

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11) Número de publicación: **2 933 874**

21) Número de solicitud: 202130787

51) Int. Cl.:

G01V 3/02 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22) Fecha de presentación:

11.08.2021

43) Fecha de publicación de la solicitud:

14.02.2023

Fecha de concesión:

17.07.2023

45) Fecha de publicación de la concesión:

24.07.2023

73) Titular/es:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
(100.0%)**

Ed.

30202 CARTAGENA (Murcia) ES

72) Inventor/es:

CAPA CAMACHO, Ximena Katherine;

FAZ CANO, Ángel;

GABARRÓN SÁNCHEZ, María;

MARTÍNEZ PAGÁN, Pedro y

MARTÍNEZ SEGURA, Marcos Antonio

74) Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

Observaciones:

La lista de secuencias está accesible al público en la página web de la OEPM para su descarga en formato electrónico.

54) Título: **PROCEDIMIENTO Y EQUIPAMIENTO PARA DETECTAR Y EVALUAR LA INFILTRACIÓN DE DEYECCIONES GANADERAS EN EL SUBSUELO SOBRE EL QUE SE ASIENTAN LAS BALSAS DE ALMACENAMIENTO DE PURINES**

57) Resumen:

Procedimiento y equipamiento para detectar y evaluar la infiltración de deyecciones ganaderas en el subsuelo sobre el que se asientan las balsas de almacenamiento de purines.

Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines, y equipo asociado, donde el procedimiento comprende:

la determinación de los valores de resistividad mediante el uso de la tomografía de resistividad eléctrica, con la disposición de unos perfiles terrestres con una pluralidad de electrodos de acero inoxidable; y unos perfiles internos que se despliegan en el interior de la balsa y consistentes en un cable marino con una pluralidad de electrodos de grafito; y donde los electrodos están en conexión con un resistímetro y permiten la medida directa de las características del subsuelo bajo la balsa de purines;

la ejecución del ensayo de permeabilidad LeFranc con una profundidad mínima a 4 metros tomada desde la cota de la base de la balsa; y el análisis físico-químico de unas muestras tomadas cada metro de unos sondeos mecánicos con extracción de testigo.

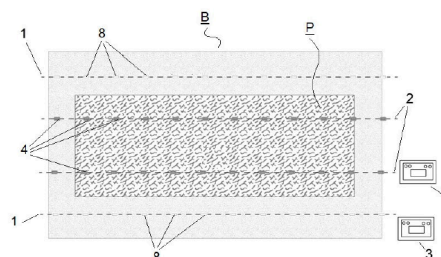


FIG.1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.

Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 933 874 B2

DESCRIPCIÓN

PROCEDIMIENTO Y EQUIPAMIENTO PARA DETECTAR Y EVALUAR LA
INFILTRACIÓN DE DEYECCIONES GANADERAS EN EL SUBSUELO SOBRE EL QUE
5 SE ASIENTAN LAS BALSAS DE ALMACENAMIENTO DE PURINES

Campo del invento

- 10 La presente invención está referida a un procedimiento para la detección y evaluación de la infiltración de deyecciones ganaderas en el subsuelo sobre el que se asientan las balsas de almacenamiento de purines en explotaciones ganaderas, y también se refiere al equipo con el que se puede realizar dicha detección y evaluación.
- 15 La presente invención se encuadra dentro del sector relacionado con la detección de la infiltración en el subsuelo producida en balsas de almacenamiento de purín, estando enfocada a determinar dicho grado de afectación en suelos y/o aguas subterráneas.

Estado de la técnica del invento

20

Es conocido dentro de este sector industrial que la evolución del censo de ganado, especialmente el porcino, hace que se espere una gran generación de volumen de purín expresado en metros cúbicos. El elevado volumen de cabezas de ganado y concretamente sus deyecciones deriva en una creciente necesidad de instalación de balsas de
25 almacenamiento del purín para gestionar estos residuos, lo que a su vez implica una serie de riesgos ambientales derivados de una inadecuada gestión en los procesos de producción, almacenamiento y distribución de purines.

A efectos de la presente invención se entiende como purín, al resultado de la mezcla proveniente de las excretas sólidas y líquidas de ganado porcino, junto con pelos, escamas,
30 agua de bebederos, de limpieza y restos de alimentos, considerado como un subproducto orgánico.

Este tipo de subproducto es comúnmente utilizado en la agricultura como fertilizante por su elevado contenido en materia orgánica, macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), y micronutrientes (cobre, zinc, hierro y manganeso). Las características de este
35 subproducto orgánico son muy variables y dependen del tipo de explotación, de la alimentación y de la zona agroclimática. Sus riesgos como contaminante proceden, entre

otros, de un exceso en el medio de compuestos inorgánicos tales como: nitrógeno (N), amonio (NH₄⁺), fósforo (P), potasio (K), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), y manganeso (Mn); de compuestos orgánicos del tipo compuestos fenólicos, ácidos grasos volátiles, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO) y de gases como el metano y amoníaco. La presencia de estos compuestos se traduce en problemas de salinización en suelo y agua, contaminación por metales, bioacumulación de metales como el cobre y el zinc, fitotoxicidad, contaminación de aguas superficiales y subterráneas por la lixiviación de nitritos, ocasionando problemas para su uso para riego o consumo humano.

5
10 Actualmente, se establecen ciertos requisitos normativos, entre los que destaca la obligatoriedad de impermeabilización natural o artificial de las balsas de almacenamiento de estiércol, asegurando que se evite el riesgo de filtración y contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y por otro lado las pérdidas por rebosamiento, filtración o por inestabilidad geotécnica. Sin embargo, al menos en España, las explotaciones que se encuentran en activo antes de 2020 no estaban obligadas a dicha impermeabilización, siendo proclives a la generación de los impactos ambientales antes mencionados. Actualmente estas balsas representan la mayor parte de las balsas de almacenamiento existentes.

El procedimiento general que se utiliza en la actualidad para la detección de este tipo de plumas contaminantes contempla el uso de la tomografía eléctrica, pero no aplicada directamente sobre la balsa de purín, y la toma de muestra de suelo, mediante la ejecución de un sondeo con extracción de testigo, este proceso se realiza fuera de la fuente de contaminación, entendida esta como la propia balsa, es decir en los alrededores del lugar, ya que debido a la propia naturaleza de los purines hace muy difícil la toma de medidas en el interior de la balsa, realizándose una toma al azar, sin información previa del estado del subsuelo en el sitio y generando un incremento considerable en los costes asociados.

25
30 Actualmente, la gestión de este tipo de emplazamientos es compleja, ya que, al existir escasa regulación en materia de suelos contaminados por la infiltración de purines, no se han definido Niveles Genéricos de Referencia en la normativa existente para considerar un emplazamiento contaminado por este tipo de subproductos orgánicos.

Dentro de los procedimientos que se utilizan para detectar contaminación en el subsuelo mediante el uso de la tomografía eléctrica podemos destacar las patentes ES2393716 que establece la metodología para detección y evaluación de suelos contaminados por hidrocarburos, y ES2474919 referente al procedimiento para determinar cuantitativamente propiedades físico-químicas de suelos o residuos sólidos, sin embargo, el uso de la tomografía eléctrica en estos casos se realiza con el uso de perfiles terrestres, sin ninguna

adecuación para su procedimiento e implantación directamente sobre el tipo de contaminante que para este caso específico es el purín.

Son conocidos también artículos en los que se divulga la utilización de tomografía de resistividad eléctrica ERT, como por ejemplo el artículo “*The use of 2D electrical tomography to assess pollution in slurry pond of the Murcia Region, SE Spain*” de *Martinez-Pagan P. et al* en 2010, que hace referencia a la utilización de ERT, técnicas de permeabilidad y de análisis físico-químico para evaluar las infiltraciones en el suelo procedentes de balsas de purines, sin embargo, este documento desarrolla esa tecnología con un equipamiento basado en un tendido aéreo para la conexión de unos electrodos en la balsa y unos pasos diferentes a los utilizados en la presente invención, y donde utiliza esos medios aéreos para poder realizar las medidas dentro del purín y las conexiones con los electrodos, ya que un cable terrestre necesita el contacto galvánico residuo-electrodo para una mejor transmisión de la corriente eléctrica, lo que resulta que esa tecnología tenga un gran incremento del tiempo de aplicación, posibles inconveniencias en la toma de datos al no mantenerse un contacto directo entre el electrodo y el purín, sin contar con el riesgo asociado en la puesta en marcha de los perfiles dentro de la balsa al hacer necesario que el operador entre dentro de la balsa para la instalación previa del dispositivo de medida.

También es conocido lo divulgado en el documento “*2-D Electrical Resistivity Imaging to Assess Slurry Pond Subsoil Pollution in the Southeastern Region of Murcia, Spain*” de *Martinez-Pagan P et al* en 2010, donde se describe una experiencia de uso ERT de las infiltraciones producidas por balsas de purines, y donde tanto el equipamiento, donde no hay elementos acuáticos o marinos, como el proceso son también diferentes a los descritos en la presente invención.

Finalmente, también es conocido lo divulgado en el documento “*Assessment of contamination by intensive cattle activity through electrical resistivity tomography*” de *Sainato C M et al* de 2012, donde se describe un estudio realizado sobre la contaminación producida por una explotación intensiva de ganado y de cómo las infiltraciones avanzan en los corrales, realizándose mediciones mediante ERT, pero donde tanto el equipo, que no dispone de medios acuáticos o marítimos, como el proceso también es diferente del que a continuación se describe en la presente memoria descriptiva.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se puede ver que la utilización de la tecnología ERT para evaluar la infiltración producida por purines, y la realización de diferentes ensayos para la localización y determinación de dicha infiltración son conocidos en este campo industrial; sin embargo, habida cuenta de los problemas previamente indicados, es imprescindible desarrollar un procedimiento que permita detectar la infiltración en el subsuelo producida en balsas de almacenamiento de purín, y establecer dicho grado de

afectación producida en suelos y/o aguas subterráneas, mediante la implementación de los perfiles marinos realizados con la técnica de la tomografía eléctrica, directamente sobre el subproducto orgánico, sin la necesidad de utilizar soportes de tipo aéreo o conexiones externas, y la eventualidad que implica implantar dicho perfil, con la consecuente reducción en el tiempo de aplicación, ya que con el sistema aéreo el tiempo para el desarrollo de un perfil estaría comprendido entre 3 y 4 horas y con el sistema marino este tiempo se reduce a una hora y reducción de costes, ya que no se necesita adquirir varillas metálicas, cable eléctrico, hilo de alambre, cinta adhesiva, bridas, y otros accesorios necesarios para el sistema de soporte aéreo y que se desechan en cada medida o campaña, y todo ello implica el tener datos más eficaces para su posterior análisis.

En este sentido, además de lo previamente indicado, la presente invención presenta grandes ventajas frente a las tecnologías conocidas derivadas de las mejoras que viene a incorporar el uso de los perfiles marinos, donde, por un lado permite llevarse a cabo un mayor número de perfiles en el tiempo que se requiere para llevar a cabo un perfil aéreo; y por otro lado, mejora la seguridad del operador ya que el perfil marino no hace necesario que se deba entrar al interior de la balsa para su implantación al poderse desplegar desde la orilla, algo que obliga con la instalación del perfil aéreo que hace necesario la entrada de una persona como mínimo para su implantación con los riesgos que eso podría suponer (caída, inhalación de gases, etc.). Además, el perfil marino no necesita de nuevos elementos en cada medida (elementos desechables o fungilbes) algo que si sucede con el perfil que utiliza soporte aéreo.

Adicionalmente, la presente invención, a través del desarrollo del equipo que a continuación se detalla, permite el desarrollar un método de tomografía eléctrica, que es el más adecuado para este tipo de estudio sobre balsas de purines, donde precisamente el uso de cable marino permite mejorar el contacto entre el sensor y el purín, siendo de hecho un contacto directo.

Descripción del invento

El objeto de la presente invención consiste en desarrollar un procedimiento para determinar la infiltración en el subsuelo producida en balsas de almacenamiento de purín y establecer dicho grado de afectación producida en suelos y/o aguas subterráneas, mediante la implementación de los perfiles marinos realizados con la técnica de la tomografía eléctrica, directamente sobre el subproducto orgánico, sin la necesidad de utilizar soportes, conexiones externas, y la eventualidad que implica implantar dicho perfil, con la consecuente reducción en el tiempo de aplicación y reducción de costes al tener datos más

eficaces para su posterior análisis.

De este modo, el proceso y el equipo de la presente invención tienen las siguientes particularidades.

En cuanto a la ejecución e implantación del equipo, se ha de decir que el equipo comprende
5 de unos perfiles de tomografía de resistividad eléctrica (ERT), con al menos dos perfiles
externos, ubicándose un perfil a cada lado de la balsa, realizados con cable para medidas
terrestres, y al menos dos perfiles interiores realizados con cable marino. Si el cable marino
va sumergido y situado en el fondo de la balsa, cuenta con un diseño de varilla señalizadora
de la posición precisa de los electrodos fabricada de material plástico para no interferir en
10 los datos obtenidos y colocadas sobre cada electrodo. Por otro lado, si los electrodos se
colocan sobre la superficie del purín, se debe disponer un sistema de cordel y elementos
de flotación para garantizar la flotabilidad del sistema. La finalidad de los cuatro perfiles
paralelos es la obtención de un bloque 3D de valores eléctricos de la zona de influencia de
la balsa de purín, siendo ésta una región perimetral de unos 2 metros de anchura y la zona
15 inferior a la balsa de almacenamiento hasta una profundidad de 10-15 metros.

Los perfiles terrestres, al menos dos, en los laterales de la balsa, es decir uno a cada lado,
deben tener una separación al lateral de la balsa de 1 m, con una orientación preferencial
longitudinal a la balsa, de esta manera se cubre más área de la misma, la separación de
electrodos será entre 1 y 2 metros respectivamente, de esta manera se obtiene una mejor
20 resolución para detectar variaciones debidas a la filtración de purín, y utilizando una
configuración dipolo-dipolo, que garantiza una buena resolución y cobertura de datos en
superficie, al igual que la realización de al menos dos perfiles internos, empleando un cable
eléctrico marino, con longitudes similares y separación de electrodos entre 1 y 2 metros,
utilizando la misma configuración dipolo-dipolo.

25 Tanto los perfiles externos como los internos deben ser paralelos para, de esta manera,
obtener un bloque 3D del subsuelo caracterizado por valores de resistividad eléctrica.

Frente a las tecnologías conocidas en el estado de la técnica, la presente invención
implemente el uso de perfiles internos dentro de la balsa de purines con el uso de cable
marino que permite la toma de datos directamente sobre el subproducto orgánico, sin la
30 necesidad de utilizar soportes aéreos para poder realizar las medidas dentro del purín y las
conexiones con los electrodos, conexiones externas, y la eventualidad que implica
implantar dicho perfil, consiguiéndose valores más rápidos y reales, precisamente al estar
en contacto directo.

Se utiliza un equipo convencional de tomografía eléctrica compuesto por un resistivímetro
35 o unidad principal de medida, para los perfiles terrestres se utilizan cables multiconductores
conectados a electrodos de acero inoxidable y para los perfiles interiores a la balsa de purín

se utiliza cable marino constituido por 28 electrodos de grafito con el complemento de la varilla señalizadora si se dispone sobre el fondo de la misma, o el empleo de elementos de flotación si se dispone sobre su superficie.

5 Para el escenario de encontrarse el purín sólido, los electrodos de grafito deberán conectarse a varillas metálicas de acero inoxidable.

Una vez procesados los datos de la tomografía eléctrica, se identifican las zonas más conductoras debido a que la acumulación del purín en el subsuelo presenta anomalías eléctricas conductoras caracterizadas por valores de resistividad eléctrica inferiores a los 5 Ohm.m.

10 Esta confirmación se realizada con el apoyo de técnicas geoquímicas consistentes en la determinación de los parámetros físico-químicos del suelo. Estas muestras son tomadas mediante un sondeo mecánico con extracción de testigo a profundidad de 10-15 metros. El emplazamiento del sondeo mecánico se realiza cumpliendo que: atraviere zonas conductoras detectadas con la tomografía eléctrica fuera de la balsa y, según la geología,
15 en dirección aguas abajo siendo éste el sentido preferencial del purín en el subsuelo.

A continuación, hay una determinación del valor de la permeabilidad de los materiales que componen el suelo entre la superficie y los 4 metros de profundidad mediante el ensayo de LeFranc, que estima la velocidad de descenso del nivel de agua dentro del sondeo, lo que permite mediante la aplicación de una fórmula matemática obtener el valor de la constante
20 de permeabilidad.

A modo de resumen y de concreción del procedimiento objeto de la presente invención, este comprende las siguientes etapas:

- Determinación de los valores de resistividad mediante el uso de la tomografía de resistividad eléctrica, con la realización de al menos 2 perfiles externos realizados
25 en los laterales de la balsa, y dos perfiles internos mediante el uso de un cable marino que permite la medida directa de las características del subsuelo bajo la balsa de purines, para lo cual esos perfiles comprenden una pluralidad de electrodos que están en contacto con el contenido de purines de la balsa y a su vez con un resistímetro.
- 30 - ejecución del ensayo de permeabilidad LeFranc con una profundidad mínima a 4 metros tomada desde la cota de la base de la balsa y delimitada por las técnicas de geofísica recomendadas previamente; y
- análisis físico-químico de las muestras tomadas cada metro del sondeo, para de esta manera tener caracterizada toda la litología de la columna de perforación y que
35 le diseño de muestreo abarque todas las variaciones posibles en todo el material.

Para el desarrollo de este procedimiento, concretamente el primer paso, cuando los

electrodos que se despliegan en el interior de la balsa pueden comprender un elemento señalizador de su posición, concretamente pueden comprender una varilla señalizadora cuando los electrodos se disponen sobre el fondo interior de la balsa, o pueden unos elementos de flotación cuando los electrodos se disponen sobre la superficie o lámina superficial de la balsa de purines. De esta forma se evitan los problemas previamente indicados de estructuras basadas en medios aéreos, y permite obtener las mejoras destacadas previamente.

En este sentido, siendo también objeto de protección de la presente invención, para llevar este procedimiento es esencial disponer del siguiente equipamiento en una balsa de purines:

- (1) al menos dos perfiles terrestres, al menos uno a cada lado, con una separación lateral de la balsa de al menos 1 metro, consistente en cables multiconductores;
- (2) al menos dos perfiles internos que se despliegan por el fondo de la balsa y consistentes en un cable marino, es decir, en contacto directo con el contenido de la balsa de purines, no siendo aéreos como en las técnicas conocidas hasta la fecha;
- (3) al menos un resistímetro o unidad principal de medida, que es un equipo de tomografía terrestre;
- (4) una pluralidad de electrodos, que son de grafito, distribuidos longitudinalmente a lo largo de cada cable marino, estando ubicados equidistantemente entre ellos; y donde precisamente estos electrodos están en contacto directo con el contenido de la balsa a diferencia de otras técnicas conocidas;
- (5) una varilla señalizadora, dispuesta sobre cada electrodo de grafito, que permite ubicar el electrodo y/o acceder a él superficialmente;
- (6) una base preferentemente cónica, que sirve conexión entre la varilla señalizadora y el electrodo de grafito;
- (7) una brida o adaptador que sirve de ajuste o enganche entre la varilla y el electrodo;
- (8) una pluralidad de electrodos, que son de acero inoxidable; distribuidos longitudinalmente a lo largo de cada perfil terrestre, estando ubicados equidistantemente entre ellos;

donde el número de electrodos de grafito y de acero inoxidable en cada perfil es el mismo y con la misma equidistancia generando una cuadrícula o bloque en toda la superficie de la balsa; y donde todos los electrodos están en comunicación con el resistímetro del equipo de tomografía terrestre.

En este sentido, el uso de electrodos de grafito en los perfiles internos es la mejor solución para ambientes marinos o acuosos con alto contenido de sales ya que es un material que

favorece la conducción de la corriente eléctrica al subsuelo, garantizando una mínima resistencia de contacto, y al mismo tiempo el grafito es resistente a procesos de corrosión. Otros tipos de materiales podrían dar lugar a problemas como la corrosión o un deterioro prematuro.

- 5 Por otro lado, el uso de electrodos de acero inoxidable en los perfiles terrestres es la mejor solución, dado que es necesario un material que favorezca una elevada transmisión de la corriente eléctrica, al mismo tiempo que sea resistente a los golpes de la maza y durable y cuyo coste sea asumible, por lo que el acero inoxidable es el que mejor responde a dichos criterios o condicionantes frente a otros materiales como el cobre, el aluminio, el grafito o
- 10 el platino.

Se ha de tener en cuenta que, a lo largo de la descripción y las reivindicaciones, el término “comprende” y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas o elementos adicionales.

15 **Breve descripción de las figuras**

Con el objeto de completar la descripción y de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, se presenta un juego de figuras y dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo se representa lo siguiente:

- 20 Figura 1.- Muestra un esquema del equipamiento y de la disposición paralela de los perfiles de tomografía eléctrica definidos tanto en su posición exterior, un perfil a cada lado de la balsa (B) de purines, como en la zona interior (P) de la balsa con los purines y dos perfiles compatibles con las medidas marinas.

- Figura 2.- Muestra el diseño de la varilla señalizadora de electrodos, fabricada de material
- 25 plástico, colocada sobre los electrodos de grafito que dotan a los perfiles marinos que se despliegan en el fondo de la balsa de purines.

- Figura 3.- Muestra unos gráficos donde se puede observar la relación entre los valores de resistividad eléctrica obtenidos por la tomografía eléctrica, correlacionados con la profundidad de los sondeos realizados, y los resultados de los análisis físico-químico del
- 30 suelo; concretamente el gráfico a) corresponde con la columna estratigráfica de un sondeo; los gráficos b) y c) corresponden con los valores del análisis físico-químico, donde el b) corresponde con la conductividad eléctrica (dS/m) y el c) corresponde con el nitrógeno total (mg/kg).

35

Descripción detallada de un modo de realización del invento

Para la descripción de un posible modo de realización del invento, y tal como se puede observar en las figuras, se tiene una balsa de purines, donde en una balsa se disponen al menos 2 perfiles terrestres en los laterales de la balsa (1), es decir uno a cada lado, con una separación al lateral de la balsa de 1 m, y con longitudes entre 30 y 60 metros, dependiendo de la geometría y dimensiones de la balsa de purín, y una separación de electrodos entre 1 y 2 metros respectivamente, configuración dipolo-dipolo, conectado a un generador eléctrico con el fin de garantizar un suministro estable de corriente y con suficiente energía para conseguir valores eléctricos de calidad, al igual que la realización de al menos dos perfiles internos, empleando un cable eléctrico marino (2), con longitudes similares y separación de electrodos entre 1 y 2 metros, utilizando la misma configuración dipolo-dipolo. Tanto los perfiles externos como los internos deben ser paralelos para, de esta manera, obtener un bloque 3D del subsuelo caracterizado por valores de resistividad eléctrica.

Para la primera fase se utiliza un equipo convencional de tomografía eléctrica compuesto por un resistímetro o unidad principal de medida (3). Para los perfiles terrestres se utilizan cables multiconductores conectados a electrodos de acero inoxidable (8), y para los perfiles interiores a la balsa de purín se utiliza cable marino constituido por 28 electrodos de grafito (4) con el complemento de la varilla señalizadora (5) si se dispone sobre el fondo de la misma, o el empleo de elementos de flotación si se dispone sobre su superficie. Para el escenario de encontrarse el purín sólido, los electrodos de grafito deben conectarse a varillas metálicas de acero inoxidable.

La varilla señalizadora (5) de electrodos implantada en el cable marino para la medición en las balsas de purines, está compuesta por una varilla de plástico, con base cónica (6), ajustada a una brida o adaptador de plástico de dos piezas (7), que sirve de ajuste o de pasador de apriete para el enganche con los electrodos de grafito (4), donde la fabricación de estos elementos se realizará a través del empleo de impresora 3D.

La varilla señalizadora (5) permite localizar especialmente cada uno de los puntos de medida en el interior de la balsa, para garantizar la linealidad de los perfiles interiores y su posterior correlación y análisis. Esto se hace necesario debido a la dificultad de localizar los electrodos en el fondo de la balsa por la propia naturaleza del purín que no permite visualizar el fondo de la balsa.

Los perfiles se distribuyen de manera paralela, para realizar la integración de los datos en un bloque 3D de valores de resistividad real del subsuelo, y lograr detectar y estimar la zona de afección de la balsa, en vertical con los perfiles interiores, y la zona de afección lateral mediante la interpretación de los perfiles externos.

Cabe recalcar que, para la toma de medidas en los perfiles internos de la balsa de purín,

este debe tener una consistencia fluida, que permita el contacto de los electrodos con el subproducto orgánico. Si el purín estuviera seco, los electrodos de grafito deben conectarse a unas varillas metálicas de acero inoxidable para transmitir adecuadamente la corriente eléctrica al subsuelo y reducir la resistencia eléctrica de contacto.

5 Después de la toma de las medidas in situ, estos serán sometidos a una serie de etapas de procesamiento que incluyen filtración de datos, corrección topográfica y eliminación de datos erróneos que permitan obtener el bloque 3D de valores de resistividad eléctrica para el subsuelo de la balsa hasta una profundidad de investigación de 15 metros, esto depende del tipo de litología presente en la zona. De esta manera se obtiene una primera
10 aproximación sobre el estado del subsuelo en la balsa de purín, localizando las zonas potencialmente contaminadas, para ello se marcarán las regiones que presenten los valores de mayor conductividad eléctrica ($< 5 \text{ Ohm.m}$) para realizar la confirmación, a través de un sondeo mecánico con extracción de testigo.

El sondeo (80-100 mm) se realiza a rotación con obtención de testigo continuo. En la
15 medida de lo posible debe ser realizado en seco o con la mínima cantidad de agua necesaria para evitar la alteración de las propiedades químicas del suelo. Sin embargo, esto dependerá del tipo de suelo de cada emplazamiento.

La toma de muestra a lo largo de la columna de perforación obtenida es realizada una vez haya concluido toda la campaña de perforación para ese punto de sondeo y todas las
20 muestras se encuentren en los portatestigos de perforación. Se toma una muestra compuesta por cada metro de perforación o cuando a criterio del técnico se observe un cambio visual en los materiales. Las muestras de suelo recogidas se guardarán en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas y se conservarán en frío hasta su transporte al laboratorio.

25 Adicionalmente se procede a realizar el ensayo de permeabilidad LeFranc de carga variable (ASTM D4631 - 95(2000)), que constituye la segunda fase del proceso. Este ensayo consiste en medir el caudal necesario para mantener el nivel de agua dentro del sondeo realizado durante un tiempo determinado. Así, una vez estabilizado el nivel de agua a 4 metros de profundidad desde la cota de la base de la balsa, delimitada por las técnicas
30 de geofísica recomendadas previamente, realizar una serie de lecturas de la velocidad de los descensos del nivel de agua, para luego determinar la permeabilidad del suelo mediante una expresión matemática en el que se obtiene el coeficiente de permeabilidad (k).

La tercera fase del procedimiento consiste en el análisis físico-químico de las muestras tomadas cada metro del sondeo, o cada cambio de estrato, las cuales permiten caracterizar
35 a detalle los diferentes tipos de material que componen dicho suelo, su textura y determinar la potencial de contaminación por purín.

Una vez en laboratorio las muestras se procesan conforme a la norma ISO 18512:2007 y UNE-EN 16179, de modo que se separa una alícuota de suelo fresco para el análisis de nitratos, nitritos y amonio por cromatografía iónica y el resto del suelo se secará en estufa de aire forzado y se tamizará según lo descrito en las normas anteriormente referidas. Con el fin de clasificar desde un punto de vista litológico los materiales que conforman el subsuelo se realiza un análisis textural de los mismos, además de una descripción litológica de la columna del sondeo. Esta clasificación nos permite comprobar la relación de estos materiales con los resultados del ensayo de permeabilidad. También se determinan las propiedades contenido de humedad, pH, conductividad eléctrica, contenido total de carbono y contenido de carbono orgánico e inorgánico y la concentración total de Cu y Zn, todas ellas ligadas en su mayor parte a la litología de la zona a evaluar.

Los nutrientes que los purines aportan al suelo son amplios en contenido de materia orgánica, macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), y micronutrientes (cobre, zinc, hierro y manganeso), su riesgo como contaminante corresponde a sales y compuestos nitrogenados, principalmente en forma de amonio que según las condiciones en las que se encuentre sufrirá procesos de nitrificación/ desnitrificación. Para evaluar la posible presencia de lixiviados en los suelos adyacentes a la balsa hasta los 15 metros de profundidad se analizan los siguientes parámetros: aniones y cationes solubles (cloruros, bromuros, fosfatos, sulfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio), la concentración de nitrógeno total (NT), el contenido de nitrógeno en los nitratos (N-NO_3^-), nitritos (N-NO_2^-) y amonio (N-NH_4^+) y la concentración de cobre (Cu) y Zinc (Zn) solubles, ya que los metales en su forma soluble son los susceptibles de ser lixiviados horizontal y verticalmente desde los purines, en los que se encuentran en disolución.

La metodología analítica empleada para la caracterización geoquímica del subsuelo corresponde a: el método de Peech (1965) para la determinación del pH, consistente en la medida con electrodo selectivo en un extracto suelo agua de proporciones 1:2,5 y a el método de Cobertera (1993) consistente en la medida con electrodo selectivo en un extracto suelo agua de proporciones 1:5. El contenido en Cu y Zn soluble se mide mediante ICP-MS en un extracto suelo agua 1:5. Para la cuantificación de las sales solubles entre las que se encuentran el amonio, los nitratos y nitritos se obtuvo un extracto suelo agua en proporción 1:5, utilizando en este caso suelo fresco, para a continuación cuantificar mediante cromatografía iónica. El contenido en nitrógeno total y las fracciones del carbono se obtuvo mediante el uso de un analizador elemental (ISO 10694) mientras que la granulometría de las diferentes muestras se cuantifica mediante el uso de un difractómetro láser (ISO 13320:2020).

Adicionalmente se procede a la toma y análisis químico de un número representativo de

muestras de purín, con el fin de caracterizarlos y como apoyo a la caracterización geoquímica del suelo. Para el purín se analizará pH, conductividad eléctrica, concentración de sales (cloruros, bromuros, fosfatos, sulfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio) mediante cromatografía iónica, ya que la excreción de sales como cloruros, sodio y potasio está
5 directamente relacionada con la salinidad de los purines, y la concentración de nitrógeno total, mediante el método Kjeldahl.

En las gráficas de la Fig.3, se muestran los resultados obtenidos de un ejemplo práctico llevado a cabo en varias balsas de almacenamiento de purín tras la aplicación de los procedimientos descritos anteriormente.

10 La aplicación de la presente invención determina dos zonas claramente diferenciadas, las zonas ubicadas en los laterales con valores altamente resistivos, y la zona ubicada bajo la balsa de purines con valores bajos de resistencia eléctrica ($< 5 \text{ Ohm}$) en relación a su entorno más próximo.

Dentro de la zona menos resistiva se procede a realizar un sondeo mecánico con
15 extracción de testigo a una profundidad de al menos 15 metros, este se realiza en la zona más cercana a la balsa para de esta manera abarcar datos más representativos, y sin ocasionar algún fallo en la estructura de esta y se ejecuta la tercera y cuarta fase. Los resultados obtenidos muestran concentraciones más altas de sales en suelo, y un incremento en los valores de nitrógeno en profundidades someras ($< 3 \text{ metros}$)
20 confirmando la localización esperada de la pluma de contaminación y coincidiendo con el grado de infiltración determinado por la tomografía de resistividad eléctrica. En este gráfico, concretamente en la columna estratigráfica, se ven que hay arenas y limos (A1) hasta una profundidad de 2-3 metros y arenas (A2) hasta una profundidad de 15 metros.

La textura que predomina en la mayoría de los suelos corresponde a suelos franco –
25 limosos, en cuanto a las propiedades químicas presentan valores ligeramente alcalinos (8 – 9) y valores próximos o mayores a 1 dS/m en los suelos ubicados entre la superficie y aproximadamente los 2 metros de profundidad, a partir de ahí se observa un claro descenso, con respecto al contenido de sales en el suelo, estos valores incrementan entre la superficie y los 2-3 metros de profundidad, siendo su distribución similar con la marcada
30 por la conductividad eléctrica y con la cantidad de nitrógeno total en suelo, lo que se puede relacionar con la presencia de purín.

Los resultados obtenidos en la gráfica de la Fig.3 indican que la presente invención permite detectar zonas potencialmente contaminadas por la infiltración de purín. La presente invención supone un avance en la detección de suelos contaminados por infiltración de
35 purín, así como la determinación de la permeabilidad de los suelos donde se ubica dichas balsas, minimizando la incertidumbre acerca su infiltración y el procedimiento a llevarse a

cabo con una profundidad definida para la realización del sondeo con criterios científicos, ahorrando tiempo y costes y obteniendo información fiable del estado del subsuelo en la totalidad del emplazamiento estudiado.

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines, que
5 comprende:
- la determinación de los valores de resistividad mediante el uso de la tomografía de resistividad eléctrica, con la disposición de dos perfiles terrestres (1) realizados en los laterales de la balsa y consistentes en cables multiconductores con una pluralidad de electrodos distribuidos longitudinalmente a lo largo de cada perfil terrestre, estando los electrodos ubicados equidistantemente entre ellos; y al menos dos perfiles internos (2) que se despliegan en el interior de la balsa y consistentes en un cable marino con una pluralidad de electrodos distribuidos longitudinalmente a lo largo de cada cable marino, estando los electrodos ubicados equidistantemente entre ellos; donde los electrodos están en conexión con un resistímetro (3) y permiten la medida directa de las características del subsuelo bajo la balsa de purines; donde los perfiles terrestres (1) y los perfiles internos (2) son de la misma longitud y se disponen de forma paralela; y donde el número de electrodos en cada perfil interno coincide con el número de electrodos de cada perfil externo;
 - la ejecución del ensayo de permeabilidad LeFranc con una profundidad mínima a 4 metros tomada desde la cota de la base de la balsa; y delimitada por las técnicas de geofísica donde se realiza una serie de lecturas de la velocidad de los descensos del nivel de agua, para luego determinar la permeabilidad del suelo mediante una expresión matemática en el que se obtiene el coeficiente de permeabilidad (k);
 - el análisis físico-químico de unas muestras tomadas cada metro de unos sondeos mecánicos con extracción de testigo, para la obtención de una muestra donde se caracteriza toda la litología de la columna de perforación y donde el diseño del muestreo abarca las variaciones en todo el material.
- 2.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines según la reivindicación 1, caracterizado porque los perfiles terrestres (1) se ubican en los laterales de la balsa con una separación al lateral de la balsa de al menos 1 m.
- 3.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines según la reivindicación 1, donde los electrodos en cada perfil interno tienen una separación entre ellos de entre 1 y 2 metros respectivamente.
- 4.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines

según la reivindicación 1, caracterizado porque la longitud de cada perfil está entre 30 y 60 metros.

5 5.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines según la reivindicación 1, caracterizado porque los electrodos que se despliegan en el interior de la balsa comprenden una varilla señalizadora cuando los electrodos se disponen sobre el fondo interior de la balsa.

10 6.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines según la reivindicación 1, caracterizado porque los electrodos que se despliegan en el interior de la balsa comprenden unos elementos de flotación cuando los electrodos disponen sobre la superficie o lámina superficial de la balsa.

15 7.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines según la reivindicación 1, caracterizado porque tanto los perfiles externos como los internos son paralelos y obtienen un bloque 3D del subsuelo caracterizado por valores de resistividad eléctrica., delimitando las regiones del subsuelo con los valores más bajos de resistividad eléctrica (< 5 Ohm.m) con el apoyo del modelo 3D de tomografía eléctrica.

20 8.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines según la reivindicación 1, caracterizado porque los sondeos mecánicos con extracción de testigo se realizan en la zona contigua a la balsa y a una profundidad de al menos hasta 15 metros.

25 9.- Procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines según la reivindicación 1, caracterizado porque el análisis físico-químico de las muestras son analizadas según los siguientes parámetros: contenido de humedad, textura y contenido pH, granulometría/textura, aniones y cationes solubles (cloruros, bromuros, fosfatos, sulfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio), la concentración de nitrógeno total (NT), el contenido de nitrógeno en los nitratos (N-NO₃-), nitritos (N-NO₂-) y amonio (N-NH₄⁺) y la concentración de cobre (Cu) y Zinc (Zn) solubles.

35 10.- Equipamiento para llevar a cabo un procedimiento para detectar y evaluar la infiltración producida en balsas de purines según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que se caracteriza por que comprende:
al menos dos perfiles terrestres (1), al menos uno a cada lado, consistente en cables

multiconductores;

al menos dos perfiles internos (2) que se despliegan por el interior de la balsa y consistentes en un cable marino;

al menos un resistímetro (3) o unidad principal de medida, que es un equipo de tomografía terrestre;

5

una pluralidad de electrodos de grafito (4), distribuidos longitudinalmente a lo largo de cada cable marino, estando ubicados equidistantemente entre ellos;

un elemento señalizador dispuesto sobre cada electrodo de grafito de ubicación de la posición del electrodo en la zona interna de la balsa;

10

una pluralidad de electrodos de acero inoxidable (8); distribuidos longitudinalmente a lo largo de cada perfil terrestre, estando ubicados equidistantemente entre ellos;

donde el número de electrodos de grafito (4) y de electrodos de acero inoxidable (8) en cada perfil es el mismo y con la misma equidistancia generando una cuadrícula o bloque en toda la superficie de la balsa; y donde todos los electrodos están en comunicación con

15

el resistímetro (3).

11.- Equipamiento, según la reivindicación 10, donde el elemento señalizador es una varilla (5) señalizadora.

20

12.- Equipamiento, según la reivindicación 11, donde cada varilla señalizadora (5) comprende una base cónica (6); y una brida (7) o adaptador de ajuste o enganche entre la varilla y la base cónica (6) y el electrodo de grafito (4).

13.- Equipamiento, según la reivindicación 12, donde la brida (7) es de plástico.

25

14.- Equipamiento, según la reivindicación 10, donde el elemento señalizador es un flotador.

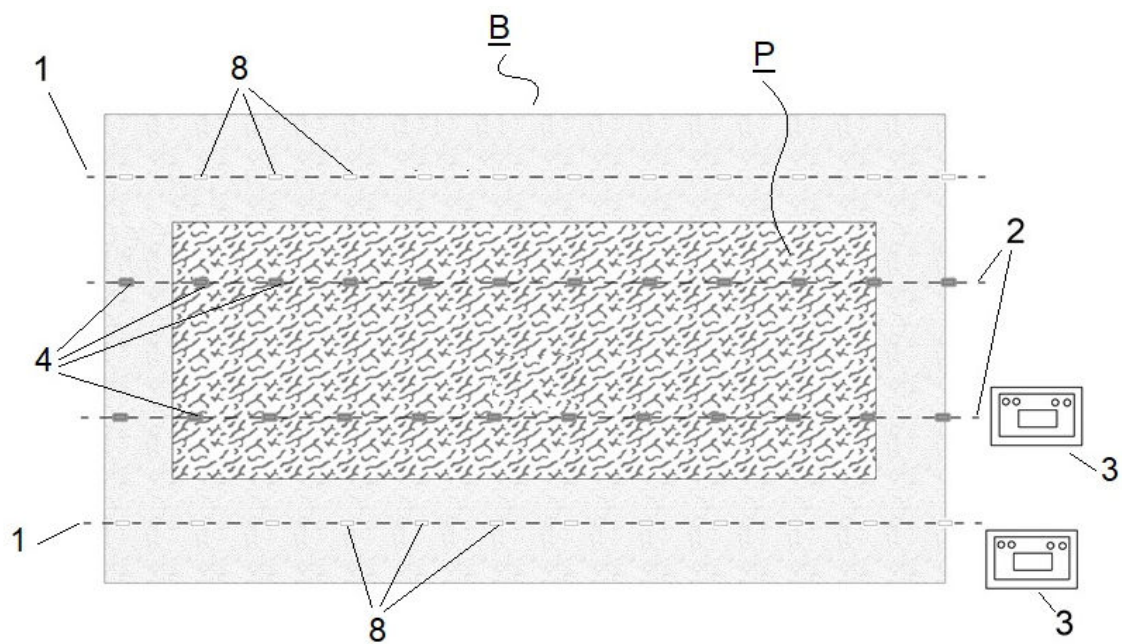


FIG. 1

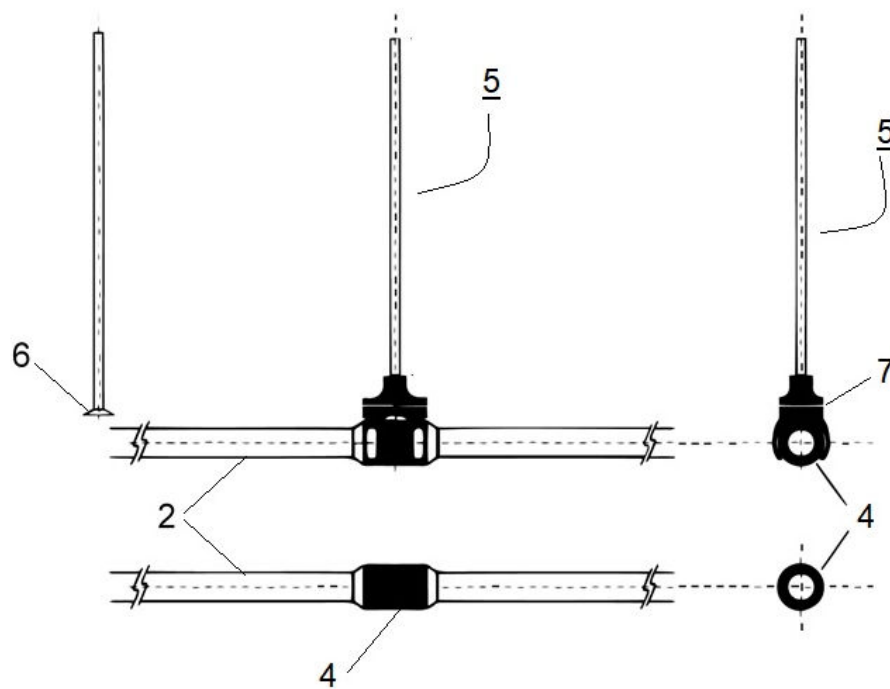


FIG. 2

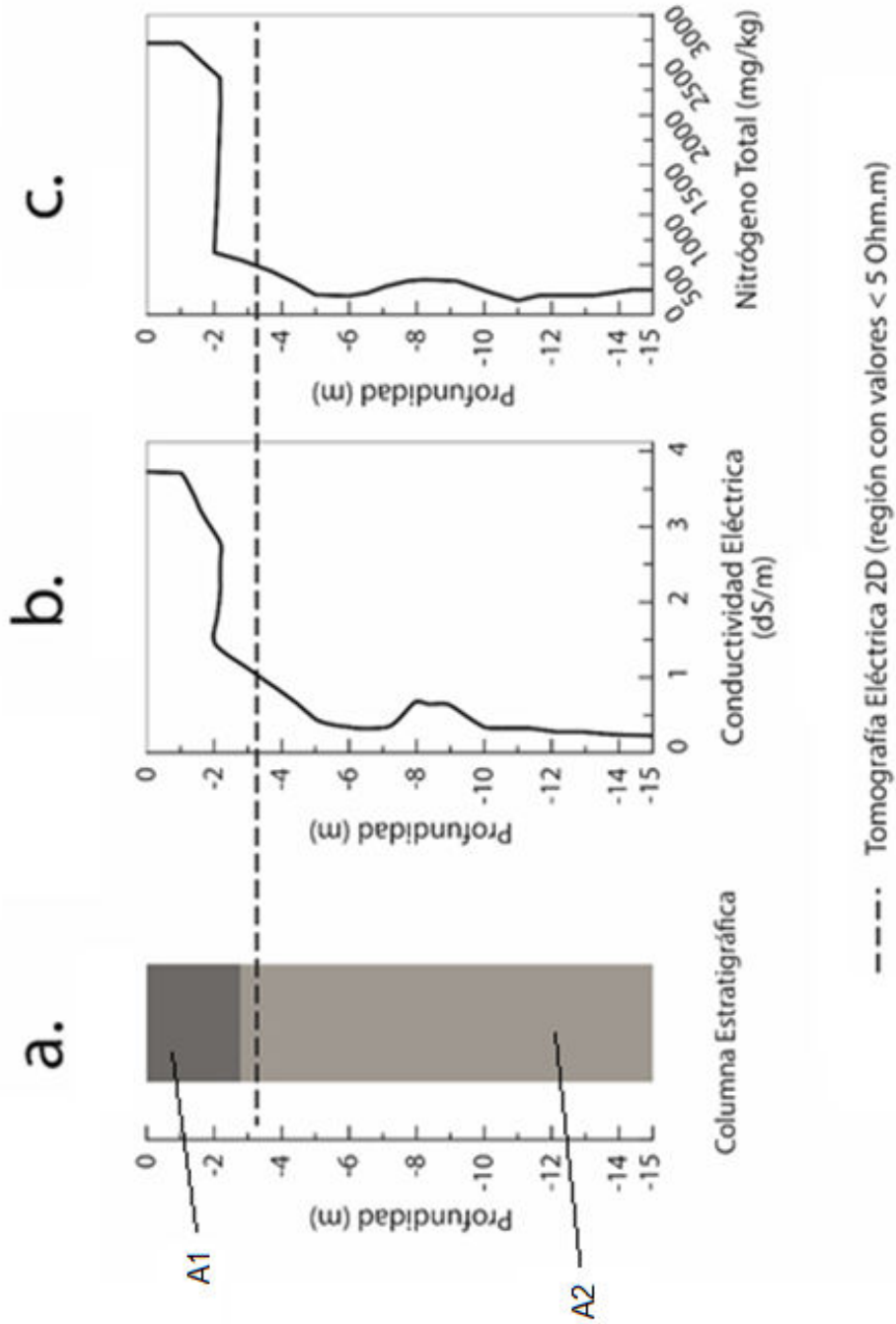


FIG.3