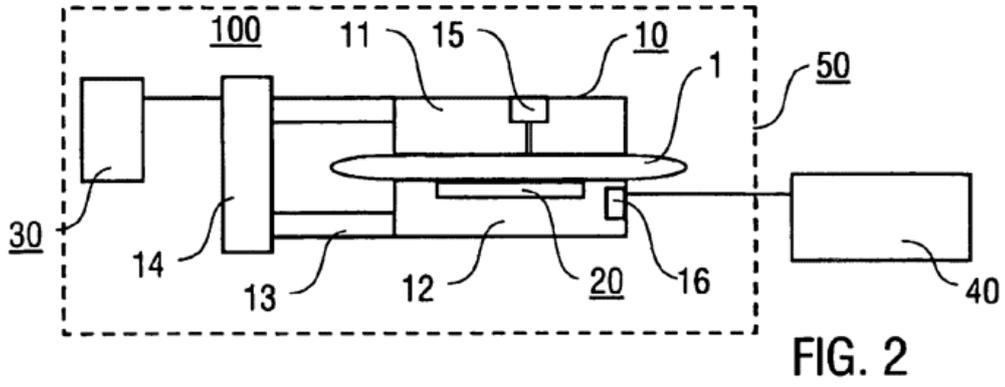


FIG. 2

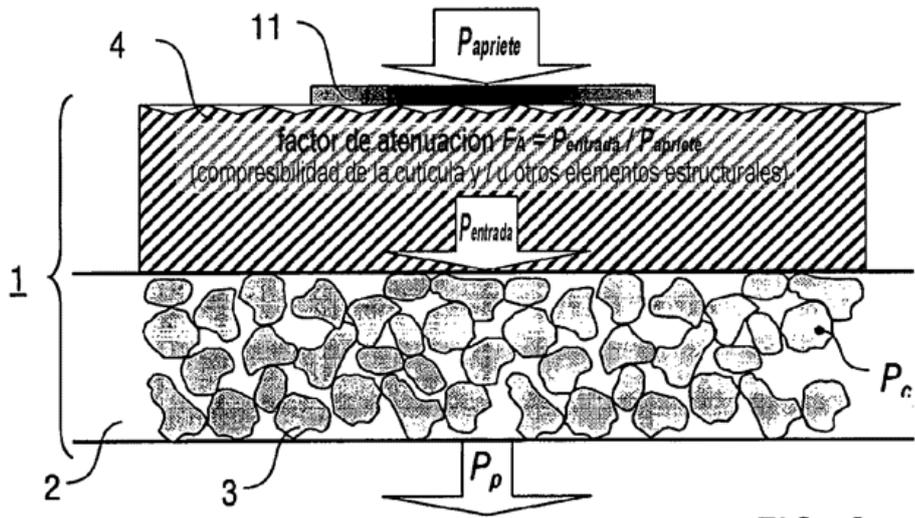


FIG. 3

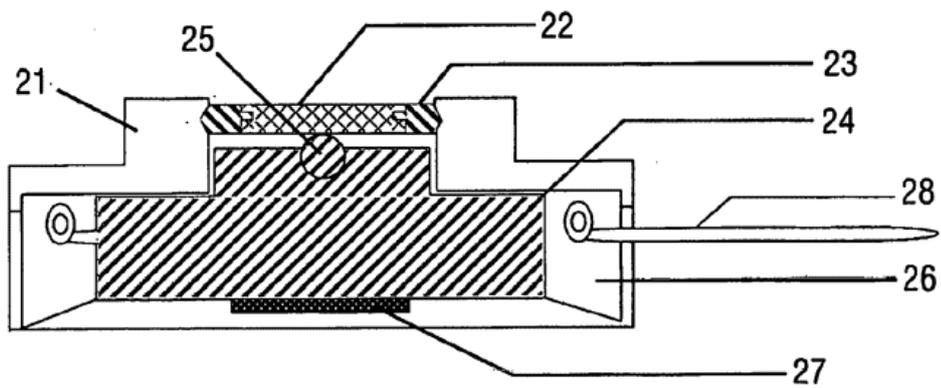


FIG. 4

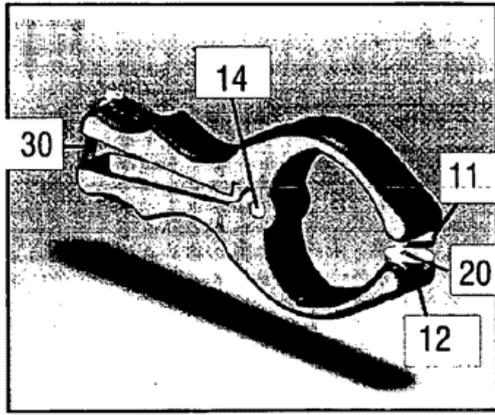


FIG. 5

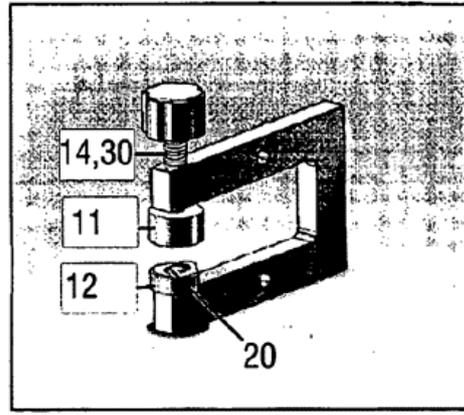


FIG. 6

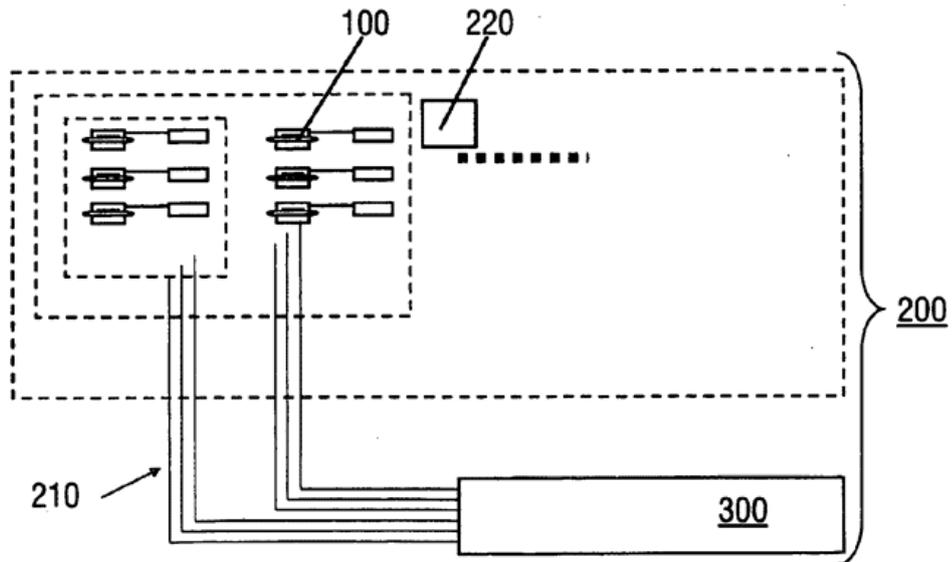


FIG. 7

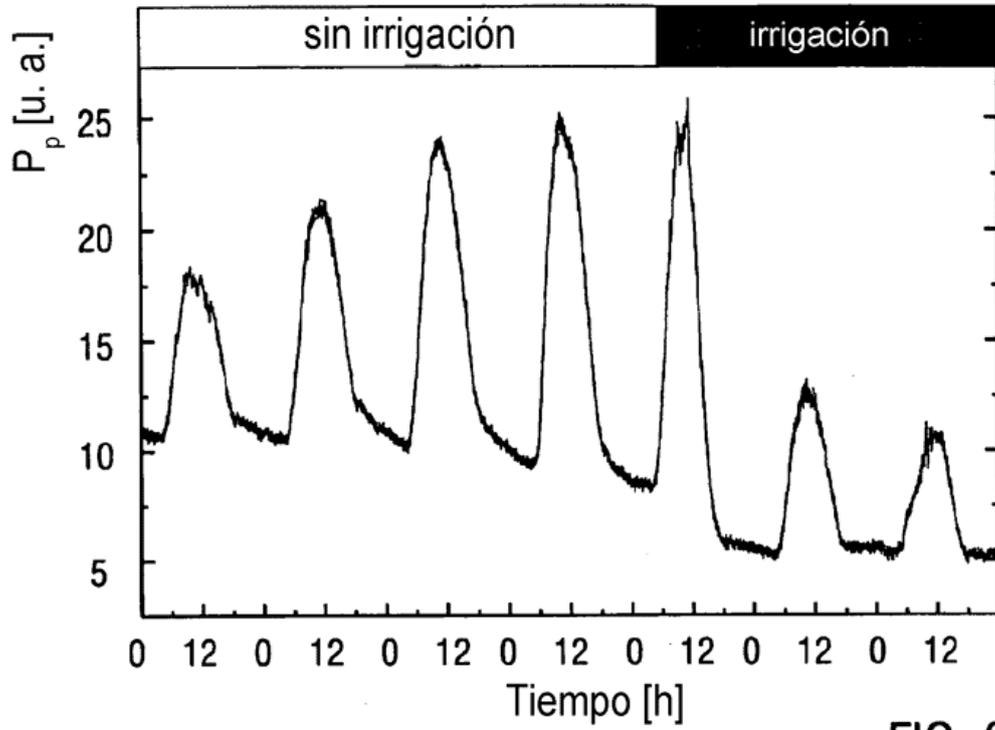


FIG. 8

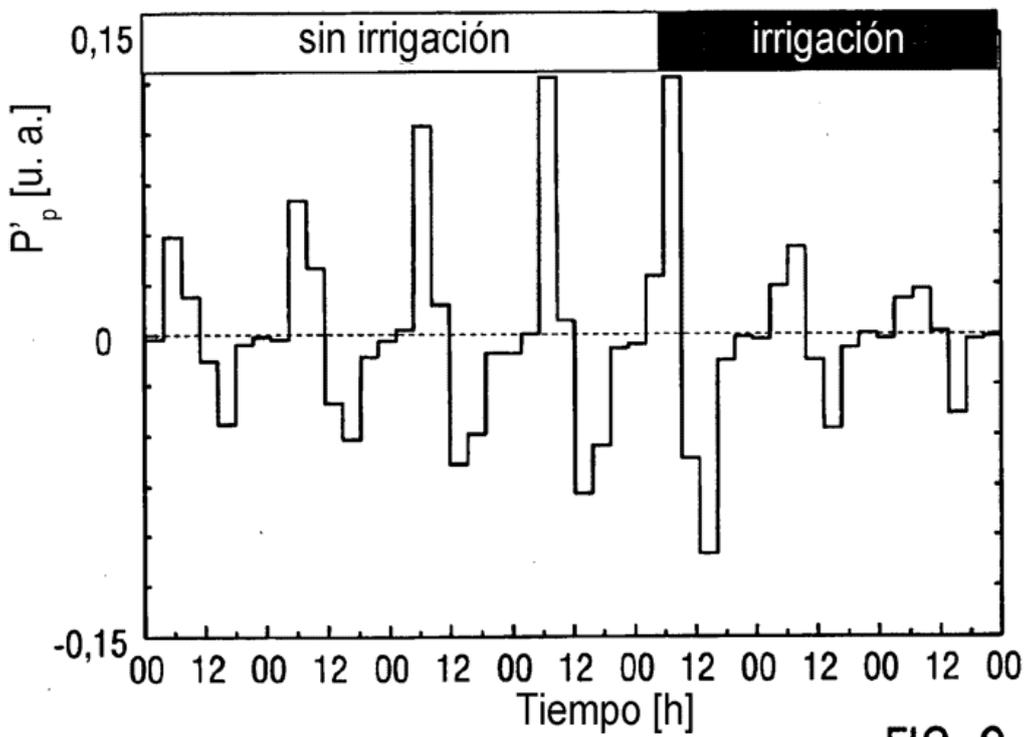
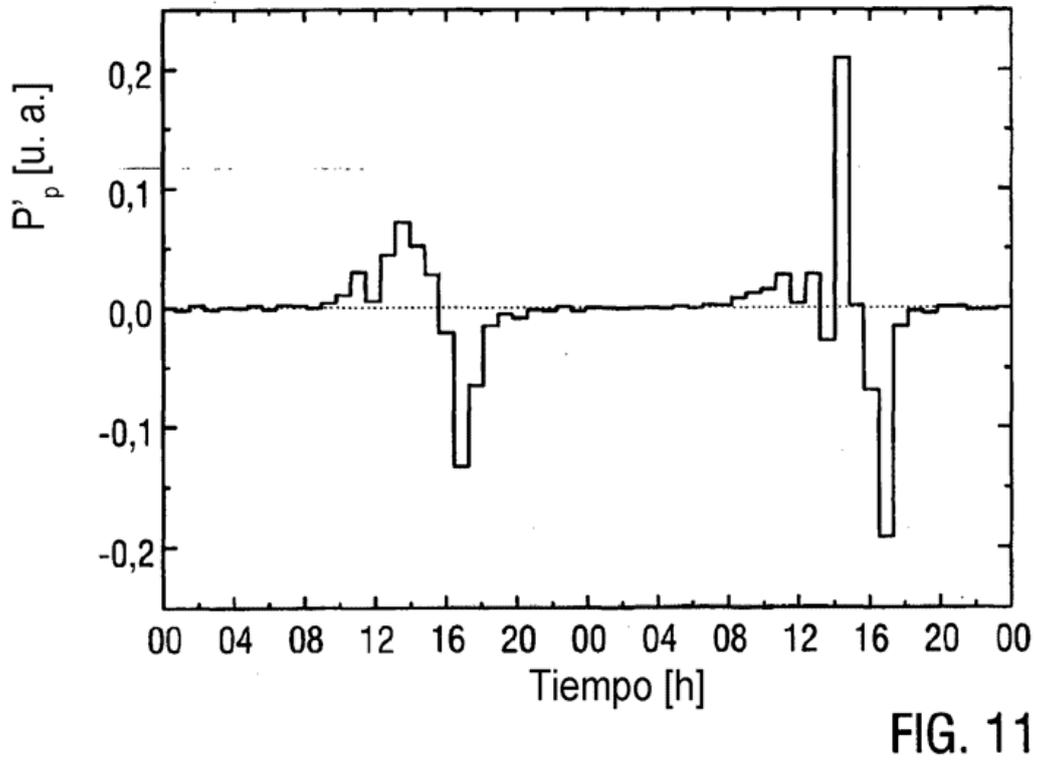
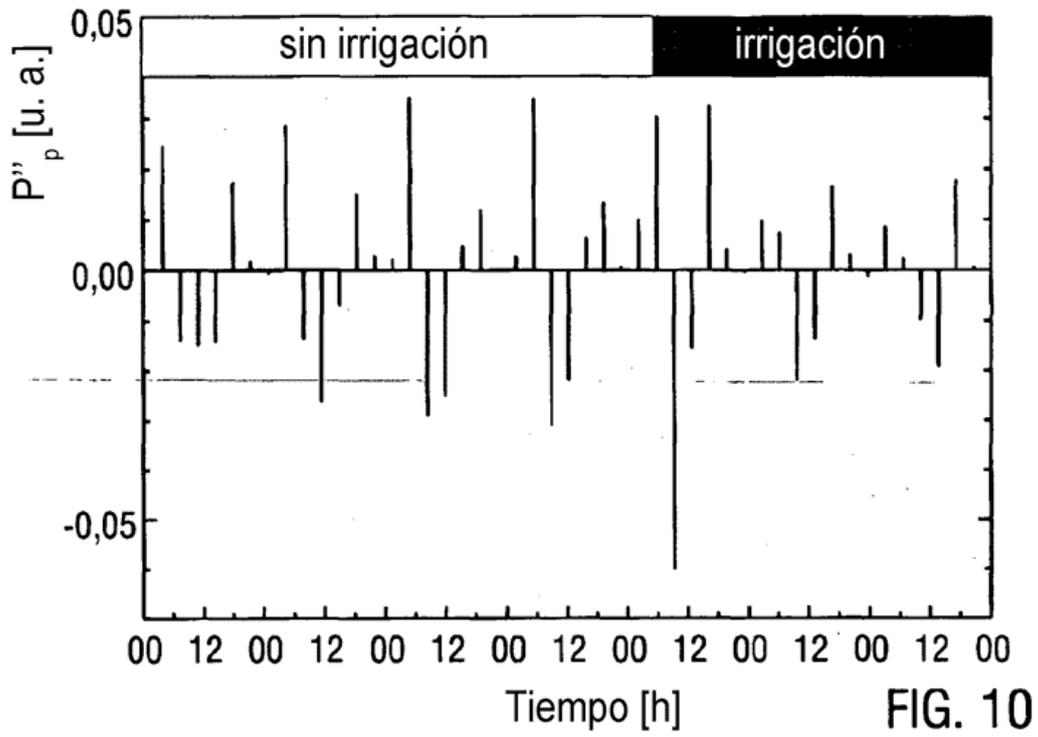


FIG. 9



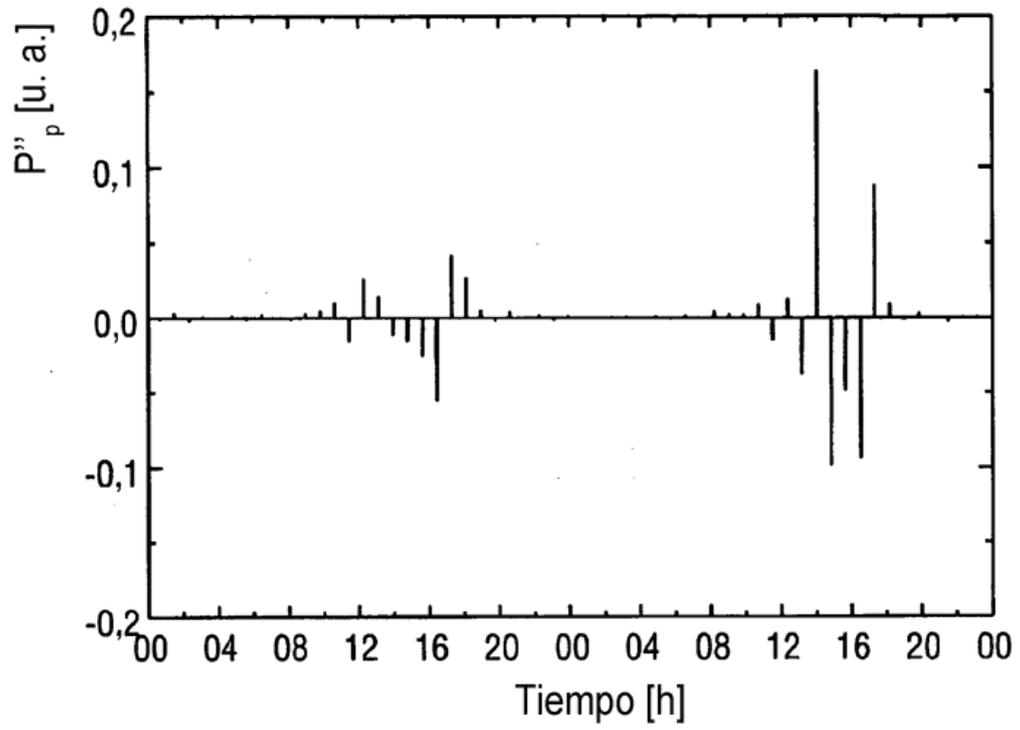


FIG. 12

DOCUMENTOS INDICADOS EN LA DESCRIPCIÓN

En la lista de documentos indicados por el solicitante se ha recogido exclusivamente para información del lector, y no es parte constituyente del documento de patente europeo. Ha sido recopilada con el mayor cuidado; sin embargo, la EPO no asume ninguna responsabilidad por posibles errores u omisiones.

Bibliografía no especificada en la descripción de la patente

- **P. F. SCHOLANDER et al.** *Science*, 1965, vol. 148, 339-346 [0004]
- **U. ZIMMERMANN et al.** *Die Naturwissenschaften*, 1969, vol. 56, 634 [0006]
- **U. ZIMMERMANN et al.** *New Phytologist*, 2004, vol. 162, 575-615 [0006]
- **A. GEITMANN.** *American Journal of Botany*, 2006, vol. 93, 1380-1390 [0006]
- **T. MCBURNEY.** *Journal of Experimental Botany*, 1992, vol. 43, 327-335 [0006]