

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
10 de junio de 2010 (10.06.2010)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2010/064196 A2

- (51) Clasificación Internacional de Patentes: Sin
- (21) Número de la solicitud internacional: PCT/IB2009/055449
- (22) Fecha de presentación internacional: 1 de diciembre de 2009 (01.12.2009)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad: 08-128174
2 de diciembre de 2008 (02.12.2008) CO
- (71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US): UNIVERSIDAD DEL VALLE [CO/CO]; Calle 13 # 100-00, Santiago de Cali, 760032 (CO).
- (72) Inventor; e
- (75) Inventor/Solicitante (para US solamente): ZUÑIGA ESCOBAR, Orlando [CO/CO]; Calle 13 # 100-00, Santiago De Cali, 760032 (CO).
- (74) Mandatario: FIGUEROA CARDOZO, Felipe, Eduardo; CL 30A # 3-26 San Diego III Apto 307, Bogota, 110311 (CO).
- (81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: DEVICE FOR DETERMINING THERMAL CONDUCTIVITY AND METHODS FOR THE USE THEREOF

(54) Título : DISPOSITIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y PROCESOS DE APLICACIÓN DEL MISMO

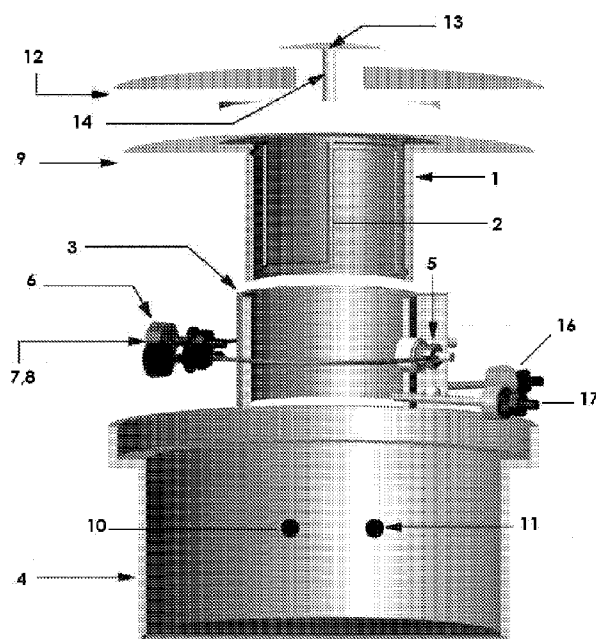


FIGURA 1

(57) Abstract: The application relates to a device based on the electrothermal method for determining thermal conductivity, which allows the examination of various phenomena, with a high level of reliability, through the study of the thermal behaviour of materials. The device is constituted by a sample-carrying cylinder surrounded by a resistance element that creates a radial heat flow in the sample, a cooling system based on a spiral-form heat exchanger incorporated into the thermal device, means for the storage of a fluid and a data-storage device. Furthermore, the present application describes the use of the device in processes for determining the productive potential of the soil ("PPS") and the examination of the nutritional quality of agro-ecological produce and foods.

(57) Resumen: La solicitud hace referencia a un dispositivo basado en el método electro térmico para la determinación de la conductividad térmica, el cual permite analizar diversos fenómenos

[Continúa en la página siguiente]

WO 2010/064196 A2



IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— sobre el derecho del solicitante para solicitar y que le sea concedida una patente (Regla 4.17(ii))

Declaraciones según la Regla 4.17:

- sobre la identidad del inventor (Regla 4.17(i))
- sobre el derecho del solicitante para solicitar y que le sea concedida una patente (Regla 4.17(ii))
- sobre la identidad del inventor (Regla 4.17(i))

Publicada:

- sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe (Regla 48.2(g))

con alto rango de confiabilidad a través del estudiar del comportamiento térmico de los materiales. El dispositivo esta constituido por un cilindro portador de muestras rodeado por una resistencia que crea un flujo radial de calor en la muestra, un sistema de refrigeración basado en un intercambiador de calor en forma de espiral integrado al dispositivo térmico, medios para el almacenamiento de un fluido y un dispositivo de almacenamiento de datos. Asimismo, la presente solicitud describe la aplicación del dispositivo en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y el análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos.

Description

Title of Invention: **DISPOSITIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y PROCESOS DE APLICACIÓN DEL MISMO**

Technical Field

Technical Field

[1] CAMPO DE LA INVENCION

[2] La presente invención está relacionada con un dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS), análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos.

[3] ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[4] Las propiedades térmicas del suelo (capacidad calorífica, calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica) varían con el contenido de agua, granulometría y agregación del suelo (Porta et al. 1994) y se relacionan con la actividad microbiana, la mineralización y la humificación de la materia orgánica (Montenegro y Malagón, 1990).

[5] La conductividad térmica (λ) o habilidad del suelo para transferir calor por conducción molecular se expresa en calorías que fluyen por una placa de suelo con área y espesor unitarios, con una diferencia de 1°C entre las dos caras (Honorato, 2000). Cuando la conductividad térmica de un suelo es alta, las variaciones de temperatura en la superficie son menores. La conductividad térmica se incrementa con el contenido de humedad, incidiendo a la vez en los cambios de temperatura del suelo; sin embargo, cuando hay saturación de poros no aumenta en las proporciones esperables. La conductividad térmica se considera como característica sensible a los cambios que operan en el suelo (Honorato, 2000; Jury et al., 1991).

[6] Numerosos dispositivos para la determinación de la conductividad térmica se conocen en la literatura por ejemplo la patente norteamericana US4861167 presenta un aparato para la determinación de la conductividad térmica de polímeros fundidos a partir de la tasa de cambio de la temperatura en la muestra. El aparato está compuesto por un contenedor cilíndrico elongado que soporta la muestra, medios de calentamiento ubicados alrededor del contenedor, un sensor de temperatura, una sonda insertable en el contenedor que hace contacto con la muestra que incluye una aguja hueca, un medio de calentamiento y un sensor alojados en el cuerpo de la aguja y medios conectados al sensor para determinar el cambio de temperatura en la muestra que está en contacto con la sonda. Así mismo, la patente americana US3263485 enseña un aparato para la

determinación de la conductividad térmica de un material sólido a través de un método que compara el valor de conductividad desconocido de una muestra frente a un material de baja conductividad térmica conocida; el aparato comprende un receptáculo cubierto en las paredes internas por un material aislante, un tubo cilíndrico montado dentro del receptáculo, una fuente de calor ubicada en uno de los extremos del tubo, una pluralidad de alambres de calentamiento enrollados sobre un acanalado helicoidal en la pared externa del tubo y sensores para medir la temperatura en puntos fijos de cada una de las muestras.

[7] Pese a la existencia de las anterioridades previamente descritas, aun persiste la necesidad de un dispositivo para la determinación de la conductividad térmica de una muestra sólida como el suelo de forma directa (no comparativa) en un tiempo de procesamiento relativamente corto y basado en una metodología confiable a partir de la exactitud y precisión del método.

[8] El dispositivo para determinación de la conductividad térmica de la invención está basado en el método electro térmico, el cual permite estudiar diversos fenómenos con alto rango de confiabilidad a través del comportamiento térmico de los materiales, solucionando las falencias del arte previo por medio de un dispositivo constituido por un cilindro portador de muestras rodeado por una resistencia que crea un flujo radial de calor en la muestra y un sistema de refrigeración basado en un intercambiador de calor en forma de espiral integrado al dispositivo térmico. Este sistema de refrigeración basado en un intercambiador de calor en forma de espiral integrado al dispositivo disminuye el tiempo de procesamiento de cada muestra, aumentando el número de determinaciones de conductividad térmica por unidad de tiempo, por lo que al aumentar la eficiencia en el proceso se incrementa también el número de muestras analizadas para el objeto de estudio brindando mayor información del mismo. Adicionalmente, este dispositivo puede ser utilizado para el análisis de calidad orgánica de alimentos y productos agrícolas.

[9] **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

[10] La figura 1 presenta un corte transversal del dispositivo para la determinación de magnitudes térmicas de la invención.

[11] La figura 2 presenta el dispositivo para la determinación de magnitudes térmicas de la invención acoplado al sistema de almacenamiento de datos y a la fuente que alimenta el sistema de refrigeración.

[12] La figura 3 presenta el mapa de fertilización diferencial obtenido mediante el proceso de determinación del Potencial Productivo de la invención para un cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

[13] La figura 4 presenta las gráficas comparativas para la conductividad térmica de café orgánico y café convencional obtenidas mediante la aplicación del dispositivo de la

invención.

- [14] La figura 5 presenta las curvas comparativas de conductividad térmica para muestras de banano orgánico y banano convencional obtenidas mediante la aplicación del dispositivo de la invención.

[15] **OBJETOS DE LA INVENCION**

- [16] El objeto de la invención está relacionado con un dispositivo para la determinación de magnitudes térmicas constituido fundamentalmente por un cilindro portador de muestras inalteradas de suelo rodeado por una resistencia que crea un flujo radial de calor en la muestra de suelo y un sistema de refrigeración basado en un intercambiador de calor en forma de espiral integrado al dispositivo térmico.

- [17] Adicionalmente otro objeto de la presente invención es la aplicación del dispositivo de la invención para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) a partir de la determinación de la conductividad térmica de una muestra y calculado a partir de un indicador que involucra parámetros sintéticos y analíticos de los suelos.

- [18] Particularmente otro objeto de la presente invención es la aplicación del dispositivo de la invención para el análisis de la calidad nutricional de alimentos y productos agroecológicos a partir de la determinación de la conductividad térmica de una muestra en el dispositivo de la invención.

[19] **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

- [20] La presente invención se refiere a un dispositivo para la determinación de magnitudes térmicas constituido fundamentalmente por un cilindro portador de muestras inalteradas de suelo rodeado por una resistencia que crea un flujo radial de calor en la muestra de suelo y un sistema de refrigeración basado en un intercambiador de calor en forma de espiral integrado al dispositivo térmico

- [21] La técnica electro térmica en la cual se basa el desarrollo del dispositivo de la invención utiliza una resistencia eléctrica con corriente continua como fuente de energía térmica que es transferida en su mayor parte como calor cuando el sistema tiene un volumen aproximadamente constante. La energía térmica disipada en la resistencia ($W\ m^{-2}$) calienta el volumen de suelo encerrado dentro de un cilindro portador de acuerdo con la *ley de Fourier*

- [22]

$$\vec{q} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial \vec{s}} = \lambda \vec{\nabla} T$$

- [23] donde $\vec{q}$ es la *densidad de flujo de energía térmica* ($W\ m^{-2}$) en la dirección y sentido del vector:

$$\vec{s}; \vec{\nabla} T$$

es el vector *gradiente de temperatura* (K m⁻¹) que actúa como fuerza directora del calor ; y

$$\lambda$$

es el coeficiente de transporte llamado *conductividad térmica* (W m⁻¹ K⁻¹). El signo menos indica que el flujo de energía térmica sigue el sentido de las temperaturas decrecientes.

[24] El principio de conservación de la energía se expresa en la ecuación de *conductividad del flujo de energía térmica*.

$$[25] \quad \frac{\delta Q}{\delta \tau} = \frac{\delta f_h}{\delta \vec{s}} \pm S(\vec{s}, t)$$

(2)

[26] Donde Q es el contenido de energía térmica por unidad de volumen (J m⁻³);

$$\delta Q / \delta t$$

es el trasiego de energía térmica por unidad de volumen (m⁻³); y de tiempo t en segundos (s), y

$$\pm S(\vec{s}, t)$$

la variación del stock que es fuente o sumidero de calor por unidad de volumen y de tiempo (Wm⁻³) dentro del espacio considerado.

[27] El contenido de calor en la unidad de volumen varía con la temperatura, por lo que se puede definir el concepto de *capacidad calorífica diferencial* C_h (Jm⁻³ K⁻¹)

$$[28] \quad C_h = \frac{dQ}{dT}$$

(3)

[29] Los parámetros λ (W m⁻¹K⁻¹) y C_h (J m⁻³K⁻¹) son aproximadamente constantes en un suelo uniforme, pero ambos varían en el mismo sentido con la temperatura la densidad o la humedad (Farouki, 1986), lo que sugiere su cociente

$$[30] \quad D_k = \frac{\lambda}{C_k}$$

(4)

[31] Para definir el parámetro llamado difusividad térmica D_h (m² s⁻¹), el cual se mantiene aproximadamente constante respecto a los cambios de temperatura.

[32] Combinando (1) con (2), dividiendo por C_h y sustituyendo (3) y (4) se obtiene la *ecuación general de la conducción de la energía térmica* (ver Baver et al, 1973; Hillel, 1980; Nerpin & Chudnovskii, 1985; Musy & Soutter, 1991)

[33]

$$[34] \quad \frac{l \delta Q}{C_k \delta \bar{s}} = \frac{l \delta f_h}{C_k \delta \bar{s}} \pm \frac{l}{C_k} S(\bar{s}, t) = \frac{l \delta}{C_k \delta \bar{s}} (\lambda \bar{\nabla} T) \pm \frac{l}{C_k} S(\bar{s}, t) = \frac{\lambda}{C_k} \bar{\nabla}^2 T = \frac{l}{C_k} S(\bar{s}, t)$$

$$\frac{\delta T}{\delta t} = D_k \bar{\nabla}^2 T \pm \frac{l}{C_k} S(\bar{s}, t)$$

$$(\text{K s}^{-1})$$

(5)

[35] Donde

$$\bar{\nabla}^2 = \bar{\nabla}_x \bar{\nabla}$$

es el operador de Laplace definido como producto escalar del operador gradiente por sí mismo ; $T = T(r, t)$ la temperatura absoluta en grados Kelvin (K) a la distancia r en metros (m) y en el tiempo t en segundos(s), D_h la difusividad de calor

$$(\text{m}^2 \text{s}^{-1})$$

; C_h la capacidad calorífica diferencial

$$(\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1})$$

y

$$[36] \quad S(\bar{s}, t) / C_h$$

la fuente o sumidero que se obtiene dividiendo la potencia por unidad de volumen

$$(\text{W m}^{-3})$$

por la capacidad calorífica diferencial

$$C_h (\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1})$$

, lo que define por unidad de sección y aumento de radio

$$(\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{m}^{-1})$$

una tasa de incremento de la temperatura en

$$\text{K s}^{-1}$$

[37] El dispositivo experimental (figura 1) sugiere resolver (5) en coordenadas cilíndricas (r, φ, z)

donde r es la distancia radial desde la fuente lineal da calor, φ el ángulo y z la co-ordenada azimutal y manteniendo la fuente de calor constante.

$$[38] \quad D_k \left(\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{l \delta T}{r \delta r} + \frac{l \delta^2 T}{r^2 \delta \varphi^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} \right) \frac{\delta T}{\delta t} = \pm \frac{S}{C_k}$$

(6)

[39] donde fuentes y sumideros quedan expresados en unidades de capacidad calórica

diferencial por el cociente

$$S/C_n$$

- [40] Considerando por razones geométricas que la temperatura es independiente de la altura del cilindro (z) y que es uniforme en su distribución respecto al ángulo φ

y que la fuente es constante, la ecuación (6) se reduce a la expresión siguiente:

$$[41] \quad D_k \left(\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta T}{\delta r} \right) \frac{\delta T}{\delta t} = \pm \frac{T_0}{t}$$

(7)

- [42] Que es la ecuación del régimen transitorio del par de temperatura - tiempo (T, t) desde ($T_0, 0$) hasta (T, t).

- [43] El incremento de temperatura del suelo con el tiempo desde ($T_0, 0$) hasta (T, t) viene dado por la solución de la ecuación (7) asumiendo que a partir de un instante inicial dado ($T = T_0$ $t = 0$) la fuente (q) que libera el calor por unidad de longitud (z) de la resistencia eléctrica dentro del cilindro es constante y el segundo miembro T_0/t se desvanece al aumentar t . La solución de (7) se obtiene por procedimientos matemáticos de resolución de la ecuación de Laplace (Nerpin & Chudnovskii, 1985; Jury & Roth, 1990) sustituyendo la función $T(r, t)$ por su función transformada

$$[44] \quad \tilde{T}(p, t) = \int_0^{\infty} e^{-pt} T(r, t) dt \quad (8)$$

- [45] para valores del tiempo 0 $\leq t$

$< \infty$ y para valores de la variable conjugada (p) dentro del dominio de existencia de la integral, con la *condición inicial* que define la temperatura en todo el dominio de integración de la ecuación diferencial, momento que se adopta como origen del tiempo ($t = 0$)

- [46] $T(r, 0) = T_0$ (9)

- [47] y con la *condición de contorno* de la ley física conducción del calor (1) en todo el dominio de integración y que toma valores conocidos justo en las superficies de frontera

$$[48] \quad \left(\frac{\delta T}{\delta r} \right)_{r=0} = - \left(\frac{f_k}{\lambda} \right)_{r=0} = \frac{q}{\lambda}$$

10)

- [49] donde q ($W m^{-2}$) es la fuente que libera el calor por unidad de tiempo y superficie de la fuente correspondiente a cada unidad de longitud azimutal ($z = 1m$) del cilindro.

[50] La ecuación (7) con la transformación (8) y las condiciones (9) y (10) se convierte en la *ecuación subsidiaria*

$$[51] \quad \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{T}}{\partial r} - q^2 \bar{T} = 0 \quad (11)$$

[52] que es una *ecuación de Bessel* cuya solución es conocida y se encuentra en las tablas matemáticas.

[53] Deshecha la transformación de la solución de (11) resulta la solución de (7)

$$[54] \quad T - T_\theta = \frac{q}{4\pi\lambda} \left[-Ei \left(\frac{r^2}{4D_k t} \right) \right] \quad (12)$$

[55] donde Ei (-x) es una exponencial cuyos valores se encuentran en las tablas matemáticas .

[56] La exponencial puede ser estimada por una función logarítmica al aumentar el tiempo y despejando λ resulta la expresión siguiente (Farouki, 1986)

$$[57] \quad \lambda = \frac{q}{4\pi(T_2 - T_1)} \ln \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (13)$$

[58] donde la conductividad térmica λ es un parámetro casi constante en el espacio y el tiempo que resulta de la proporcionalidad entre el incremento de temperatura ($T_2 - T_1$) y el del logaritmo del tiempo ($\ln t_2 - \ln t_1$). El valor de q se obtiene de la intensidad I de la corriente en amperios (A) y la resistencia R en ohmios (Ω) dividida por la longitud z (m) del cilindro o de la intensidad I y la diferencia de potencial dada por la ley de Ohm ($V = I.R$) entre los extremos de la resistencia con igual longitud que el cilindro.

[59] Con referencia a la figura 1, puede apreciarse que el dispositivo para medidas electro térmicas de la invención está constituido por un núcleo cilíndrico de cobre (1) con sistema refrigerante (2) portador de muestras de suelo no alteradas, el cual se encuentra rodeado por una resistencia eléctrica (3) que genera un flujo radial de calor en la muestra de suelo por medio de una corriente continua producida por una fuente de poder. El cilindro portador de la muestra (1) se encuentra aislado térmicamente dentro de un cilindro (4) que sirve de soporte al conjunto. El diámetro total del dispositivo para medidas electro térmicas puede variar en el rango de 10 a 20 cm, preferiblemente,

entre 11 y 13 cm y su altura es entre 15 y 25 cm, preferiblemente, entre 17 y 20 cm, en la cual se pueden realizar determinaciones de muestras de suelo no alteradas de cualquier profundidad en núcleos cilíndricos de 5 cm tanto de altura como de diámetro.

- [60] La resistencia eléctrica (3) que envuelve exteriormente el cilindro portador de cobre (1) con sistema refrigerante (2), posee dos bornes receptores (5,6) a los cuales están conectadas dos líneas de cable eléctrico (7,8) conectoras a la fuente de potencia. El cilindro (1) se encuentra aislado por medio de un anillo (9) elaborado en un material aislante térmico, soportado por el cilindro exterior (4) al cual se tienen cajeados dos bornes (10,11) para recibir encajadamente a dos conectores machos provenientes de la fuente de alimentación.
- [61] En la parte superior el cilindro portador de cobre (1) con sistema refrigerante (2) se encuentra aislado por una tapa (12) a base de material aislante térmico, que sirve como guía para la ubicación de un termopar (20) dentro de la muestra de suelo (M), a través de un orificio concéntrico (13) provisto en la tapa aislante (12) y una guía de la termocupla (14) extendida transversalmente.
- [62] Para el funcionamiento del intercambiador de calor (2) se conecta una manguera (15) desde una fuente de agua a un punto de conexión de entrada a la sonda constituida por un racor (16) y la salida (17) se conecta a una manguera (18) que desemboca en un depósito (19). En la figura 2 se presenta el dispositivo de la invención conectado a una termocupla (20) para la adquisición de los datos de temperatura y a un dispositivo de almacenamiento de datos (21) que registra los datos en un PC.
- [63] El novedoso sistema del dispositivo de la invención permite realizar mediciones rápidas de la conductividad térmica en muestras de suelo, almacenar los datos, enfriar el sistema y calibrar el dispositivo para la siguiente medición en un tiempo promedio de 10 minutos.
- [64] El método para la determinación de la conductividad térmica se desarrolla colocando en el cilindro portador (1) del dispositivo para medidas electro térmicas, la muestra de suelo no alterada (M), en la cual se introduce el termopar (20) justo en el centro, para el registro de datos. A continuación son enchufados en los bornes (10-11) los conectores eléctricos con sus respectivos cables que provienen de la fuente de alimentación para suministrar la corriente eléctrica a la resistencia (3) a través de las líneas (7,8) de cable eléctrico. La corriente eléctrica y la diferencia de potencial son registradas en multímetros conectados en serie y en paralelo respectivamente.
- [65] Los materiales empleados para la construcción del dispositivo para medidas electro térmicas de acuerdo con la invención, vienen determinados de conformidad con la correspondientes exigencias técnicas, como se describe a continuación: el cilindro portador (1) es elaborado en cobre, seleccionado este material por ser un buen conductor de calor, la resistencia (3) está conformada por alambre cantal recubierto

con acero inoxidable, mientras que el anillo aislante (9) y la tapa (12) están elaborados en material aislante térmico a base de acrílico.

[66] El dispositivo para medidas electro térmicas de la invención es accionado al aplicar una corriente continua que circula a través de la resistencia (3), la energía térmica disipada por la resistencia genera un flujo de calor en el suelo que permite determinar la conductividad térmica del mismo dando información sobre el potencial productivo del suelo o la reserva energética del mismo, calculado a partir de un indicador que involucra parámetros sintéticos y analíticos de suelos. La conductividad térmica es un parámetro sintético del suelo relacionado con su estado energético. El efecto de la labranza del suelo tiene impacto en la conductividad térmica y por tanto en el estado energético del suelo.

[67] La determinación del potencial productivo del suelo (PPS) se puede representar en mapas que representan la variabilidad espacial de la reserva energética del suelo y por tanto es posible diseñar un plan de fertilización diferencial lo cual aumenta la eficiencia y ahorra costos en la fertilización.

[68] También de manera sorprendente ha resultado de manera adicional que un dispositivo para medidas electro térmicas de este tipo puede ser utilizado para el análisis de la calidad nutricional de alimentos y para la identificación de la calidad de productos agro-ecológicos u orgánicos.

[69] Los siguientes experimentos fueron desarrollados para evaluar el dispositivo de la invención en los procesos de determinación del potencial productivo del suelo (experimento 1) y análisis de la calidad de orgánica de alimentos y productos agrícolas (experimento 2).

[70] **EJEMPLO 1**

[71] **Determinación del Potencial Productivo del Suelo**

[72] El Potencial Productivo del Suelo (PPS) es un índice representativo del estado de bienestar del suelo. Los índices para la determinación del potencial productivo del suelo se clasificaron en sintéticos, tales como, la conductividad térmica del suelo, resistividad eléctrica (r), Impedancia (W) y respirometría en campo (CO_2/m^2); y analíticos por la densidad aparente (Da), la actividad microbiana (AM), el porcentaje de macroporos ($\%Macro$), la humedad gravimétrica ($\%W$) y el porcentaje de arena ($\%Aren$), determinados en el Laboratorio de Física Ambiental de la Universidad del Valle.

[73] El proceso para la determinación del Potencial Productivo del Suelo (PPS) comprende las etapas de:

[74] 1. a) Muestreo inicial del suelo.

[75] 1. b) Determinación de la conductividad térmica en las muestras de suelo mediante el dispositivo de la invención.

- [76] 1. c) Determinación de Resistividad eléctrica ($\Omega.m$), Materia Orgánica (%), Densidad aparente (g/cm^3), Macroporos (%), Actividad Microbiana ($\mu gC-CO_2/gSS$), Relación $((Ca+Mg)/K)$ - Potencial de Hidrógeno (pH), Bases intercambiables (Cmol/kg) - CIC (Cmol/kg) en las muestras de suelo mediante técnicas apropiadas a cada variable.
- [77] 1. d) Elaboración del mapa de potencial productivo del suelo de acuerdo a la relación de la conductividad térmica y demás variables en las muestras de suelo.
- [78] 1. e) Fertilización diferencial del área.
- [79] A partir de este proceso se realizó la determinación del Potencial Productivo para un cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, obteniendo los valores para la conductividad térmica en 12 muestras de suelo del área cultivable mediante el dispositivo de la invención y elaborando el mapa de fertilización diferencial para el cultivo de caña de azúcar (figura 3). A partir de este mapa se establecen tres estrategias de fertilización dependiendo del estado de bienestar del suelo, la estrategia de fertilización 100% que representa el 6.7% del área en estudio, la estrategia de fertilización 75% que se aplica al 54.2% del área y la estrategia de fertilización 50% que representa el 39.1% del área cultivable.
- [80] Experiencias realizadas aplicando el proceso de la invención en el Ingenio Central Castilla han permitido reducir los costos de fertilización en 23%, en donde la inversión por Ha de fertilización es de \$980000 con siembras directas de 11.000 Ha. Por tanto, el proceso de la invención para establecer el potencial productivo del suelo (PPS) a partir de la determinación de la conductividad térmica en el dispositivo de la invención resulta de vital importancia para aumentar la productividad y competitividad del sector agrícola en la región.
- [81] **EJEMPLO 2**
- [82] **Evaluación de la calidad de productos agro- ecológicos**
- [83] El proceso para el análisis de la calidad nutricional de alimentos y productos agro- ecológicos a partir de la determinación de la conductividad térmica de una muestra en el dispositivo de la invención se basa en la relación existente entre la conductividad térmica y los materiales orgánicos, permitiendo asociar el comportamiento térmico de los productos como indicador de calidad.
- [84] El proceso para el análisis de la calidad nutricional de alimentos y productos agro- ecológicos de la invención comprende las etapas de muestreo del producto agro- ecológico o alimento y la determinación de la conductividad térmica en las muestras del producto mediante el dispositivo de la invención.
- [85] Los ensayos se realizaron comparando café orgánico - café convencional y banano orgánico - banano convencional, los resultados obtenidos se observan en las figuras 4 y

5. En estas gráficas se puede observar las marcadas diferencias en la conductividad térmica para productos convencionales y orgánicos, por lo cual el dispositivo para medidas electro-térmicas de la invención puede utilizarse en el proceso de evaluación de la calidad de productos orgánicos y puede considerarse un factor cuantitativo para la obtención del sello verde en productos ecológicos de exportación.

Claims

- [Claim 1] Un dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos caracterizado porque comprende:
- a) Un núcleo cilíndrico de cobre (1).
 - b) Una resistencia eléctrica (3).
 - c) Un cilindro de soporte (4).
 - d) Un elemento de termopar (20).
 - e) Medios de entrada y salida de un fluido (15), (16), (17) y (18).
 - f) Medios de almacenamiento de un fluido (19).
 - g) Un dispositivo de almacenamiento de datos (21).
- [Claim 2] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque el núcleo cilíndrico de cobre (1) presenta un sistema refrigerante integrado (2).
- [Claim 3] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque la resistencia eléctrica (3) presenta medios de borne receptores (5) y (6).
- [Claim 4] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de las reivindicaciones 1 y 4, caracterizado porque dichos medios de borne receptores (5) y (6) se encuentran conectados a unos medios de alimentación eléctrica (7) y (8).
- [Claim 5] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque el cilindro (1) se encuentra aislado por medio de un anillo (9) elaborado en un material aislante térmico.
- [Claim 6] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su

aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque el cilindro de soporte **(4)** presenta medios de borne receptores **(10)** y **(11)**.

[Claim 7] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque el cilindro portador de cobre **(1)** con sistema refrigerante **(2)** se encuentra aislado por una tapa **(12)** a base de material aislante térmico.

[Claim 8] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de las reivindicaciones 1 y 7 donde dicha tapa **(12)** presenta un orificio concéntrico **(13)**.

[Claim 9] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque el elemento de termopar **(20)** presenta unos medios de guía **(14)** los cuales se extienden transversalmente.

[Claim 10] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque dichos medios de entrada y salida de un fluido **(15)**, **(16)**, **(17)** y **(18)** están constituidos por una manguera **(15)**, un racor de entrada **(16)** y uno de salida **(17)**, una manguera **(18)** que desemboca en un depósito **(19)**.

[Claim 11] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque el dispositivo de almacenamiento de datos **(21)** registra la información en una unidad de procesamiento de datos.

[Claim 12] El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo

del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque el diámetro total del dispositivo para medidas electro térmicas puede variar en el rango de 10 a 20 cm, preferiblemente, entre 11 y 13 cm y su altura es entre 15 y 25 cm, preferiblemente, entre 17 y 20 cm.

[Claim 13]

El dispositivo para la determinación de la conductividad térmica y su aplicación en procesos para la determinación del potencial productivo del suelo (PPS) y análisis de calidad nutricional de alimentos y productos agro-ecológicos de la reivindicación 1, caracterizado porque se pueden realizar determinaciones de muestras de suelo no alteradas de cualquier profundidad en núcleos cilíndricos de 5 cm tanto de altura como de diámetro.

FIGURA 1

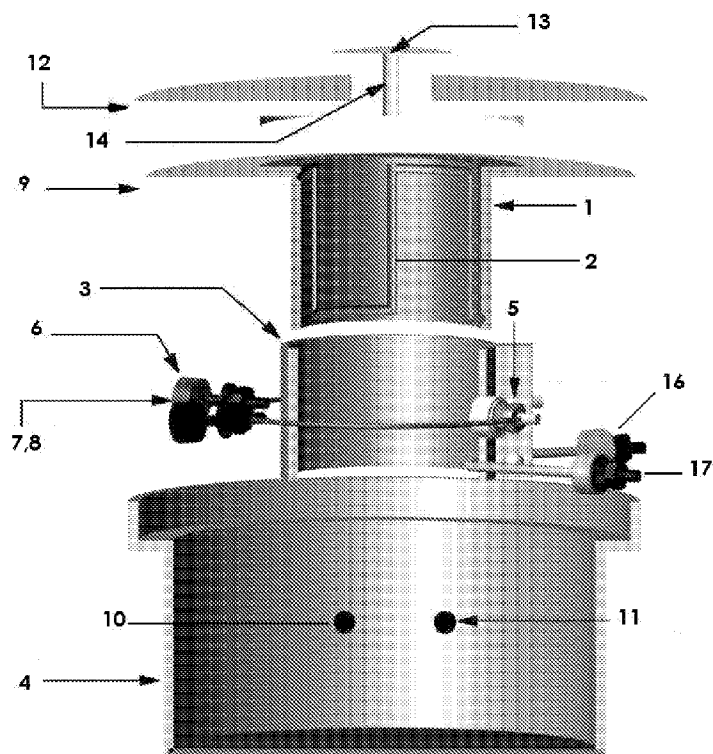


FIGURA 2

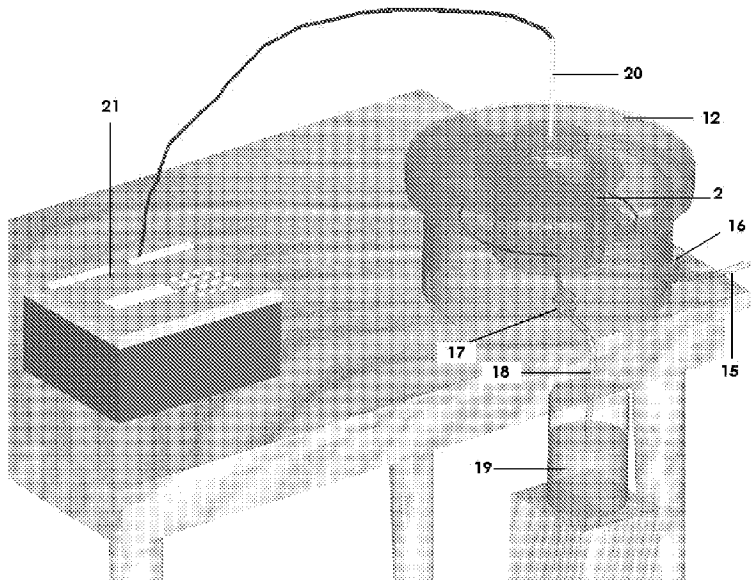


FIGURA 3

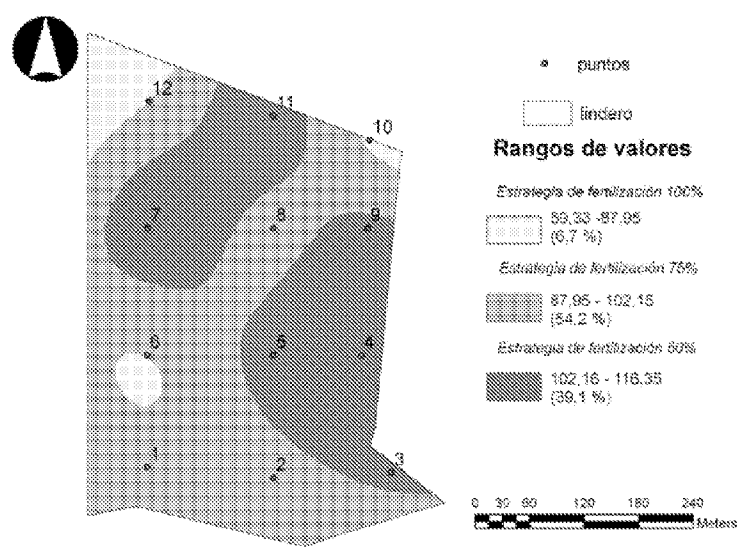


FIGURA 4

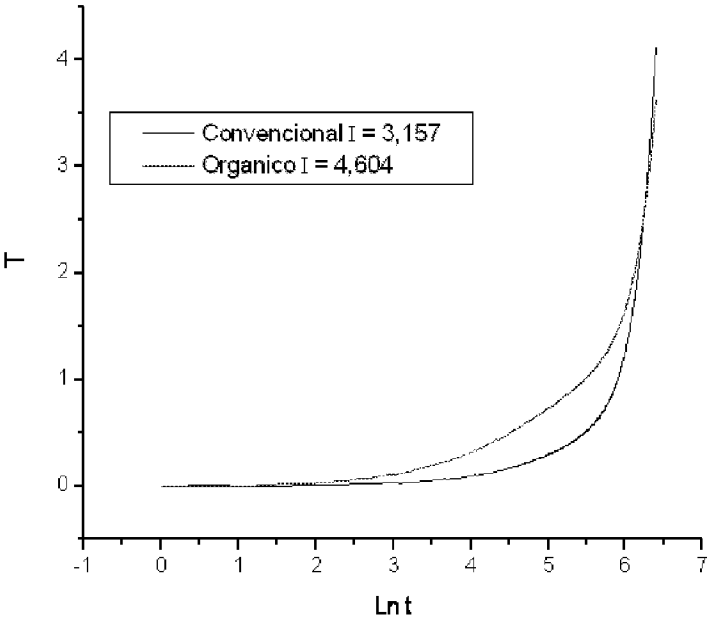


FIGURA 5

