

PROCESO DE FERMENTACIÓN AERÓBICO Y TERMÓFILO DE MEZCLAS DE MATERIALES ORGÁNICOS, ASISTIDO CON MAGNETISMO

Campo de la invención

5

La presente invención se relaciona con procesos y sistemas fermentación de mezclas de materiales orgánicos. Particularmente, la presente invención se relaciona con procesos y sistemas fermentación aeróbicos y termófilos de mezclas de materiales orgánicos con asistencia magnética.

10

Descripción del estado de la técnica

Los residuos orgánicos se han convertido en un problema ambiental y de salud en la sociedad moderna. Se han propuesto diferentes estrategias con el fin de reducir al mínimo sus efectos negativos y convertirlos en recursos. El compostaje es un proceso de fermentación con el que se obtiene una alta eficiencia de biotransformación de los desechos agrícolas con bajo impacto ambiental, lo que le añade valor a una amplia variedad de residuos orgánicos y el producto obtenido (compost) es adecuado como enmienda para suelos. En los procesos de compostaje se utilizan diversos tipos de materias primas, especialmente de origen lignocelulósico. Las formulaciones del proceso de compostaje junto con las condiciones de operación del proceso facilitan una biodegradación controlada al generar reacciones de biooxidación mediadas por consorcios microbianos que garantizan la calidad del producto.

El compostaje es un proceso de fermentación en estado sólido aeróbico controlado para la transformación de mezclas de materiales orgánicos por acción de consorcios microbianos, especialmente grupos de bacterias termófilas y mesófilas, hongos y levaduras en las fases mesófilas del proceso. El proceso de compostaje busca fundamentalmente estabilizar el carbono o materia orgánica al tiempo que elimina el material orgánico de microorganismos patógenos. De este modo, la degradación del carbono disponible o inestable presente en los materiales orgánicos ocurre en cuatro etapas o fases de la fermentación en estado sólido, bien definidas. Las cuatro etapas que enmarcan el proceso se definen por el perfil de temperatura. La primera etapa, es mesófila y puede considerarse como la etapa de adaptación de la fermentación en la que muchos grupos microbianos inician el proceso de degradación de los compuestos más simples del material. Esta etapa se da en un intervalo de temperatura entre temperatura ambiente y 40 °C y un pH ácido, generalmente entre 5 y 6. Asimismo, como resultado de la degradación de los compuestos más simples se produce bióxido de carbono, agua y calor metabólico que se acumula y no puede evacuarse a la misma velocidad que se genera. Lo anterior da paso a la segunda etapa del proceso, la fase termófila, la cual alcanza temperaturas entre 45 °C y 80 °C y, un pH alcalino hasta 9.0 o 9.5. En esta etapa se degradan los compuestos simples que hayan quedado y otras moléculas más grandes; por ejemplo, oligosacáridos, polisacáridos como hemicelulosas,

almidones, etc., y proteínas, lípidos y otros que hacen parte del llamado carbono disponible o inestable. La tercera etapa del proceso, etapa de enfriamiento, en donde ocurren relevos de consorcios microbianos y se inicia la conformación de grandes estructuras orgánicas a través de reacciones de condensación. Luego continua la etapa de maduración en la que

5 ocurre la fijación y solubilización de minerales y se inicia el proceso de humificación. Los precursores de estas sustancias húmicas, los ácidos húmicos, fúlvicos y huminas que se forman están estructurados con grupos hidrofílicos e hidrofóbicos cuyas interacciones con la parte mineral del suelo ocasionan la aglutinación de las arcillas para formar microagregados limosos que mejoran la aireación y la capacidad de retención de agua y

10 parte del carbono en la biomasa del suelo. Sin embargo, los microorganismos degradan los residuos a bajas velocidades lo que hace que el proceso pueda tomar desde semanas hasta meses de acuerdo con el tipo de residuos y la eficiencia en el control de parámetros fisicoquímicos y físicos como, la permeabilidad al aire, humedad, temperatura, la relación carbono nitrógeno, pH, tamaño de partícula y las dimensiones de la pila, entre otros. Estos

15 parámetros hacen parte de las condiciones de operación que se pueden tener en cuenta en el proceso de compostaje que corresponde a garantizar un proceso de fermentación en estado sólido, termófilo, aeróbico y alcalino.

Por lo anterior, existe la necesidad de tener procesos de fermentación controlados para la

20 obtención de bioinsumos agrícolas tipo compost libres de microorganismos patógenos, lo cual se alcanza con una adecuada selección de las condiciones de operación del proceso a fin de que se garantice la presencia y cantidad de las poblaciones microbianas para la degradación requerida de las mezclas de materiales orgánicos.

25 Se identifican en el estado de la técnica divulgaciones como KR101885254B1, CN102336508B y CN110963835A, los cuales se relacionan con procesos y sistemas de fermentación con mejoras tecnológicas.

KR101885254B1 divulga un aparato de fermentación aeróbica para desechos orgánicos, y

30 particularmente, un aparato de fermentación aeróbica para fermentar diversos desechos orgánicos tales como desechos de animales, lodos orgánicos, desechos de alimentos y similares por microorganismos aeróbicos para convertirlos en pilas de compostaje.

Particularmente, KR101885254B1 divulga un aparato de fermentación aeróbica para

35 residuos orgánicos capaz de eliminar eficazmente el vapor de agua y el gas oloroso generado en un proceso de compostaje y, en última instancia, proteger el medio ambiente alrededor de la instalación de tratamiento. Este documento divulga que el aparato de fermentación aumenta la movilidad de las moléculas de agua presentes dentro y fuera de las células de desechos orgánicos en un proceso de fermentación aeróbica, para aumentar así la

40 velocidad de fermentación y la eficiencia de secado.

Adicionalmente, KR101885254B1 divulga que, si en el proceso de fermentación se requiere una temperatura de 60 °C o más, la presente invención puede mantener la temperatura adecuada en el aparato de fermentación se reduce la pérdida de calor generada debido al vapor y gas generados por la presurización al usar un campo magnético.

5 Específicamente, este documento divulga que el aparato de fermentación incluye un electroimán instalado dentro de un tanque de reacción que forma un espacio de reacción en el que se encuentran los residuos orgánicos introducidos a través de un tubo de entrada del tanque de reacción. Por ejemplo, el electroimán puede estar dispuesto en un lado del espacio de reacción para formar un campo magnético intenso en el espacio de reacción.

10

Por otro lado, CN102336508B divulga un método para deshidratar y reciclar rápidamente lodos de depuradora municipal. Este documento divulga que para llevar a cabo el método se debe contar con la siguiente preparación, primero, se debe disponer de un tanque de arena de aireación, un tanque de sedimentación, una cámara de fermentación de premezcla, una cámara para fermentación remezclada y una cámara para fermentación compuesta que se conecta secuencialmente a la piscina de aguas residuales que está conectada a su vez con un tanque de aguas residuales y un tubo de digestión preelectromagnético que es una entrada para los desechos. Segundo, se debe preparar un sistema de recolección de calor solar y similares para su uso posterior; y tercero se debe preparar un material de descomposición previa que contenga una comunidad microbiana de fermentación aeróbica para su uso posterior.

15
20

Particularmente, CN102336508B divulga que luego de la preparación se realiza un tratamiento magnético e ionización de los desechos, para luego fermentar dicho desechos en la cámara de fermentación de pre mezcla para hacer que el contenido de agua de los desechos se reduzca rápidamente al 55 % - 60 %.

25

Finalmente, se hace una fermentación adicional en la cámara de remezclado en la cual se agrega la mezcla de desechos y el material de descomposición en un sistema de transporte de lodos de la cámara de fermentación remezclada para una fermentación mixta adicional para obtener un fertilizante de lodos descompuestos con un contenido de agua del 35 % - 40 %.

30

Específicamente, CN102336508B divulga que el tratamiento magnético se lleva a cabo al pasar los desechos por el tubo de digestión preelectromagnetico, el cual cuenta en una pared interna con un magnetizador de polo N, un magnetizador de polo S, un magnetizador de polo N y un concentrador de ondas electromagnéticas están dispuestos secuencialmente a intervalos. Además, el tubo de digestión cuenta con una pluralidad de fuentes de emisión de ondas electromagnéticas que pasan a través del tubo.

35
40

Finalmente, CN110963835A divulga un proceso de preparación de fertilizantes orgánicos fermentados tratados magnéticamente en tres etapas. Comprende un proceso de

fermentación, un proceso de envejecimiento por descomposición, un proceso de tratamiento con microondas, un proceso de tratamiento magnético y composición de materiales.

Particularmente, este documento divulga un proceso de fermentación: mezcla de desechos orgánicos y un agente de descomposición de material orgánico en una proporción de masa de 100: 0.3 - 0.7 para que sirva como sustrato de fermentación, se coloca la mezcla en un tanque de fermentación, con un dispositivo de calentamiento en el tanque de fermentación para iniciar la fermentación, cerrar el dispositivo de calentamiento cuando la temperatura del material supere los 40 °C, revolver el material todos los días, observar el cambio de temperatura del material de fermentación, revolver inmediatamente el material cuando la temperatura del material supere los 70 °C y enfriar el material, después de 20 - 30 días de proceso, el material a fermentar entra en una etapa de enfriamiento y el material se saca para servir como material de fermentación para su uso posterior cuando la temperatura más alta es inferior a 50 °C. Luego, este documento divulga un proceso de envejecimiento por descomposición que consiste en colocar el material fermentado en un tanque de envejecimiento, apilarlo y cubrirlo con una tela plástica para iniciar una etapa de maduración y así obtener un primer envejecimiento. Posteriormente, este material envejecido se carga en otro tanque de envejecimiento y se apila y se cubre con tela plástica, para realizar una posmaduración y obtener un segundo envejecimiento durante una semana. Finalmente, en una semana adicional se realiza un posenvejecimiento para obtener un material envejecido como producto final para uso agrícola.

Adicionalmente, CN110963835A divulga un proceso de tratamiento por microondas que consiste en introducir el material envejecido obtenido en la etapa (2) en un equipo de secado por microondas, en el que el tiempo de tratamiento por microondas es mayor de 4 s. Después, se realiza un proceso de tratamiento magnético que consiste en transportar el material tratado con microondas a un área de magnetización, donde la intensidad del campo magnético del área de magnetización es 2000 - 3500 G, la distancia entre el material y el campo magnético es 2 - 10 cm, y la exposición del material de microondas en el área de magnetización es de 2 h para obtener el material magnetizado. Finalmente, este documento divulga que se realiza una combinación de los materiales tratados magnéticamente en un fertilizante orgánico biológico o un fertilizante microbiano compuesto.

Sin embargo, el estado de la técnica no divulga un proceso ni un sistema que permita incrementar las poblaciones microbianas para aumentar la velocidad de transformación, disminuir los tiempos de fermentación y obtener una calidad mayor del producto final generado después de dicha fermentación.

Breve descripción de la divulgación

La presente divulgación se refiere a un proceso de fermentación en estado sólido aeróbico, termófilo y alcalino controlado y, asistido por magnetismo, para la transformación de mezclas de materiales orgánicos por acción de consorcios microbianos. Específicamente, la asistencia magnética disminuye los tiempos de fermentación y mejora la calidad del producto obtenido.

Particularmente, el proceso de la presente divulgación comprende: a) proveer formulaciones de compost que se forman con la mezcla de materiales orgánicos, formar un compost con dichas formulaciones y dejarlo en un recinto durante un tiempo de fermentación; b) exponer intermitentemente por un tiempo de exposición el compost a un gradiente magnético producido por una fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético; y c) medir en el compost unas propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas durante el tiempo de fermentación.

Particularmente, el tiempo de fermentación termina cuando se determina que las formulaciones de compost alcanzan una etapa de maduración, dicha etapa de maduración se determina cuando las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas medidas coinciden con unas propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas objetivo.

En otro aspecto de la divulgación, se hace referencia al uso de contenedores para llevar a cabo la etapa termófila de la fermentación aeróbica del compost con asistencia magnética en el mismo contenedor al utilizar láminas magnéticas debidamente configuradas.

Particularmente, las láminas magnéticas están configuradas para ser ubicadas de forma equidistante al interior de todo el material, dichas láminas magnéticas se conforman por una pluralidad de imanes, los cuales se agrupan de tal manera que cada uno tiene al lado un imán con polaridad contraria, para maximizar los gradientes magnéticos.

Breve descripción de las figuras

Las FIG. 1 muestra un diagrama de flujo de un proceso de fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos con asistencia magnética.

La FIG.2A muestra una modalidad de un dispositivo de fermentación aerobia de una mezcla de materiales orgánicos que comprende un contenedor con formulaciones de compost y una fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético antes de empezar la exposición de gradiente magnético. La FIG.2B muestra una modalidad de un dispositivo de fermentación aerobia de una mezcla de materiales orgánicos que comprende un contenedor con formulaciones de compost y una fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético una vez se inicia la exposición de gradiente magnético.

La FIG 3A muestra una modalidad de un dispositivo de fermentación aerobia de una mezcla de materiales orgánicos que comprende un contenedor y fuentes de generación de gradiente de densidad de flujo magnético enfrentadas de dos en dos, antes de empezar la exposición de gradiente magnético. La FIG 3B muestra una modalidad de un dispositivo de fermentación aerobia de una mezcla de materiales orgánicos que comprende un contenedor y fuentes de generación de gradiente de densidad de flujo magnético enfrentadas de dos en dos una vez se inicia la exposición de gradiente magnético.

La FIG. 4A muestra una modalidad de una fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético que es una lámina magnética que tiene imanes cuadrados. La FIG. 4B muestra una modalidad de una fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético que es una lámina magnética que tiene imanes toroidales. La FIG. 4C muestra una modalidad de una fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético que es una lámina magnética que tiene imanes rectangulares.

La FIG. 5 muestra una modalidad de un contenedor en forma de U que en el piso cuenta con unas tuberías que tienen unas aberturas. Estas tuberías presentan una disposición de flautas.

Descripción detallada de la invención

La presente divulgación se refiere a un proceso de fermentación en estado sólido aeróbico controlado y asistido con gradientes magnéticos de forma intermitente; para la transformación de mezclas de materiales orgánicos por acción de consorcios microbianos. Este proceso de fermentación es un proceso de compostaje que busca estabilizar el carbono o materia orgánica al tiempo que elimina microorganismos patógenos del material orgánico estabilizado. La exposición al gradiente magnético aumenta las poblaciones microbianas que intervienen en la degradación controlada de la materia orgánica que conforma el compost. El aumento de las poblaciones microbianas reduce el tiempo de fermentación y aumenta la calidad del producto final del proceso, bioinsumo agrícola tipo compost.

Haciendo referencia a la FIG. 1, en una modalidad de la divulgación, el proceso de fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos, asistido con magnetismo que comprende:

- a) proveer formulaciones de compost que se forman con la mezcla de materiales orgánicos, formar un compost con dichas formulaciones y dejarlo en un recinto durante un tiempo de fermentación;
- b) exponer intermitentemente por un tiempo de exposición el compost a un gradiente magnético producido por una fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético; y
- c) medir en el compost unas propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas durante el tiempo de fermentación.

Particularmente, el tiempo de fermentación termina cuando se determina que las formulaciones de compost alcanza una etapa de maduración que a su vez se determina cuando las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas medidas coinciden con unas propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas objetivo. En un ejemplo particular, se determina que el compost es maduro cuando se detecta por una disminución de la temperatura del compost por debajo de una temperatura predeterminada, que puede ser 39 °C, esta temperatura predeterminada indica ausencia de actividad metabólica por agotamiento de nutrientes o de la materia orgánica inestable. También, se puede determinar que el compost es maduro cuando el pH disminuye hasta 7.0 - 7.8 aproximadamente, la relación carbono nitrógeno del compost es menor a 14 y cuando el color del material se torna marrón oscuro y adquiere un olor a suelo fresco. Así, estas características y otras conocidas por una persona medianamente versada en la materia son indicadoras de un compost maduro.

Se debe entender como “*tiempo de fermentación*” el tiempo total en el cual transcurre del proceso de fermentación desde que se proveen las formulaciones de compost hasta que se obtiene el producto final, es decir se determina la etapa de maduración.

Proveer formulaciones de compost

El proceso inicia con la selección de los residuos que son utilizados para las formulaciones de compost, las cuales se componen de mezclas de materiales orgánicos putrescibles, dichas formulaciones de compost forman unos compost que se pueden ubicar en un contenedor o ser organizados en pilas con dimensiones predeterminadas. En una modalidad de la invención, la formulación de compost se realiza de una mezcla de materiales orgánicos que se puede seleccionar del grupo conformado por residuos hortofrutícolas, leguminosas, oleaginosas, residuos de caña, café, cacao y madera, cascarillas de cereales, cascarillas y otros residuos de café, de cacao, tortas de oleaginosas, bagazos de caña, pastos, podas, semillas y cáscaras de frutas, capacho de coco y aserrín de madera, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales de industrias de alimentos o agroindustriales, bovinaza, equinaza, gallinazas, pollinazas, porcinazas, alimentos crudos, alimentos procesados y combinaciones de lo anteriores.

Con las formulaciones de compost se forma un compost que se puede ubicar en el recinto de diferentes formas específicas, dichas formas específicas se pueden seleccionar del grupo conformado por pilas, mesetas y zanjas. En una modalidad preferida de la invención, una vez se formula el compost, se procede a armar el compost en forma de pila de dimensiones de ancho entre 1.8 m y 3.0 m y altura de la pila entre 2.0 m a 3.0 m o mayores, pero se deben conservar las proporciones. Por otro lado la profundidad de la pila no tendrá influencia en el proceso. La humedad inicial del compost debe estar entre 60 % y 75 %.

La relación carbono nitrógeno inicial de las formulaciones de compost debe ser de 25 - 35, con una tolerancia máxima de 40.

Proceso de fermentación en estado sólido, compostaje;

5

Luego el compost se dispone en unos recintos con ambientes controlados dispuestos para realizar la fermentación. En una modalidad de la invención y cómo se mencionó anteriormente, el compost tienen forma de pilas y se ubican en los recintos con ambientes controlados. En este momento inicia el proceso de fermentación denominado compostaje, el cual es un proceso de fermentación en estado sólido aeróbico, termófilo y alcalino. El proceso de compostaje se divide en cuatro etapas definidas por los perfiles de temperatura. La etapa inicial o mesófila, que normalmente se inicia a temperatura ambiente hasta que el material alcanza aproximadamente 40°C. En esta etapa, los microorganismos mesófilos inician con el consumo de muchas sustancias solubles y de fácil degradación como azúcares simples, aminoácidos, ácidos grasos de cadena corta, entre otros. Asimismo, las reacciones de degradación que se presentan son esencialmente reacciones de oxidación con producción de calor metabólico, el cual se acumula en la masa de compost, debido a la baja conductividad térmica de los materiales lignocelulósicos que lo componen y da paso a la fase termófila. De este modo, el calor generado por la actividad metabólica de los consorcios microbianos es superior al calor que se disipa y da como resultado su acumulación.

En la etapa termófila se alcanzan temperaturas hasta de 80 °C y durante esta etapa ocurren la mayoría de las reacciones de biooxidación en las que se degradan las moléculas más complejas como varias de las proteínas, ácidos grasos y polisacáridos como la hemicelulosa y los almidones presentes en las mezclas de materiales orgánicos que componen el compost.

De este modo, durante la etapa termófila se da la máxima degradación de la materia orgánica y se destruyen los microorganismos patógenos siempre y cuando la temperatura del compost se mantenga en 65 °C por lo menos durante cuatro semanas. De igual forma, la temperatura y el pH son dos variables muy importantes en el proceso de compostaje, ya que ellos son indicadores del progreso de la degradación de la materia orgánica. En la etapa termófila, las poblaciones microbianas predominantes son las Actinobacterias. Una vez que el carbono inestable o disponible empieza a agotarse, inicia la etapa de enfriamiento, la cual se detecta con un descenso sostenido y lento de la temperatura del compost, es decir la temperatura no baja de forma abrupta.

Así, cuando la temperatura del compost desciende por debajo de 59 °C se considera que ha iniciado la etapa de enfriamiento del proceso de fermentación hasta que la temperatura de la masa de compost desciende hasta 39 °C y un pH cercano a la neutralidad.

Por último, se inicia la etapa de maduración, en la cual el producto final que se obtiene es una materia orgánica estabilizada en la que las poblaciones microbianas son bastante estables y se inicia el proceso de humificación con la formación de compuestos precursores de las sustancias húmicas. El compost alcanza la temperatura ambiente y pH cercano a la neutralidad, entre 7.0 y 7.8 con propiedades físicas particulares, como el color marrón oscuro del material, olor a suelo fresco provisto por Actinobacterias mesófilas y otras propiedades como buena capacidad de retención de agua, permeabilidad al aire y capacidad de compactación. Al finalizar esta etapa se obtiene el producto del proceso de fermentación en estado sólido aeróbico denominado bioinsumo agrícola tipo compost. Al producto final se le determinan las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas que caracterizan a este tipo de productos. Así, el tiempo de fermentación termina en la fase de maduración.

En una modalidad de la divulgación, en el proceso de la presente divulgación se pueden agregar aditivos (v.gr. inoculantes microbianos) en alguna de las etapas del proceso de compostaje. Lo anterior se hace para propósitos específicos en términos de uso final del producto. Por ejemplo, se pueden adicionar bacterias fijadoras de nitrógeno, microorganismos solubilizadores de fósforo y potasio, especialmente desde la finalización de la etapa termófila e inicios de la etapa de enfriamiento.

Exposición a gradiente magnético

En la presente divulgación, al compost formado que pueden estar en forma de pilas de compost, se expone a gradientes magnéticos de forma intermitente durante el proceso de fermentación. La exposición intermitente de gradientes magnéticos activa el crecimiento microbiano, lo que produce el incremento de las poblaciones microbianas y aumenta la velocidad de transformación del material, lo que disminuye los tiempos de fermentación y se obtiene mayor calidad del producto final.

Existen tres factores importantes que se tienen en cuenta en el proceso de la presente divulgación: el número de exposiciones al gradiente magnético, el tiempo de exposición en el que se aplica dicho gradiente magnético y el valor del gradiente magnético que se genera.

En una modalidad de la divulgación, la exposición de gradiente magnético ocurre en al menos dos ocasiones durante el tiempo de fermentación. En otra modalidad de la invención, la exposición ocurre un número determinado por semana, por ejemplo, entre una y diez veces por semana.

Por otro lado, en cada ocasión el tiempo de exposición puede variar de 1 min a 30 días, es evidente que el tiempo de exposición depende del número de exposiciones que se van a utilizar. Por ejemplo, se pueden realizar exposiciones cortas a las pilas de compost, de uno o varios minutos, de forma continua en varios días por semana o se pueden realizar

exposiciones continuas de 20 o 30 días durante una o dos veces en todo el período de la fermentación. En una modalidad de la divulgación, el tiempo de exposición de la etapa b) se selecciona entre 5 min y 240 min por semana.

- 5 Del mismo modo, pueden existir diferentes tiempos de exposición durante el tiempo de fermentación, por ejemplo, un primer tiempo de exposición que puede ser de 5 min / semana que dure un número de semanas determinadas, por ejemplo, tres semanas, y luego por las siguientes dos semanas se emplean un segundo tiempo de exposición que puede ser de 10 min /semana. Los tiempos de exposición magnética a las formulaciones de compost
- 10 pueden variar de una fermentación a otra, ya que este proceso corresponde a un proceso discontinuo o *batch*. No obstante, el tiempo de exposición para un mismo proceso de compostaje se puede fijar desde el inicio del proceso a fin de identificar los beneficios de la exposición magnética sobre la activación de las poblaciones microbianas.
- 15 Con respecto al gradiente magnético producido, es evidente, que también depende del número de exposición y el tiempo de exposición. Lo anterior, debido a que en modalidades donde los tiempos de exposición sean largos (v.gr. 30 días) y el número de exposiciones pequeño (v.gr. dos veces en el tiempo de fermentación), el gradiente magnético será menor, en comparación del tratamiento con tiempos de exposición cortos (1 min) y un mayor
- 20 número de exposiciones (cada dos días). En una modalidad de la invención, el gradiente magnético producido junto a la fuente magnética está entre 0.1 $\mu\text{T} / \text{mm}$ hasta 70 mT / mm. Por otro lado, el valor del gradiente magnético depende de las características de la fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético y se determina junto a la fuente magnética, por lo que, el gradiente magnético producido en la etapa c) se puede seleccionar
- 25 entre 0.1 $\mu\text{T} / \text{mm}$ hasta 1000 mT / mm.

Cómo se describió en detalle anteriormente, el compostaje es una fermentación aeróbica, termófila y alcalina en las que se definen cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración. En un ejemplo particular, la etapa b) o de exposición ocurre desde la fase

30 termófila en adelante. La exposición de las pilas de compost a gradiente magnético se realiza a partir de la fase termófila de la fermentación, debido a que, durante la primera etapa del proceso, se requiere mezclar los materiales que componen el compost, con el fin de integrar los materiales y adicionar agua para ajustar la humedad de la mezcla del compost entre 65 % y 75 %, por lo que se hace muy dispendioso y poco eficiente la

35 exposición magnética de las pilas desde el armado de las mismas.

Medición de las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas como seguimiento al proceso de compostaje y al producto terminado

- 40 El proceso de fermentación requiere de seguimiento de varias propiedades fisicoquímicas del material que está en transformación a fin de verificar el progreso de cada una de las etapas que se dan en el proceso. De esta forma, las propiedades de mayor relevancia a

determinar para hacer seguimiento del proceso son la temperatura, el pH, el contenido de oxígeno en varios puntos del compost, el contenido de cenizas, el contenido de nitrógeno, el contenido de humedad a una muestra que se toma de varios puntos de la formulación por lo menos dos o tres veces por semana. Asimismo, durante los volteos que se realizan al compost o el movimiento del material en caso de tener el proceso con aireación forzada, se realiza un seguimiento al color y olor del compost. Lo anterior ya que al inicio la coloración del compost es muy heterogénea y a medida que se da el progreso de la fermentación, el compost se va tornando de color café con zonas grisáceas y marrón hasta marrón oscuro y homogéneo. Mientras que el olor del compost es a amoníaco desde una etapa muy temprana del proceso hasta adquirir un olor a suelo fresco. Estos parámetros permiten identificar las etapas del proceso e identificar posibles problemas que se puedan presentar y así intervenir la fermentación para sus correctivos. Finalmente, al producto terminado se le realizan análisis de propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas que permitan definir la calidad del producto final y que pueden ser bioinsumos agrícolas tipo compost.

Las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas que se determinan en la etapa c), son las que particularmente, se requieren y relacionan con el producto terminado obtenido del proceso, bioinsumos agrícola tipo compost. Estas propiedades se seleccionan del grupo conformado por humedad, relación carbono/nitrógeno, pH, cenizas, carbono oxidable total, contenido de nitrógeno orgánico total, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico oxidable total, retención de humedad, fósforo total, potasio total, magnesio total, azufre total, hierro total, manganeso total, sodio total, cobre total, zinc total, boro total, sílice total, cantidad de residuo soluble en ácido total, cantidad de metales pesados y combinación de los anteriores. En un ejemplo particular, las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas objetivo o de mayor relevancia son humedad menor a 35 %, relación carbono/nitrógeno menor a 14, pH entre 7 y 8, cenizas mayores a 30%, carbono oxidable total entre 15 % y 20 % y, cumplir con las demás características de un bioinsumo agrícola según norma técnica colombiana (NTC5167) u otra norma que sea requerida en particular para un tipo de cultivo o suelo a restaurar.

Por otro lado, adicionalmente a las propiedades ya mencionadas que deben ser medidas al producto terminado, se debe realizar prueba microbiológica de calidad al bioinsumo agrícola obtenido. En una modalidad de la invención, la prueba microbiológica corresponde al contenido de Coliformes totales menor a 1000 y ausencia de Salmonella.

Las mediciones de las anteriores propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas u otras que se pueden medir o de los microorganismos presentes en las formulaciones de compost, se pueden llevar por cualquier elemento o conocido por una persona medianamente versada en la materia, como lo puede ser por sensores (v.gr. sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores de pH, entre otros), y de otras variables, se deben tomar muestras de compost en fermentación para análisis de laboratorio. Por ejemplo, se pueden realizar

análisis de laboratorio como la técnica de diluciones seriadas, para conocer el número de unidades formadoras de colonia de alguno de los microorganismos viables en las muestras de compost en proceso o terminado. En un ejemplo particular, se pueden determinar las poblaciones de Actinobacterias, debido a la relevancia que este grupo de microorganismos tiene en la estabilización de la materia orgánica y que a través de todas las etapas del proceso de compostaje se presentan y proveen atributos diferenciados benéficos para el suelo.

Por otro lado, en una modalidad de la divulgación, después de cada exposición de gradiente magnético a las formulaciones de compost en la etapa b), se realiza una etapa adicional de volteo a las formulaciones de compost para homogenizar y airear la mezcla. Opcionalmente, en el proceso de fermentación en estado sólido aeróbico, termófilo y alcalino para la etapa de volteo, se puede incluir instrumentos o equipos adicionales para realizar los volteos del compost o el movimiento del material desde y hacia los recintos. Es así como pueden utilizarse minicargadores, instalación de tornillos sinfín en los recintos del compost hasta volteadoras de las pilas cuando se manejan grandes cantidades de material.

En otra modalidad de la divulgación, después de cada exposición de gradiente magnético a las formulaciones de compost en la etapa b), se realiza una etapa adicional de inyección forzada de aire al volumen de compost con fines de evitar la formación de la sección anaeróbica que se forma en las pilas de compost tradicional en la parte más interna de la pila. Cuando se inyecta aire forzado a las pilas de compost en contenedores o no, el proceso mejora, debido a que se consigue que todo el volumen de la pila esté en condiciones aeróbicas, lo que disminuye el tiempo de transformación del material que compone el compost. Sin embargo, cuando se inyecta aire forzado a las pilas de compost se requiere relacionar la temperatura de la pila con la concentración de oxígeno, esto es la temperatura de la pila debe alcanzar niveles de 70 °C a 80 °C y mínimo 15 % de saturación de oxígeno.

El proceso de la presente divulgación requiere de un espacio adecuado para llevar a cabo el proceso de compostaje, que fue explicado anteriormente. Ahora bien, la presente divulgación se refiere también a un dispositivo diseñado para llevar a cabo un proceso de fermentación aeróbica y termófila por medio de la utilización de mezclas de materiales orgánicos.

Haciendo referencia a la FIG.2, el dispositivo de la presente divulgación comprende un contenedor (1) configurado para albergar las formulaciones de compost (2) provistas en la etapa a), y una fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético (3) que se dispone en el contenedor (1).

El contenedor (1) puede ser un recinto cerrado o puede ser un recinto abierto o semiabierto en función de la necesidad. Los contenedores (1) abiertos son los más utilizados por su sencillez y viabilidad técnica y económica, los cuales consisten en colocar las

formulaciones de compost (2) normalmente en formas de pila al aire libre bajo techo o solo protegido de factores meteorológicos bajo techo (semiabiertos). Por otro lado, los contenedores (1) cerrados permiten un mayor control de las condiciones del proceso y de las emisiones.

5

El contenedor (1) se puede formar con dos paredes o paneles o compuertas o de varias paredes, que juntas forman un recinto. Las paredes que pueden formar el contenedor (1), pueden ser dos paredes paralelas, tres paredes en forma de U, tres paredes y un piso o pueden tener un corte de sección transversal en forma de trapecio, rectángulo o cuadrado.

10 En un ejemplo particular, el compost (2) se arma en forma de pila entre paredes o paneles de concreto o de otro material para dar contención y forma al material y garantizar las dimensiones de ancho y altura de mínimas 1.8 m con una profundidad determinada por la cantidad de materiales que componen el compost.

15 Opcionalmente, los contenedores (1) pueden estar contruidos con dos o tres paredes y un piso, en donde dichas paredes forman un recinto que permite albergar las formulaciones de compost (3). En un ejemplo particular, el contenedor (1) se forma de dos paredes laterales, una pared de fondo que une las dos paredes laterales y un piso, con lo cual el contenedor (1) tiene forma de U. En otro ejemplo particular, el contenedor (1) es un recinto abierto
20 techado que confina el compost (2) que tienen forma de pila, en este caso las paredes tienen dimensiones definidas para garantizar el tamaño de la pila. Lo anterior permite la acumulación del calor metabólico en el interior del volumen de las pilas de compost.

En una modalidad de la invención, las paredes y el piso del contenedor (1) pueden ser de
25 concreto o conformarse con otro material similar. En un ejemplo particular, el contenedor (1) cuenta con piso de concreto y una cubierta o techo con altura superior a 4 m o 5 m, con el fin de controlar la humedad del compost en proceso.

Haciendo referencia a la FIGS. 2 y 5, el contenedor (1) puede contar con unas tuberías (10)
30 que tienen unas aberturas (6), lo que le confiere una estructura tipo flauta. Dichas flautas se disponen en el piso del contenedor (1), estas flautas permiten la inyección de fluido gaseoso forzado por la parte inferior de la masa de compost. Preferiblemente, las flautas están configuradas para conectarse con un dispositivo de inyección fluido gaseoso forzado (no mostrado), dicho dispositivo de fluido gaseoso está configurado para vencer la presión que
35 genera la columna del material que compone el compost.

Haciendo referencia a la FIG. 5, en una modalidad de divulgación, el contenedor (1) se forma de tres paredes y un piso (7) y dos paredes laterales (8) y una pared al fondo (9), con lo cual el contenedor (1) tiene forma de U. En este caso, en el piso (7) se ubican unas
40 flautas que se conectan a su vez con un dispositivo de inyección de fluido gaseoso (no mostrado).

Cuando se dispone del sistema de compostaje con aireación forzada, se requiere medir especialmente la concentración de oxígeno, la temperatura y el contenido de humedad en el compost confinado en el contenedor (1). Del mismo modo, es necesario relacionar estas tres variables, debido a que el exceso de agua en el material interrumpe el paso del aire a través de la columna de compost (2), el exceso de aire enfría del volumen de compost y modifica el régimen del proceso. Un bajo contenido de humedad en el compost (2) disminuye la actividad metabólica de las poblaciones microbianas que realizan la transformación de la materia orgánica.

Cómo se mencionó anteriormente, la fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético (3) es la encargada de generar el gradiente magnético para la etapa b) o de exposición, la fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético puede ser fuentes pasivas (v.gr., imanes permanentes) o fuentes activas (v.gr., electroimanes, bobinas, bobinas de Helmholtz conectadas de tal manera que operen como fuentes de gradiente magnético, entre otros). Para el entendimiento de la presente divulgación las fuentes pasivas son aquellas que no requieren circulación de corriente eléctrica para la generación campos magnéticos. Por su lado, las fuentes de generación activas son aquellas que requieren de corriente eléctrica para la generación de campos magnéticos. El control de las fuentes de gradiente magnético con fuentes pasivas se realiza con el control del tiempo de exposición y de la cercanía de las láminas enfrentadas según las necesidades identificadas del proceso de fermentación. El control de las fuentes de gradiente magnético con fuentes activas se realiza con el control del tiempo de exposición y de la corriente eléctrica con la que se alimenten las fuentes según las necesidades identificadas del proceso de fermentación.

En un ejemplo particular, la fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético (3) es una fuente pasiva compuesta por al menos dos imanes, el usar fuentes pasivas en específico imanes tiene el efecto de activar los organismos vivos, en el caso particular del proceso de compostaje se activan las poblaciones microbianas que transforman y estabilizan la materia orgánica, lo que permite la disminución de los tiempos del proceso de fermentación e incrementan la calidad del producto final obtenido. Las fuentes pasivas tienen menor costo de implementación y de operación que las fuentes activas al no requerir fuente de alimentación de corriente y no generar costos en el consumo de electricidad.

La fuente pasiva se puede seleccionar del grupo conformado por imanes con diferentes formas geométricas, imanes naturales, imanes artificiales, imanes temporales, imanes permanentes, imanes de cerámica o ferrita, imanes de alnico, imán de samario y cobalto, imanes de neodimio tales como N40, N42, N45, 35H, N35, N50, N28EH , N30EH, N33EH, N35EH, N28UH, N30UH, N33UH, N35UH, N38UH, N40UH, N30H, N33H, N35H, N40H, N42H, N45H, N48H, N30M, N33M, N35M, N40M, N45M, N48M, N50M,

N30SH, N33SH, N35SH, N38SH, N40SH, N42SH, N45SH , N35, N38, N40, N42, N45, N48, N50 y N52.

5 Por otro lado, se pueden tener una pluralidad de imanes como fuente de generación de
gradiente de densidad de flujo magnético (3) con los cuales se pueden tener gradientes
magnéticos mayores. En una modalidad de la divulgación y para hacer referencia a la
FIG.2, la fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético (3) se puede
conformar de una lámina magnética que se configura para disponerse el compost (2) que
pueden estar en forma de pilas, dicha lámina magnética se conforma de una pluralidad de
10 imanes, los cuales se agrupan de tal manera que cada uno tiene al lado un imán con una
polaridad contraria.

En otra modalidad de la divulgación, la fuente de generación de gradiente de densidad de
flujo magnético pueden ser varias láminas magnéticas que pueden aumentar el gradiente
15 magnético. Por ejemplo, el enfrentar al menos dos láminas magnéticas aumenta el valor del
gradiente magnético. Particularmente, en la modalidad cuando se usen dos láminas
magnéticas enfrentadas, estas se pueden encontrar separadas entre sí en una distancia de
separación que está en un intervalo entre 0.1 m y 3 m. En un ejemplo particular, las
láminas magnéticas enfrentadas se encuentran separadas entre sí en una distancia de
20 separación de un 1 m.

Para hecer referencia a la FIG. 3, en una modalidad de la divulgación, el dispositivo de
fermentación aerobia de una mezcla de materiales orgánicos que comprende un contenedor
(1) configurado para albergar el compost (2) que se forma con formulaciones de compost
25 de una mezcla de materiales orgánicos y unas fuentes de generación de gradiente de
densidad de flujo magnético (3) que son unas láminas magnéticas configuradas para
disponerse en el contenedor (1).

En este caso, las láminas magnéticas están configuradas para disponerse en al menos una
30 porción del compost (2) y de generar exposición magnética a dicho compost (2) entre estas,
que pueden estar en forma de pila. Dichas láminas magnéticas se conforman por una
pluralidad de imanes, los cuales se agrupan de tal manera que cada uno tiene al lado un
imán con polaridad contraria. La utilización de láminas magnéticas permite que a medidas
que el compost (2) sea más grande se pueden añadir más laminas magnéticas, con lo que se
35 puede aumentar el alcance de la exposición al gradiente magnético de toda la pila de
compost (2).

Por otro lado, los imanes en la lámina o láminas magnéticas pueden tener diferentes formas
geométricas por ejemplos los imanes pueden ser polígonos (v.gr. triángulo, cuadrilátero,
40 pentágono, hexágono, heptágono, octógono, eneágono, decágono, endecágono,
dodecágono, entre otros), de curvas cerradas (v.gr. círculos, elipses, entre otros), imanes
toroidales, y combinaciones de los anteriores.

Haciendo referencia a la FIG. 4A, en una modalidad de la divulgación, los imanes son cuadrados, y los imanes con polaridad norte (4) cuadrados se encuentran al lado de los imanes con polaridad sur (5) cuadrados.

5

La utilización de imanes cuadrados permite generar distribuciones de los gradientes magnéticos de manera propia, dado que cada geometría de los imanes configura una distribución de campo magnético específica que modifica la forma y el valor de los gradientes magnéticos generados.

10

Haciendo referencia a la FIG. 4B, en una modalidad de la divulgación, los imanes son toroidales, en donde los imanes toroidales con polaridad norte (4) se encuentran al lado de los imanes toroidales con polaridad sur (5).

15

La utilización de los imanes toroidales permite la generación de gradientes magnéticos más intensos en virtud de su configuración geométrica. En casos específicos permite alcanzar valores aproximados a cientos de militesla por milímetro.

20

Haciendo referencia a la FIG. 4C, en una modalidad de la divulgación, los imanes son rectangulares, en donde los imanes rectangulares con polaridad norte (4) se encuentran al lado de los imanes rectangulares con polaridad sur (5).

25

La utilización de los imanes rectangulares permite generar distribuciones de los gradientes magnéticos de manera propia, dado que cada geometría de los imanes configura una distribución de campo magnético específica que modifica la forma de los gradientes magnéticos generados.

30

En el caso de las láminas magnéticas, el gradiente magnético que producen depende del tipo de imanes que se use, como se mencionó anteriormente, y del tamaño de dichas láminas magnéticas. En una modalidad de la invención, el largo de las láminas magnéticas es de 0.2 m a 5 m, la altura es de 0.2 m a 5 m y el espesor 0.1 cm a 10 cm. En un ejemplo particular, el largo de las láminas magnéticas es de 0.5 m, la altura es de 0.5 m y el espesor 0.1 m.

35

En el caso de las fuentes activas, el gradiente magnético se podrá controlar al tener en cuenta unos factores, aunque el principal factor en la corriente eléctrica que circula por la fuente activa. Ahora bien, cuando la fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético es fuente activa que puede ser una bobina, existen algunos factores que se pueden controlar en las bobinas y que afectan el gradiente magnético. Dicho factores que afectan el gradiente magnético son: las espiras, la geometría de la bobina, el material de las bobinas, la geometría del conductor, el material de conductor, entre otros. También, por ejemplo, en bobinas de Helmholtz y variaciones de esta, se tienen en cuenta factores que

40

afectan el gradiente magnético como relaciones de diámetro de las bobinas, relaciones de espiras entre las bobinas, entre otros.

5 Para el entendimiento de la presente invención se entenderá por bobina, a un elemento con al menos dos terminales que puede estar conformada por un conductor enrollado en torno a un núcleo sólido o de aire. El conductor forma varias espiras en torno al núcleo de aire o sólido y es capaz de generar un campo magnético cuando se hace circular una corriente eléctrica por dicho conductor. Dicho campo magnético se extiende a través del espacio que circunda la bobina y tiene una dirección predeterminada por la geometría de la bobina y la
10 dirección de la corriente que circula por la bobina. Por ejemplo, la bobina puede ser de forma circular, toroidal, elíptica, oblonga, triangular, cuadrada, rectangular, pentagonal, hexagonal, octagonal, o poligonal con más de tres lados.

En un caso específico de esta divulgación la fuente de gradiente magnético puede ser una
15 bobina de Helmholtz y para que una bobina de Helmholtz genere gradientes magnéticos cada una de las bobinas que componen la bobina de Helmholtz se conectan en serie, pero de tal manera que cada bobina genere un campo magnético con direcciones contrarias,

Adicionalmente, para el entendimiento de la presente invención se entenderá por espiras a
20 la cantidad de vueltas que da un conductor alrededor de un núcleo.

Por otro lado, el núcleo puede tener diferente composición ya sea aire o un material ferroso como por ejemplo acero al silicio para intensificar su capacidad magnética de la bobina. Por otro lado, una bobina se puede seleccionar del grupo conformado por bobinas de núcleo
25 de aire, bobinas de núcleo metálico, bobinas de aire toroidales, bobinas fijas, bobinas variables, bobinas de rogowski, bobinas equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinación de las anteriores.

Cuando las bobinas tienen un núcleo de aire, permite reducir los costos de manufactura
30 debido a que no requiere un núcleo magnético. Adicionalmente, dichas bobinas con núcleo de aire permiten que sean instaladas en un soporte con mayor facilidad en comparación con bobinas de núcleo magnético, debido a que tienen un peso menor, lo que permite que tengan mayor maniobrabilidad.

35 Por otro lado, cuando la bobina tiene un núcleo sólido, tiene un material que se selecciona entre: ferrita, hierro, polvo de hierro, núcleos de aleación de níquel, hierro y molibdeno, núcleos de aleación de hierro, silicio y aluminio, núcleos de aleación de hierro y silicio, núcleos fabricados con láminas o chapas, polvos de ferrita, núcleos formados por aglutinamiento de polvo de hierro con resinas entre otros núcleos conocidos por una
40 persona medianamente versada en la materia. Alternativamente, se utilizan distintas combinaciones de materiales para el núcleo con el objetivo de lograr cambios sobre la respuesta magnética del propio núcleo.

El hecho que las bobinas sean de núcleo metálico permite reducir la dispersión del campo magnético, lo que permite hacer más intenso el campo magnético, y a su vez, que esté presente un mayor gradiente.

5

Opcionalmente, la forma de construcción del núcleo de la bobina puede ser por medio de láminas del material, granulado compactado, pellets de diferentes formas geométricas en tres dimensiones como poliedros de caras planas (v.gr. piramidal, cúbica, prismática, entre otras) o formas geométricas con superficies curvas como (v.gr. cilíndrica, cónica, esférica, entre otras).

10

Por su parte, y como se indicó anteriormente, el conductor puede ser un alambre o un cable enrollado en un núcleo, y está definido por una longitud de conductor que corresponde al largo total, y a un calibre que corresponde al grosor total del conductor. Dicho conductor y el calibre del mismo es uno de los parámetros que define la corriente de alimentación máxima del arreglo de bobinas, además, el valor de la corriente de alimentación máxima define el valor de campo magnético máximo generado.

15

Dicho conductor se selecciona del grupo conformado por: hilos de cobre, hilos de aluminio, hilos esmaltados de cobre, materiales equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinación de las anteriores.

20

Cómo se mencionó anteriormente, las fuentes activas como las bobinas, necesitan una corriente eléctrica para generar el gradiente magnético, por lo anterior, la fuente activa se le conecta una fuente de alimentación, preferiblemente una fuente de alimentación regulable. Un efecto técnico de usar una fuente de alimentación regulable es que se permite controlar el gradiente magnético que genera la fuente activa, que pueden ser las bobinas.

25

La fuente de alimentación se puede seleccionar del grupo conformado por baterías, baterías no renovables, fuentes de corriente directa, fuentes de corriente alterna, fuente de energía eléctricas renovables (v.gr. fuente de energía solar, fuente de energía eólica, fuente de energía hidroeléctrica, biomasa, biogás, fuente de energía del mar, fuente de energía geotérmica fuente de energía termoeléctrica y piezoeléctricos) y combinaciones de las anteriores.

35

Para su regulación, la fuente de alimentación puede estar conectada a una unidad de cómputo que se encarga de controlar la corriente inducida a la fuente activa. La unidad de cómputo es un dispositivo que permite procesar los datos provenientes de algún elemento externo que puede ser por ejemplo, un dispositivo de entrada. La unidad de cómputo lleva a cabo acciones como lo puede ser la generación de una señal, la generación de un dato, el acceso a un dato almacenado, entre otras posibles acciones que pueda llevar a cabo. En este

40

caso, la unidad de cómputo, al ingreso de un dato proveniente de un usuario genera una señal de control que regula la corriente inducida en la(s) bobina(s).

La unidad de cómputo se puede seleccionar del grupo comprendido por:
5 microcontroladores (v.gr PSOC 4BLE), micro procesadores, DSCs (Digital Signal Controller, por sus siglas en inglés), FPGAs (Field Programmable Gate Array, por sus siglas en inglés), CPLDs (Complex Programmable Logic Device, por sus siglas en inglés), ASICs (Application Specific Integrated Circuit, por sus siglas en inglés), SoCs (System on Chip por sus siglas en inglés), PSoCs (Programmable System on Chip, por sus siglas en
10 inglés), computadores, servidores, tabletas, celulares, celulares inteligentes, generadores de señales y unidades de cómputo, unidades de procesamiento o módulos de procesamiento conocidas por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de estas
En un ejemplo particular la unidad de cómputo es un microcontrolador.

15 El dispositivo de fermentación aerobia de una mezcla de materiales orgánicos comprende un agitador que está configurado para voltear el compost. El agitador se puede conectar al contenedor o puede tener su propia estructura de soporte contigua al contenedor. El agitador puede ser manual o puede contar con un actuador, en donde dicho actuador se conecta con la unidad de cómputo, en este caso la unidad de cómputo envía una señal de
20 control al actuador para activarlo o para regular su velocidad de agitación. En una modalidad de la invención, el agitador pueden ser tornillos sinfín que se instalan en el contenedor (1) del compost (2), también se pueden usar volteadoras para las pilas de compost (2) cuando se manejan grandes cantidades de material.

25 EJEMPLO

Se realizó un proceso de fermentación aeróbica, termófila y alcalina de diversas mezclas de residuos agrícolas y agroindustriales seleccionados y formulados. Los materiales orgánicos utilizados fueron residuos de restaurantes y cafeterías, podas, cáscaras de plátano verde,
30 cascarilla de café y bovinaza de un establo. La formulación se realizó con relación Carbono/ Nitrógeno entre 25 y 40. Posteriormente, se armó el compost en forma de pilas de 2 m de ancho por 2 m de altura y 2 m de profundidad, cada una con 5000 kg de mezcla de los residuos ya descritos en un carril de una unidad de compostaje.

35 Para realizar este ejemplo se utilizó una unidad de compostaje constituida por carriles hechos en concreto con canales de recolección de lixiviados y un techo a 5 m de altura que permitió realizar el control de la humedad del material que compone las pilas de compost.

Las pilas de compost fueron sometidas a tratamiento con gradientes magnéticos por
40 intervalos de (15 y 120) min / semana desde la etapa termófila del proceso y se comparó con el proceso convencional de compostaje, de pila con volteos periódicos sin asistencia magnética.

Se tomaron muestras semanales del material en proceso de forma aleatoria de diferentes partes de la pila con posterior homogenización de las muestras para análisis fisicoquímicos y microbiológicos como seguimiento del proceso de fermentación (90 a 110 días) en los tratamientos con y sin asistencia magnética.

Las muestras de material de compost en proceso tomadas cada semana fueron analizadas por la técnica de diluciones seriadas, para conocer el número de microorganismos viables en la muestra. La viabilidad en microbiología se define como la capacidad del microorganismo para multiplicarse en un medio sólido formando una colonia. Para llevar a cabo este proceso fue necesario procurar que la viabilidad inicial no fuera afectada por el procedimiento experimental. Así, las Actinobacterias fueron mantenidas bajo las mismas condiciones ambientales en las que se desarrollaron en el proceso de fermentación, se incubaron a 35 °C y 55 °C. Posteriormente, se realizó una siembra en placa, para lo que se utilizó agar actinomices, medio selectivo que permite que este tipo de bacterias desarrolle mejor su metabolismo, y garantiza un mejor comportamiento de las colonias. Los resultados se expresaron en UFC/g de compost. De este modo, siempre que se realizó el análisis microbiológico de Actinomicetos mesófilos y termófilos en las diferentes etapas del proceso de compostaje, los resultados con asistencia magnética fueron superiores a los del tratamiento control. Por ejemplo, en la sexta semana del proceso con una asistencia magnética de (15 a 50) min se obtuvo un recuento de Actinomices a 35 °C de 760×10^7 UFC/g compost en comparación con la muestra del compost control que para el mismo tiempo se obtuvo 480×10^6 UFC / g compost. Asimismo, en la misma semana de referencia con la misma asistencia magnética a la pila de compost se obtuvo un recuento de Actinomices a 55 °C de 875×10^7 UFC / g compost en contraste con la muestra del compost control en la que se obtuvo 460×10^6 UFC / g compost

Se realizó seguimiento en el tiempo a las pilas de compost asistidas con y sin tratamientos magnéticos. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos a las muestras semanales durante todo el proceso: azúcares reductores, carbohidratos totales, determinación de los componentes de la fibra, pH, temperatura y contenido de humedad para determinar la etapa de maduración.

Evidenciar la diferencia de altura entre las pilas de los tratamientos magnéticos con el tratamiento control es importante, porque se demuestra que las pilas asistidas magnéticamente mostraron una velocidad de degradación mayor de la masa total respecto a la pila control.

Tabla 1. Parámetros generales del proceso de fermentación para los dos tratamientos con asistencia magnética y el control

Parámetros	Tratamiento con asistencia magnética (15-50) min por semana	Tratamiento sin asistencia magnética	Tratamiento con asistencia magnética (60-120) min por semana
Tiempos de fermentación (semanas)	14	20	16
Masa seca inicial (kg)	1209	1260	1232
Masa seca final (kg)	431	510	605
Temperatura máxima detectada (°C)	65-79	60 -72	60 -75
pH máximo de proceso	9.6	9.6	9.8

En la Tabla 1, se muestra los parámetros generales obtenidos del proceso de compostaje con los dos tratamientos con asistencia magnética y el tratamiento control, sin asistencia magnética. El proceso con asistencia magnética de (15-50) min por semana fue siempre menor que para el proceso con asistencia magnética con (60-120) min por semana y ambos tratamientos terminaron el proceso de transformación de la materia orgánica antes que el proceso control (sin asistencia magnética). En relación con el consumo de la materia orgánica durante el proceso de compostaje, el tratamiento de (15-50) min consumió el 63 % de la masa seca inicial, el tratamiento de (60-120) min consumió 51 % de la masa seca inicial y el tratamiento sin asistencia magnética consumió el 60 % de la masa seca inicial y lo que se espera en este proceso de fermentación es que se consuma por lo menos el 50 % de la masa seca inicial durante el tiempo de fermentación. En referencia a la temperatura máxima de proceso encontrada en la pila durante la etapa termófila fue para los tratamientos de (15-50) min con un intervalo de 65 °C a 79 °C durante cinco semanas en comparación con los tratamientos de (60-120) min con 60 °C – 75 °C por seis semanas y 60 °C – 72 °C para el tratamiento control por ocho semanas del proceso.

El seguimiento de las poblaciones microbianas a los procesos de compostaje con asistencia magnética en dos tiempos y el tratamiento sin asistencia magnética se realizó para las Actinobacterias mesófilas y termófilas. Para ello, se tomaron muestras de compost por semana de cada uno de los tratamientos de estudio y se llevaron al laboratorio para la determinación de los recuentos microbianos. Con las muestras del material de cada tratamiento se hicieron diluciones desde 10⁻¹ a 10⁻⁵ para sembrar en agar nutritivo y agar actinomices y realizar recuento de UFC/g de compost de la incubación de las cajas de Petri a 35 °C y 55 °C a fin de valorar el crecimiento de las poblaciones bacterianas mesófilas y termófilas en general y las Actinobacterias, luego de la incubación a las dos temperaturas. Como resultado se encontró que el mayor crecimiento microbiano, tanto el evaluado de las siembras en agar nutritivo como las sembradas en agar Actoinomices siempre fueron las poblaciones provenientes del compost del tratamiento con asistencia magnética de (15-50)

min por semana con valores de 985×10^7 UFC/g compost como recuento de bacterias termófilas inoculadas en agar nutritivo e incubadas a 55 °C en la semana 10 del proceso de fermentación y 750×10^7 UFC/g compost como recuento de bacterias mesófilas en el mismo tiempo del proceso y con la asistencia magnética de (15-50) min por semana. Los anteriores resultados muy superiores al recuento de bacterias termófilas y mesófilas obtenidas para el control con 490×10^6 UFC/g compost y 475×10^6 UFC/g compost respectivamente.

Con lo anterior, se concluyó que, con la exposición intermitente de gradiente magnético al compost, se obtiene una disminución en el tiempo de fermentación en comparación con las formulaciones de compost sin exposición intermitente de gradiente magnético. Adicionalmente, se demostró que para la composición de esta formulación de compost se obtuvo una mejora del tiempo de fermentación con intervalos de tiempos más pequeños, es decir se observó que el tiempo de fermentación fue menor con tiempos de exposición de las pilas de 15 min a 50 min por semana en comparación con los tiempos de fermentación para tiempos de exposición de las pilas de 60 min a 120 min por semana.

Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la invención, definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos asistido por magnetismo, que comprende:

- a) proveer formulaciones de compost que se forma con la mezcla de materiales orgánicos, formar un compost con dichas formulaciones y dejarlo en un recinto durante un tiempo de fermentación;
- b) exponer intermitentemente por un tiempo de exposición el compost en proceso a un gradiente magnético producido por la fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético; y
- c) medir en el compost unas propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas durante el tiempo de fermentación;

en donde, el tiempo de fermentación termina cuando se determina que la formulación de compost alcanza una etapa de maduración, dicha etapa de maduración se determina cuando las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas medidas coinciden con unas propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas objetivo.

2. El proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, en donde el tiempo de exposición de la etapa b) se selecciona entre 5 min y 240 min por semana.

3. El proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizada porque la fermentación es una fermentación aeróbica, termófila y alcalina en las que se definen cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración; en donde la etapa c) ocurre desde la fase termófila en adelante.

4. El proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, en donde en la etapa a) la formulación de compost se realiza de una mezcla de materiales orgánicos que se puede seleccionar del grupo conformado por hortofrutícolas, leguminosas, oleaginosas, residuos de caña, café, cacao y madera, cascarillas de cereales, cascarillas y otros residuos de café, de cacao, tortas de oleaginosas, bagazos de caña, pastos, podas, semillas y cáscaras de frutas, capacho de coco y aserrín de madera, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales de industrias de alimentos o agroindustriales, bovinaza, equinaza, gallinazas, pollinazas, alimentos crudos, alimentos procesados y combinaciones de lo anteriores.

5. El proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, en donde en la etapa c) las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas objetivo se seleccionan del grupo conformado por humedad, relación carbono/nitrógeno, pH, cenizas, carbón oxidable total, contenido de nitrógeno orgánico total, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico oxidable total, retención de humedad, fosforo total, potasio total, magnesio total, azufre total, hierro total, manganeso total, sodio total, cobre total, zinc total, boro total, sílice total, cantidad de residuo soluble en ácido total, cantidad de metales pesados y combinación de los anteriores.

6. El proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que después de cada exposición de gradiente magnético a las formulaciones de compost en la etapa b), se realiza una etapa adicional de volteo a las formulaciones de compost para homogenizar y airear la mezcla.

7. El proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, en donde el gradiente magnético producido en la etapa b) se selecciona entre $0.100 \mu\text{T} / \text{mm}$ hasta $1000 \text{mT} / \text{mm}$.

8. El proceso de acuerdo con la Reivindicación 1, en donde en la etapa b) la fuente de generación de gradiente de densidad de flujo magnético es por lo menos una lámina magnética, en donde la mezcla de materiales orgánicos provista en la etapa a) se dispone en torno a la(s) láminas magnéticas, dichas láminas magnéticas se conforman por una pluralidad de imanes, los cuales se agrupan de tal manera que cada uno tiene al lado un imán con polaridad contraria.

9. Un dispositivo de fermentación aerobia de una mezcla de materiales orgánicos que comprende un contenedor configurado para albergar formulaciones de compost que se forma con la mezcla de materiales orgánicos; y una lámina magnética configurada para disponerse en el contenedor,

en donde la lámina magnética está configurada para disponerse en las formulaciones de compost, dicha lámina magnética se conforma por una pluralidad de imanes, los cuales se agrupan de tal manera que cada uno tiene al lado un imán con polaridad contraria.

RESUMEN

La presente divulgación se refiere a un proceso y dispositivo proceso de fermentación en estado sólido aeróbico, termófilo y alcalino de mezclas de materiales orgánicos. El proceso es asistido con magnetismo lo que incrementa la eficiencia del proceso de fermentación en estado sólido aeróbico, termófilo y alcalino en particular, el proceso de compostaje. Lo anterior se logra gracias a la activación de los consorcios microbianos que permite el aumento de las poblaciones microbianas que intervienen en la degradación controlada de la materia orgánica inestable. Esta materia orgánica inestable se encuentra en los residuos agrícolas, agroindustriales, pecuarios y sólidos urbanos. Para aumentar las poblaciones microbianas en el compost en el proceso de la presente divulgación se expone de forma intermitente a gradientes de densidad de flujo magnético a fin de obtener el producto de la fermentación, bioinsumos agrícolas tipo compost más rápido y de mejor calidad.

15

FIGURAS

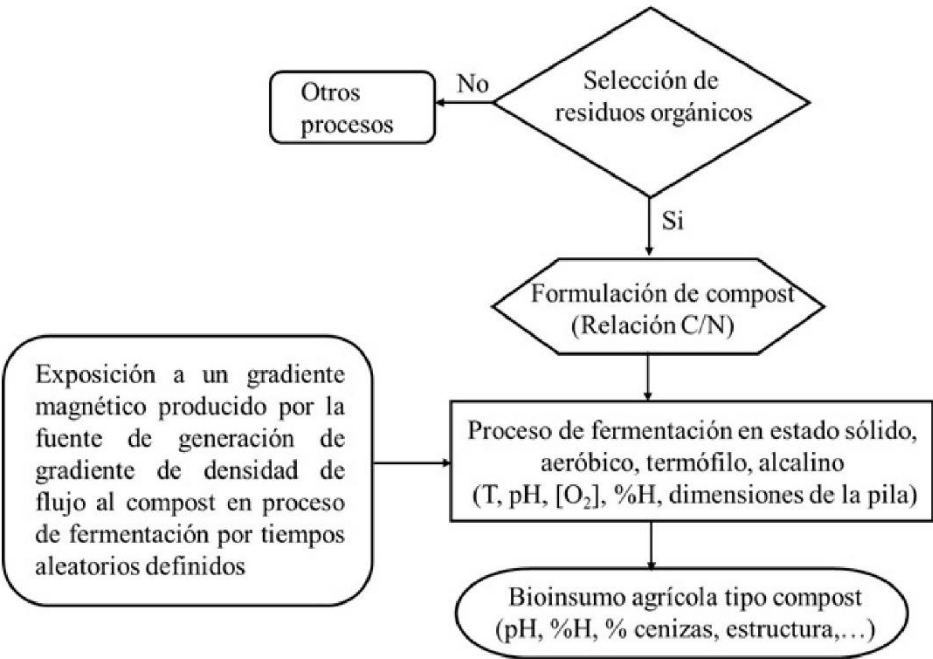


FIG. 1

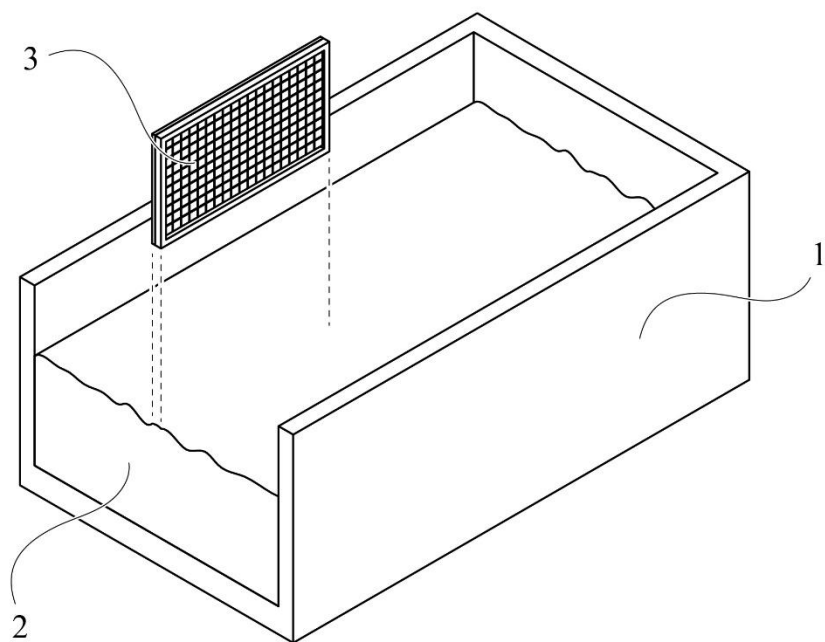


FIG. 2A

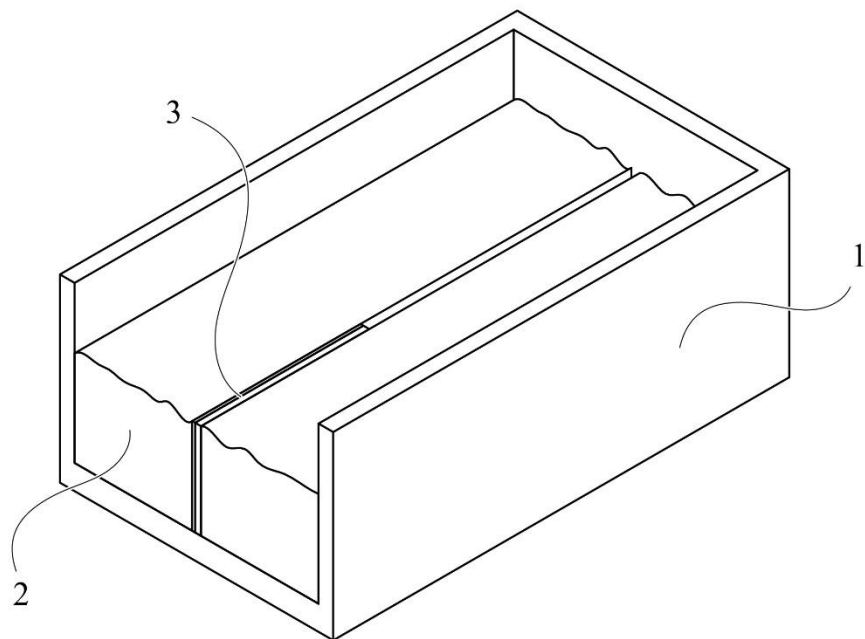


FIG. 2B

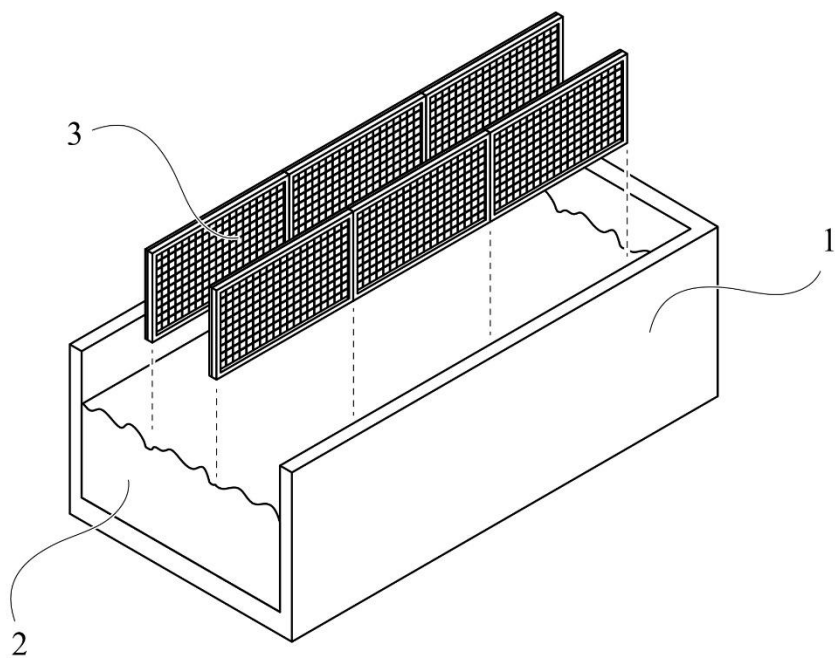


FIG. 3A

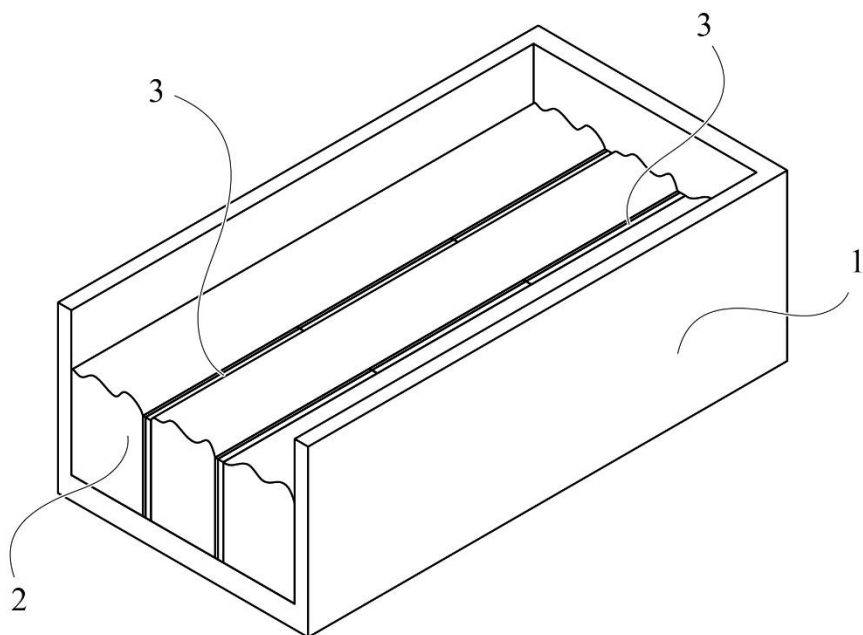


FIG. 3B

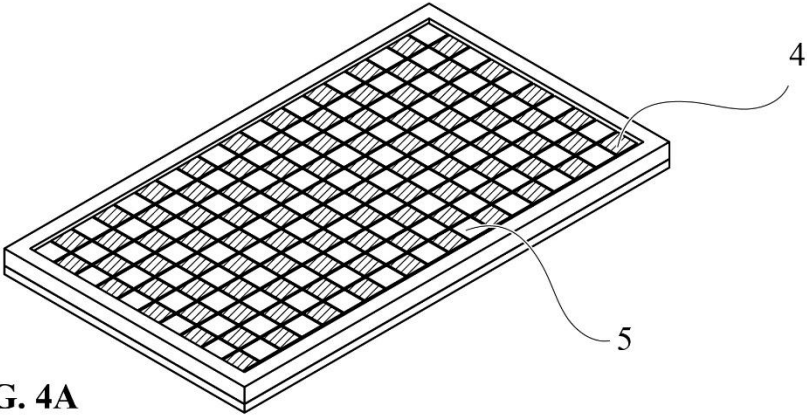


FIG. 4A

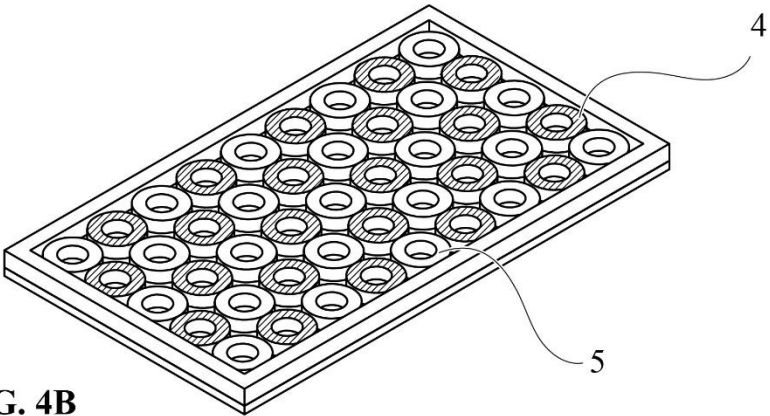


FIG. 4B

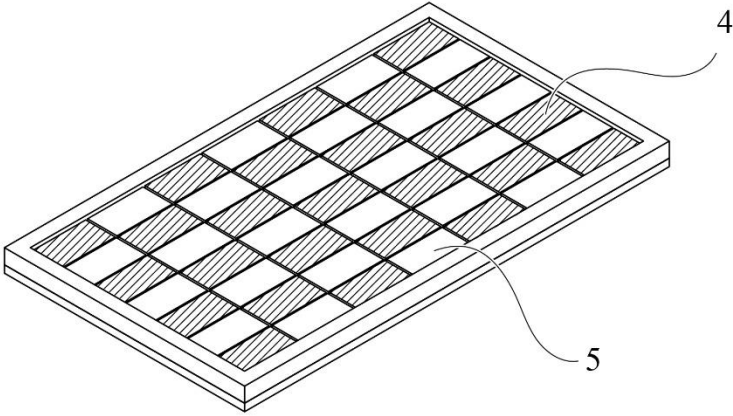


FIG. 4C

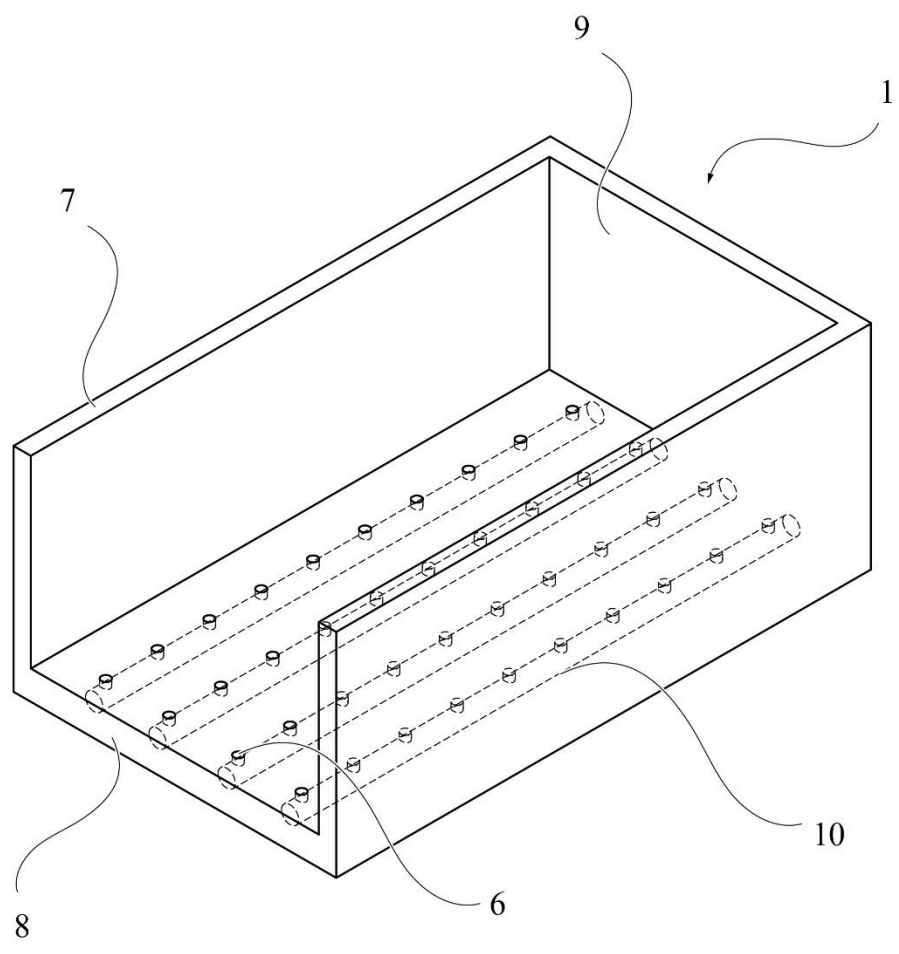


FIG. 5