

HUMEDAL ARTIFICIAL TIPO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL CON MECANISMO DE RETROLAVADO EN ESPINA DE PESCADO PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE VERTEDEROS

5

CAMPO DE LA INVENCION

El campo de la invención se relaciona con el tratamiento de efluentes de residuos ordinarios de vertederos y, más específicamente, los lixiviados generados en el proceso de degradación de los residuos. Particularmente, la presente divulgación se refiere al tratamiento de los
10 lixiviados de vertederos por medio de tratamiento biológico por medio de plantas.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En los últimos años, un número creciente de comunidades ha pasado del tradicional vertedero
15 comunitario abierto para la eliminación de basura al llamado sistema de “relleno sanitario”. Aunque la mayoría de leyes ambientales requieren una zona de amortiguamiento entre los desechos y el nivel freático alto, la experiencia ha demostrado que los rellenos sanitarios normalmente producen un desecho o lixiviado fluido muy contaminante, pero este lixiviado tiene una propensión a viajar distancias considerables desde su punto de origen. Esto ha
20 creado un problema de contaminación considerable que no puede eliminarse aumentando el grado de separación entre los desechos y el nivel freático alto.

Se ha propuesto utilizar revestimientos impermeables para atrapar y tratar los lixiviados y tratar los lixiviados como sistemas convencionales. Dado que los lixiviados son mucho más
25 tóxicos que las aguas residuales sin tratar convencionales, muchas comunidades se resisten a agregar los lixiviados a la planta local de tratamiento de aguas residuales. Esta toxicidad se debe, en parte, a la presencia de la alta demanda química de oxígeno y la presencia de metales pesados. También se debe a la alta demanda bioquímica de oxígeno que es un valor obtenido de una prueba de cinco días de una manera bien conocida en la técnica y que se expresa como
30 "DBO5 mg/L" (miligramos por litro). La DBO5 de las aguas residuales sin tratar es de aproximadamente 300 mg/L, mientras que la de los lixiviados de desechos puede alcanzar

los 30 000 mg/l dado que, las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales no están diseñadas para tratar efluentes de tan alta toxicidad.

Además, los contaminantes de lixiviados a menudo incluyen materiales tales como bacterias patógenas, virus, pesticidas, lodos industriales y de aguas residuales, sedimentos, solventes, tales como el ácido acético y el ácido propiónico representan el mayor porcentaje de los metabolitos totales producidos. Debido a la fuerte naturaleza reductora de estos subproductos orgánicos, los metales pesados y otras composiciones se vuelven catiónicos y fácilmente móviles. Esta asociación de ácidos orgánicos y materiales inorgánicos se ha denominado tradicionalmente lixiviado de vertedero.

En el 2001 (Giraldo E), definió que los lixiviados son líquidos que se desprenden de los rellenos sanitarios por efecto de la lluvia y de la humedad contenida en los residuos sólidos. Posteriormente, en el año 2004 (Romero, J) mencionó que la principal característica de los lixiviados, son sus elevados contenidos de materia orgánica definida por medio de dos características, tomadas de la química de las aguas residuales domésticas “Demanda química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno”. En cuanto a las alternativas de tratamiento de Lixiviados, en el 2008 (Corena, M) indicó que la elevada concentración de metales (Hierro, calcio, magnesio) puede generar incrustaciones que taponan equipos, membranas, accesorios y, en presencia de alta materia orgánica producir agentes acomplejantes que inciden en la remoción tanto de metales como de materia orgánica; Por esta razón, la selección de un equipo de tratamiento de lixiviados, es una actividad de alta responsabilidad por la inversión que se necesita realizar y por los riesgos ambientales la calidad del efluente que, por regla general se dispone, en fuente hídricas.

En el estado de la técnica se han planteado diferentes soluciones para tratar los lixiviados de vertederos. Es así como la patente US4995969 describe un filtro vivo biológico para el tratamiento de lixiviados de vertederos sanitarios que comprende una cuenca de tratamiento que está revestida con un material impermeable al agua y llena con un medio de tratamiento enriquecido orgánicamente que es conductivo para mantener una población de microorganismos. El sistema también incluye plantas tolerantes a los lixiviados que crecen

en el medio de tratamiento y medios de control de flujo para los lixiviados. Este sistema necesita un medio de tratamiento enriquecido orgánicamente que comprende tierra y/o turba lo que hace que su implementación inicial sea costosa.

5 La patente US6811700 describe unos sistemas de tratamiento de aguas residuales que tienen una pluralidad de módulos de tratamiento entre la entrada y la salida, cada uno para tratar el agua con un proceso seleccionado. El afluente se dirige a un reactor de película fija, luego, el agua fluye hacia un reactor hidropónico, en el que las plantas acuáticas se suspenden sobre el líquido para lograr el tratamiento de la zona de raíces acuáticas. Un dispositivo de filtración
10 elimina los sólidos suspendidos restantes después del reactor hidropónico. El reciclaje puede ocurrir en el reactor de película fija para mejorar la eliminación de nitrógeno de uno o ambos del reactor hidropónico y el dispositivo de filtración. Este sistema tiene la desventaja que su capacidad de tratamiento depende de que en cada uno de los equipos que componen el sistema funcione de la forma más eficiente y si alguno falla hace que todo el sistema colapse.

15 La patente CN209835764 divulga un sistema de humedal artificial mejorado de flujo subterráneo horizontal comprende un estanque de humedal, en el que un lado del estanque de humedal está provisto de un canal de distribución de agua, el otro lado opuesto del estanque de humedal está provisto de un canal de recolección de agua, el fondo del estanque
20 de humedal está provista secuencialmente con una membrana impermeable, una capa de grava y una capa de arena de abajo hacia arriba, una primera tablilla, una segunda tablilla y una tercera tablilla están dispuestas secuencial y verticalmente en la dirección desde el canal de distribución de agua hasta el canal de recolección de agua en la piscina del humedal. Este sistema tiene el inconveniente que presenta zonas muertas donde se acumulan lodos y sólidos
25 que hacen que no sea homogénea el flujo del agua tratada, reduciendo la eficiencia del sistema y que sea difícil luego limpiar estas zonas colmatadas.

De acuerdo a lo anterior, se concluye que las soluciones propuestas en el estado de la técnica para tratar los lixiviados de los vertederos no han tenido en cuenta cómo evitar la colmatación
30 del medio de soporte, cómo lograr el acceso fácil a las zonas colmatadas para hacer el mantenimiento correctivo, sin sacrificar la eficiencia en el tratamiento del lixiviado.

De acuerdo a lo anterior, se evidencia que existe la necesidad de diseñar una solución de tratamiento de lixiviados de vertederos con un flujo horizontal subsuperficial como tratamiento secundario o terciario que permita el mantenimiento preventivo y correctivo ante la colmatación del medio de soporte para garantizar la remoción constante sin necesidad de
5 parar el tratamiento y su configuración y elementos permitan la eficiencia continua en el tratamiento del lixiviado, además de incluir elementos que aumenten la eficiencia en el tratamiento de la carga contaminante del afluente.

El objeto de la presente invención es proporcionar un humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento de lixiviados de vertederos con un mecanismo de retrolavado
10 tanto en la dirección horizontal como vertical con tuberías de purga, con un medio de soporte donde se encuentra sembrada la especie vegetal y una zona cubierta para mejorar la eficiencia del tratamiento del lixiviado, adicional se relaciona con un procedimiento para tratamiento secundario o terciario de lixiviados de tratamiento mediante un humedal
15 artificial tipo subsuperficial horizontal.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el
20 tratamiento secundario o terciario del lixiviado de un vertedero, conformado por un medio de soporte con 38% de porosidad; unos diques de contención; un mecanismo de retrolavado configurado por una serie de tuberías de espigas de pescado ubicadas en dos niveles; una especie vegetal sembrada; tuberías internas de seguimiento y control del proceso de biorremediación, donde el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal tiene una
25 conductividad hidráulica $\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s.

Otro objeto de la invención hace referencia a un procedimiento para tratamiento secundario o terciario de lixiviados mediante un humedal artificial tipo subsuperficial horizontal que comprende las siguientes etapas: a) Proveer un caudal del lixiviado de un vertedero de un
30 tratamiento primario; b) Ingresar el caudal del lixiviado a la zona de amortiguación; c) Ingresar el lixiviado amortiguado a la sección del medio de soporte sembrado con una especie

vegetal; d) Absorber, aprovechar y transformar la carga orgánica y contaminante del lixiviado amortiguado por parte de la especie vegetal que lo transforma en su sustrato de alimento; e) Podar la especie vegetal entre seis a tres meses para garantizar que la especie vegetal mantenga su continuo crecimiento y la remoción de la mayor carga de contaminantes del lixiviado durante su etapa de crecimiento; y, e) Hacer fluir lixiviado por todo el humedal por el tiempo de retención determinado para cumplir con los parámetros ambientales establecidos y drenar el líquido tratado en el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal.

Con esta invención se logra reducir la cantidad de cargas orgánicas, las cargas de algunos minerales y metales que contiene el lixiviado, dado que las plantas seleccionadas tienen la capacidad de absorber, aprovechar y transformar estos compuestos en residuos biodisponibles, logrando un efluente que cumpla con las reglamentaciones ambientales establecidas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para poner en claro adicionalmente las ventajas anteriores y otras características de la presente invención, y una descripción particular de la invención será presentada con referencia a las modalidades específicas de la misma que se ilustran en las figuras adjuntas. Se aprecia que estas figuras representan únicamente modalidades típicas de la invención y, por lo tanto, no se consideran limitantes de su alcance.

La figura 1 muestra las fotografías de las etapas de construcción del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, de A) Descapote del área a intervenir; B) Construcción diques de contención; y C) Compactación y nivelación de la base del terreno.

La figura 2 muestra las fotografías de las etapas de construcción del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, de A) Instalación del medio de impermeabilización; B) Instalación del medio de soporte; y C) Instalación puntos de monitoreo y línea de conducción de lixiviado tratado.

La figura 3 muestra las fotografías de las etapas de construcción del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, de A) Instalación del mecanismo de retrolavado; B) Siembra y adaptación de material vegetal; y C) Cubrimiento con una cubierta de una sección 2 del humedal artificial.

5

La figura 4 es una vista frontal parcial del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento secundario o terciarios de lixiviados de vertederos.

10

La figura 5 es una vista frontal total del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento secundario o terciarios de lixiviados de vertederos.

La figura 6 es una vista lateral en la sección transversal del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento secundario o terciarios de lixiviados de vertederos.

15

La figura 7 una vista del isométrico de la sección 2 del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento secundario o terciarios de lixiviados de vertederos del medio de ingreso del afluente y drenaje del efluente.

20

La figura 8 muestra los dos sistemas de siembra de la invención, donde A) Sistema de siembra por surcos y B) Sistema de siembra tresbolillos.

25

La figura 9 es un esquema no limitativo que muestra el procedimiento para tratamiento secundario o terciario de lixiviados mediante un humedal artificial tipo subsuperficial horizontal.

30

La figura 10 muestra los resultados de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DQO5), los sólidos totales suspendidos (SST) y los cloruros (Cl^-) de humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para A) Año 2019; B) Año 2020; y C) Año 2021.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para tratamiento secundario o terciario de los lixiviados de vertederos que de acuerdo a su configuración con un medio de soporte con 38% de porosidad, unos diques de contención, una película geotextil no tejida de alto gramaje, una geomembrana de polietileno de alta densidad, un mecanismo de retrolavado tanto en la dirección horizontal como vertical con tuberías de purga, una especie vegetal sembrada, tuberías internas de seguimiento, una zona con una cubierta, un afluente o lixiviado y un efluente o agua tratada presenta una mejora en las variables estudiadas de demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DB O₅), sólidos totales suspendidos (SST) y cloruros (Cl⁻).

La presente invención se encuentra dentro de los tratamientos secundarios o terciarios para el tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario también llamados vertederos.

Usualmente, el tratamiento de esta clase de residuo comprende un proceso de cuatro etapas: 1) La etapa de preacondicionamiento que está conformada el tratamiento físico, la homogeneización de cargas y el tanque de igualación; b) La etapa de acondicionamiento conformada por el tratamiento físico y biológico para lograr la retención de grasas (trampa de grasas), estimulación crecimiento microbiano (reactores RAP), la remoción de sólidos (sedimentadores primarios de 3 tolvas) y tanque de acondicionamiento (para calentamiento, y tanque de aquietamiento y aislamiento del contacto con el aire); c) La etapa de tratamiento primario conformada por un tratamiento biológico y físico, tratamiento biológico (reactores EGSB) y sedimentación, y finalmente, c) La etapa de tratamiento de afino o tratamiento secundario donde ocurre el tratamiento por biorremediación natural por medio del humedal artificial de la presente invención.

Al equipo de tratamiento llega el lixiviado a través de un del alcantarillado central, el cual recoge el lixiviado generado en las diferentes celdas de las zonas establecidas en el relleno sanitario o vertedero. Si bien las zonas de disposición poseen un número diferente de celdas, cada una de estas, posee dos salidas de lixiviados las cuales son controladas mediante válvulas, que permiten controlar el líquido contenido en las mismas. En caso de existir exceso

de líquido, el mismo puede ser desviado a las piscinas de almacenamiento temporal o emergencia dispuestas exclusivamente para el fin.

5 De otro lado, el paso del lixiviado del alcantarillado a la primera unidad de tratamiento, se efectúa por gravedad, mientras que el paso del mismo a las diferentes unidades de tratamiento se realiza a través de bombeo, para lo cual se cuenta con los equipos de bombeo requeridos para el fin y un respaldo de cada una de ellas.

10 La construcción del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento de lixiviados se inicia con el estudio de su localización, replanteo y seguimiento topográfico, descapote del área a intervenir, construcción de diques de contención, nivelación de la base del terreno, medios de impermeabilización, instalación del medio de soporte, instalación de pozos de monitoreo, mecanismo de retrolavado, instalación de tubería de alimentación y salida del humedal, siembra de material vegetal y construcción línea de conducción de
15 lixiviado tratado.

La localización, replanteo y seguimiento topográfico se realiza mediante el levantamiento topográfico para determinar la cantidad de movimiento de tierra que se requiere para ejecutar las obras civiles. La anterior, información se ingresa para determinar el dimensionamiento
20 del proyecto, se establecen los niveles y necesidades de retiro o llenado de áreas con material arcilloso.

Haciendo referencia a la figura 1, se tiene que una vez referenciada la zona a construir, se realiza el levantamiento topográfico tal como se observa en la figura 1A, se retira la capa vegetal (descapote) de aproximadamente 0,10 metros de espesor. El material desechado es
25 empleado posteriormente en actividades de clausura del relleno sanitario.

Luego de realizar el descapote del área, se construye la cimentación del dique de contención como se muestra en la figura 1B, efectuando una excavación de 0,20 metros de profundidad
30 promedio, con un ancho de seis metros que equivale a la base del mismo, de esta manera se

conforma un anclaje entre el nuevo material que se dispondrá y el terreno existente, impidiendo o minimizando de esta forma su desplazamiento en sentido horizontal.

En la figura 1C se observa que después de la compactación del suelo de soporte de la base del dique, se dispone el material arcilloso requerido para la respectiva construcción de la estructura civil, de forma tal que las capas de material extendida mediante la utilización de un bulldozer, no excedan un espesor de 0,25 metros, hasta alcanzar las cotas establecidas en el diseño. El proceso de compactación se realiza mediante la utilización de un vibrocompactador garantizado una densidad de compactación mínima de 1,6 Ton/m³, con una humedad no mayor al 20%.

Se continúa con la nivelación de la base del terreno, que incluye las actividades de nivelación y compactación mediante la utilización de una motoniveladora y vibrocompactador, a fin de asegurar las pendientes de diseño; es importante señalar que, de acuerdo a las características de impermeabilidad de suelo, se debe evaluar si es o no necesario instalar capas de material arcilloso adicional. A nivel general la pendiente longitudinal de la base de la estructura contemplada en la fase de estudios y diseños corresponde al 2%.

El requisito mínimo de impermeabilización para el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal requiere una conductividad hidráulica $\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s, que se obtiene mediante la instalación sobre la base del suelo compactado y el talud interno un geotextil (114) no tejido de 200 g/m² y cosido en sus respectivas juntas para garantizar un manto continuo entre la base del humedal, sobre este geotextil se instala una película de geomembrana (115) calibre 1,5mm referencia GM13, posteriormente se emplea geotextil (114) no tejido de 400 g/m² sobre la base del área y el talud interno del dique para proteger el geosintético que garantiza la impermeabilización del área de humedal, tal como se observa en la figura 2A y figura 6.

La superficie impermeabilizada con geomembrana debe estar libre de piedras, raíces y exceso de agua, para evitar su perforación. La unión de las tiras se realiza mediante un proceso térmico denominado termosellado.

El medio de soporte a emplear en el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal es grava redondeada de diámetro de 2,54 cm (una pulgada) completamente limpia.

5 La instalación del medio de soporte se observa la figura 2B, el cual se realiza de forma mecánica contando con un equipo pequeño en llanta con el fin de no generar peso ni deterioro al medio de impermeabilización previamente instalado.

10 En el inicio y al finalizar la sección del humedal se instala piedra de bola de 10,16 cm a 25,4 cm (4 a 10 pulgadas) aproximadamente de diámetro, área donde se instala las respectivas flautas de alimentación y salida del humedal.

15 Haciendo referencia la figura 2C, se observa que con el fin de realizar el debido seguimiento y control a lo largo del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal se instalan pozos de inspección, que consiste en un tubo prefabricado reforzado de 91,44 cm (36 pulgadas) de diámetro al finalizar cada una de las secciones. Igualmente, por cada sección de humedal artificial tipo subsuperficial horizontal se instalan 14 puntos de inspección, distribuidos en el área, empleando tubería sanitaria tipo pesado de 15,24 cm (6 pulgadas), debidamente perforada.

20 Con el propósito de realizar el mantenimiento durante la operación del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, se emplea una red de mecanismo de retrolavado (125) no mostrado, que consta de tubería de presión de 5,08 cm (2 pulgadas) de diámetro, ubicadas a diferentes alturas con relación a la capa de material de soporte.

25 La tubería para el retrolavado está distribuida en esquemas de espigas de pescado por cada sección del módulo del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, a su vez se encuentran ubicadas en dos niveles distintos, con el propósito de garantizar el retrolavado en todo el medio de soporte, para una realización particular los esquemas de espina de pescado van de 7 a 15, preferiblemente entre 9 a 13 y más preferiblemente entre 10 a 12, esta
30 configuración permite que se realice el mantenimiento de purga en la dirección horizontal tanto como en la dirección vertical con tuberías de purga en estas dos direcciones.

Para la salida del drenaje de humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, se instalan al menos dos y máximo seis flautas por cada sección a diferentes alturas con relación a la capa de material de soporte, con tubería de 15,24 cm (6 pulgadas) perforada cada 15 cm y enterrada a diferentes profundidades

5 Luego, se procede con la siembra de la especie vegetal, que debe ser una especie vegetal con capacidad de transformar carga orgánica y minerales contaminantes en un sustrato para crecer. La presente invención se ha sembrado dentro toda el área de las dos secciones del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal una especie vegetal de estas características.
10 De forma preferida la especie vegetal cultivada es el pasto vetiver.

Posteriormente se debe establecer como mínimo seis meses de proceso de adaptación la especie vegetal con adición de lixiviado de forma gradual hasta alcanzar que la especie vegetal crezca, se adapte y aproveche el 100% del lixiviado del vertedero por el humedal
15 para crecer y enraizar.

Los lixiviados tratados o el efluente que son evacuados humedal artificial tipo subsuperficial horizontal son conducidos al pozo de bombeo del emisario, a través de tubería de polietileno de alta densidad de 200 mm de diámetro, controlado mediante la instalación de válvulas del
20 mismo diámetro al inicio de la red de flujo.

Las etapas iniciales del tratamiento del lixiviado de vertedero tal como se ha indicado se desarrollan en las diferentes unidades que conforman el proceso de tratamiento de lixiviados finalizando con el tratamiento de afino natural o tratamiento secundario, mediante la
25 implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, siendo esta la última etapa de biorremediación.

Entonces, luego del paso del lixiviado por la unidad de tratamiento de sedimentadores, se realiza la alimentación del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal por la parte
30 superior de la capa de material de soporte, mediante control de regulación de caudales por

medio de válvulas y un canal de entrega con distribución homogénea a lo ancho de la sección del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, generando de esta manera una caída de espejo de agua.

5 Haciendo referencia a las figuras 4, 5 y 6 en las que se muestra el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal (100) el afluente ingresa al canal de entrada (101) horizontal instalado a lo ancho del humedal debidamente nivelado, con el objetivo de garantizar una distribución homogénea del líquido, con la finalidad principal de disminuir la formación de caminos preferenciales, maximizando la eficiencia de la unidad de tratamiento. El flujo de
10 ingreso del lixiviado se controla mediante una válvula de entrada (102).

Luego ingresa a la zona de amortiguación (103) de la entrada del afluente al humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, que consiste en una franja de 1,5 metros de ancho con un medio filtrante de mayor diámetro tipo piedra de bola de 25,4 cm (10 pulgadas). Este filtro
15 funciona como amortiguador y retenedor de sólidos, así mismo está diseñado para facilitar la remoción de los sólidos, mediante lavado o recambio de la piedra bola, sin afectar el medio de soporte del cuerpo del humedal, dado que se cuenta con un bafle (106) que separa el medio filtrante (119) de 25,4 cm (10 pulgadas) con el medio de soporte (105) de 2,54 cm (una pulgada), esto con el propósito principal de optimizar el proceso del humedal evitando su
20 colmatación por presencia de sólidos.

Luego el lixiviado pasa al cárcamo de rebose (104) y pasa al medio de soporte (105) donde se encuentra sembrado la especie vegetal (120), preferiblemente, la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides*, comúnmente llamada vetiver.

25 El medio de soporte (105) se caracteriza por ser homogéneo y garantizar una permeabilidad homogénea vertical y horizontalmente, de esta forma se reduce la colmatación del medio soporte del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal por diferencias de permeabilidad, y permite un flujo horizontal y vertical más homogéneo a largo de cada sección del humedal
30 artificial tipo subsuperficial horizontal.

En la figura 6 se observa la vista lateral del humedal un laminado de tres capas conformado una capa interna y exterior de geotextil (114) y una intermedia de geomembrana (115). También se observa que entre cada sección del humedal (116) y (117) hay un dique (123) que no permite que se mezclen los lixiviados que ingresan a cada sección. Además, se observan los pozos de inspección (110) por medio de los cuales se controla la calidad del tratamiento en cada zona, el nivel del medio (112) y el nivel de agua a tratar (113).

La sección del medio de soporte (105) tiene una profundidad inicial de 60 cm desde el medio soporte (105) a la base del humedal con una pendiente continua de un ángulo de 1° a 6° a lo largo de cada sección del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal y la lámina de lixiviado tiene un nivel de 10 cm por encima del medio de soporte, lo que le da la característica de ser subsuperficial, es decir, que se pueda caminar sobre su superficie, que la especie vegetal se planta en el medio de soporte (105) y el lixiviado entra en contacto con los rizomas y raíces (121) de la especie vegetal, que transfiere una pequeña cantidad de oxígeno al área de raíz para que las bacterias aeróbicas puedan colonizar el área y degradar la materia orgánica, por lo tanto, no tiene problemas de reproducción de mosquitos y no requiere energía eléctrica para su funcionamiento.

Entonces, mientras el lixiviado pasa a través del medio de soporte (105) la especie vegetal (120) absorbe y elimina las cargas orgánicas junto a otros contaminantes que puede absorber y bio-disponer.

En la presente invención se contemplaron dos formas diferentes de sembrado de la especie vegetal (120), en la sección 1 con la siembra denominada al tresbolillo y en la sección 2 denominada por surcos, dado que cada una tiene unas características diferenciadoras.

Haciendo referencia a la figura 8A, en la cual se muestra el tipo de siembra surcado o tipo surcos, donde la distribución y la densidad de la población de plantas es importante para el crecimiento de las mismas. El sembrado tipo surco o una variante es doble surco, permite aprovechar el espacio hasta un 44% comparados con otros métodos, consiste en sembrar cada

planta en dos surcos de forma alternada, en una realización preferida con una distancia de 20 cm entre cada planta al eje central y a 76.2 cm entre cada planta en el surco.

Por su parte la figura 8B, en la cual se muestra el tipo de siembra tresbolillo o de triángulo, donde cada tres plantas forman un triángulo equilátero, es decir, hay un ángulo de 60° entre cada vértice y todos los lados tiene la misma longitud, en el caso mostrado, se tiene que cada lado es de 25 cm. Así mismo, este tipo de siembra permite que cada planta pueda tener las horas de luz requeridas para su óptimo crecimiento y no se tapen unas con otras. Para realizar este tipo de siembra se emplea la siguiente fórmula

$$n = Su \text{ m}^2 / (d * d) * \text{Cos } 30^\circ$$

donde: n = número de plantas;

Su = superficie del campo, en metros cuadrados (m²).

d = distancia entre plantas, en metros (m), multiplicada por sí misma.

Coseno de 30° = es un coeficiente invariable.

La especie vegetal (120) seleccionada debe tener la capacidad de enraizar el doble de su tamaño y normalmente alcanzar una altura de 120 centímetros, para optimizar el funcionamiento del humedal artificial. También, es importante realizar podas programadas entre seis a tres meses de la especie vegetal para garantizar que siempre esté en la etapa de crecimiento que es cuando más nutrientes necesita y, por lo tanto, más eficiente es el funcionamiento del humedal.

La presente invención permite el retrolavado del medio de soporte (105), el cual debe ser entre dos meses, preferiblemente cada cuatro meses y más preferiblemente cada seis meses o de acuerdo a las necesidades de cada humedal, ya que, si hay una disminución en los valores evaluados del humedal, esto es una clara muestra que se debe realizar el paso de retrolavado.

Esta operación cumple la finalidad de reducir la formación de zonas de colmatación dentro del medio de soporte (105) del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal y evitar la formación de caminos preferenciales los cuales pueden afectar el desarrollo de la especie

vegetal y como consecuencia generar una reducción de la eficiencia en la remoción de cargas contaminantes.

5 Este mecanismo de retrolavado (125) no mostrado se realiza en diferentes profundidades del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, dado que desde la construcción del mismo se instalaron tuberías en esquema espina de pescado con el fin de realizar retrolavado a toda el área del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal.

10 Para el drenaje del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal (100) se realiza por medio de una tubería tipo flauta (124) a lo ancho del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal con la finalidad de recolectar el líquido tratado de forma homogénea y disminuir la formación de caminos preferenciales, que se suele formar cuando se cuenta con un solo punto de drenaje a la salida del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, mejorando de esta manera su eficiencia y funcionalidad.

15 Haciendo referencia a la figura 7, en la que se muestra la tela polisombra, que es una malla de multifilamento fabricada en polipropileno, esta polisombra al 50% de sombrío, como cubierta (118) y a la figura 3C donde se muestra las dos secciones del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, en la cual en una de ellas tiene la cubierta (118), la cual presenta
20 mayor eficiencia y mejor comportamiento de la especie vegetal, debido a que se mantiene la especie vegetal (120) en la etapa de crecimiento al estabilizar el ambiente y reducir los efectos de las variaciones climáticas, logrando aumentar y mantener estable el tiempo de crecimiento de la especie vegetal (120).

25 En una realización del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento secundario o terciario de lixiviados de vertederos este tiene dos secciones una con el tipo de siembra en surcos y la otra el tipo de siembra en tresbolillos o triangular.

30 En otra realización de la invención el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento secundario o terciario de lixiviados de vertederos este tiene dos secciones una

con la cubierta de polisombra del 50% y otra sin la cubierta cada una con el tipo de siembra en surcos.

5 En otra realización de la invención el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento secundario o terciario de lixiviados de vertederos este tiene dos secciones una con la cubierta de polisombra del 50% y otra sin la cubierta cada una con el tipo de siembra en tresbolillos o triangular.

10 En una realización preferida la siembra de las especies vegetales por surcos y con la cubierta de polisombra del 50% hace que aumente la eficiencia del tratamiento que realiza mediante el humedal artificial al lixiviado, por lo que son mejoras que han permitido que el humedal artificial pueda ser implementado para tratamiento de lixiviados con muy buenos resultados.

15 Adicionalmente, cuenta con tuberías internas tipo espina de pescado a diferentes profundidades, distancias y ubicaciones, tal como se muestra en la figura 3A, que permite garantizar el adecuado mantenimiento que requiere el humedal para evitar la colmatación de los sólidos.

20 Haciendo referencia a la figura 9 en la que se muestra las diferentes etapas del procedimiento para tratamiento secundario o terciario de lixiviados mediante un humedal superficial de tipo subsuperficial (200) que comprende la etapa de proveer un caudal del lixiviado de un vertedero de un tratamiento primario (201), el cual tiene una alta carga orgánica, sólidos totales suspendidos (SST) y cloruros.

25 En la etapa (202) se ingresar el caudal del lixiviado a la zona de amortiguación, donde se amortiguan y retienen los sólidos, así mismo está diseñado para facilitar la remoción de los sólidos, mediante lavado o recambio de la piedra bola, que compone este filtro.

30 El lixiviado amortiguado de la etapa anterior ingresa a la etapa (203) que consiste en ingresar a la sección del medio de soporte donde se encuentra la especie vegetal que es la que realiza la biorremediación.

En la etapa (204) se absorbe, aprovecha y transforma la carga orgánica y contaminante del lixiviado amortiguado por parte de la especie vegetal, que emplea estos contaminantes como sus sustratos de alimento para poder crecer y enraizar el medio de soporte.

- 5 La siguiente etapa es la (205) que consiste en podar la especie vegetal entre seis a tres meses para garantizar que la planta mantenga su continuo crecimiento y la remoción de la mayor carga de contaminantes del lixiviado durante su etapa de crecimiento. Este paso cumple la función de garantizar que se mantenga un comportamiento homogéneo en el tiempo de la eficiencia de remoción de las cargas contaminantes en el humedal artificial tipo
- 10 subsuperficial horizontal, dado que, el proceso de crecimiento de la especie vegetal es el que garantiza una mayor remoción de las cargas.

- Finalmente, la etapa (206) consiste en hacer fluir el lixiviado por todo el humedal por el tiempo de retención determinado para cumplir con los parámetros ambientales establecidos
- 15 y drenar el líquido tratado del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal.

- Continuando con las figuras 5, 6 y 7 se tiene el líquido tratado pasa por el cárcamo de rebose de salida (107) para llegar a la caja de recolección del efluente (122) en el que encuentra el filtro final (119) con piedra de bola, la tubería tipo flauta y se conecta a la válvula de salida
- 20 (111). En esta sección del humedal también se encuentra una manguera (109) que conecta la parte inferior de la sección del medio de soporte a la caja de recolección (108) por si se llega a necesitar realizar una purga.

MEJOR FORMA DE REALIZAR INVENCION

A continuación, se presenta un ejemplo de realización de la presente invención, la cual no es limitativa del alcance de la misma.

5 Bioagricola del Llano S.A. E.S.P. para el tratamiento de lixiviados, diseñó un humedal artificial tipo subsuperficial horizontal implementando e instalado en el Parque Ecológico Reciclante (PER) de la compañía, el cual recibe el caudal de los efluentes del sistema anaeróbico de alta tasa en funcionamiento en la actualidad, y permite el cumplimiento de los
10 estándares de calidad que las normas vigentes exigen.

El proceso de tratamiento de lixiviados inicia por las etapas de pre-acondicionamiento, acondicionamiento, tratamiento primario y tratamiento de afino. Adicionalmente, se cuenta con dos (2) piscinas de emergencia o contingencia, cada una con capacidad de setecientos
15 veinte metros cúbicos (720 m³).

El tratamiento primario cuenta con reactores EGSB diseñados para tratar un caudal máximo de 5 l/seg en dos equipos paralelos; cada uno de ellos con capacidad máxima de tratamiento de 2,5 l/s, continuando con flujo del lixiviado hasta los sedimentadores secundarios de 3
20 tolvas, donde posteriormente pasa al tratamiento de afino con el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal, con un total de 5 días de tiempo de retención desde el ingreso del afluente hasta la salida de la última etapa del humedal artificial

El área establecida para la construcción del humedal artificial tipo subsuperficial horizontal
25 corresponde aproximadamente a una hectárea, el humedal se encuentra dividido en dos secciones de las mismas dimensiones, sección 1 con un tipo de siembra tresbolillos y la sección con un tipo de siembra en surcos.

El humedal artificial tipo subsuperficial horizontal hace parte de la cuarta y última etapa del
30 proceso de tratamiento de lixiviados de Bioagricola del Llano S.A. E.S.P. Tiene una capacidad de operación de 5 l/seg de lixiviado, con un tiempo de retención promedio de 4

días. Se encuentra dividido en 2 secciones iguales (de 39,3 m x 83,5 m cada uno) está totalmente impermeabilizado, y se encuentra cubierto con una polisombra al 50% de sombrío en la sección 2.

- 5 En esta realización el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal funciona con una especie vegetal denominada vetiver, la cual tiene capacidad de enraizar el doble de su tamaño y normalmente alcanza una altura de 120 centímetros.

10 Se incluyen tuberías internas de seguimiento y otra tubería de purga para garantizar el mantenimiento por retrolavado que evite la acumulación de sólidos sectorizados que afecten el adecuado funcionamiento del mismo. Se tuvo en cuenta la distribución en surcos en la siembra de la especie vegetal. El humedal cuenta con un área inicial de choque que evita que el humedal artificial tipo subsuperficial horizontal se afecte por los cambios de cargas y está cubierto con polisombra al 50% que ayuda a aumentar el tiempo de crecimiento de la planta
15 vetiver.

El humedal artificial tipo subsuperficial horizontal tiene unas condiciones de operación, como máxima carga de DQO (6000 mg/l) y de cloruros (1500 mg/l), un área que se denomina área de impacto, la cual requiere mantenimiento de resiembra continua y cambio de especie
20 vegetal, adicional el humedal artificial requiere actividades de mantenimiento de poda de la especie vegetal seleccionada vetiver, esta poda se realiza cada tres meses para garantizar que la planta se mantenga en continuo crecimiento y de esta forma pueda remover la mayor cantidad de cargas contaminantes del lixiviado, durante su etapa de crecimiento.

25 El tiempo con un tiempo de residencia del lixiviado a tratar es de 3 a 7 días, dependiendo el caudal, al cabo de los cuales el lixiviado tratado es drenado y entregado a la corriente del Río Guatiquia.

30 RESULTADOS DE SEGUIMIENTO HUMEDAL ARTIFICIAL TIPO
SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

A continuación, se muestran los resultados de la remoción de la mejora en las variables estudiadas para evaluar la eficiencia del humedal artificial así, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DQO5), sólidos totales suspendidos (SST) y cloruros (Cl^-).

5 Durante el año 2019 se logró un porcentaje de remoción de cargas contaminantes del 51,7% en la sección 1 y 51,6% en la sección 2, más específicamente en la figura 10A se observa que la demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DQO5), sólidos
10 totales suspendidos (SST) fueron mejores para la sección 1 sembrada en triangulo o tresbolillo la única variable que tuvo una mejor remoción en la sección 2 del humedal artificial fueron los cloruros (Cl^-). En este año se evidencio que el humedal artificial perdía capacidad de remoción cuando las plantas alcanzaban su máximo tamaño y empezaban a envejecer, dado que, durante el 2019 se realizaron solo podas cada seis meses.

15 En el año 2020 se llevaron a cabo podas cada tres meses, que es el tiempo promedio de crecimiento de la planta después de la poda y adicionalmente se implementó la cobertura de la sección 2 del humedal artificial que tiene el tipo siembra en surcos con polisombra al 50%, para validar su contribución en la estabilidad del ambiente de las plantas y de esta forma
20 garantizar un crecimiento más estable y por mayor tiempo y de esta manera evaluar su comportamiento y hacer seguimiento a las eficiencias en los resultados de laboratorio.

Tal como se observa en la figura 10B, con estos ajustes para la sección 1 del humedal artificial que tiene el tipo siembra tresbolillo se logró evidenciar un aumento a un 76% de remoción de cargas contaminantes con aumentó de un 32% de la eficiencia en comparación el año
25 2019. Para la sección 2 se logró evidenciar un aumento a un 78% de remoción de cargas contaminantes con aumentó en un 33% de la eficiencia en comparación con el año 2019. No obstante, siguió el mismo comportamiento de mejores resultados en la sección 1 que en la sección 2 para todas las variables evaluadas menos para los cloruros (Cl^-).

Para el año 2021 se evidenció un incremento en los sólidos suspendidos de las muestras de la salida del humedal artificial durante los primeros meses del año, por lo que se iniciaron los retrolavados en el mes de julio, con una programación inicial de dos retrolavados en el año.

- 5 Con esta actividad se logró aumentar el porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales en un 2% promedio comparado con el año 2020. En general se evidenció una mayor eficiencia en la sección 2 del humedal artificial con 9% más de remoción de cargas contaminantes que la sección 1, esto se debe principalmente a la distribución de la especie vegetal de la sección 2 que le permite mayor oxigenación y segundo a la cobertura con
- 10 polisombra que le aporta mayor estabilidad ambiental y permite que tenga más tiempo de crecimiento, tal como se observa en la figura 10C.