

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 180**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/02** (2006.01)  
**C02F 3/12** (2006.01)  
**C02F 3/10** (2006.01)  
**C02F 3/30** (2006.01)  
**C02F 3/00** (2006.01)  
**C02F 3/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2008 E 08848884 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2013 EP 2215021**

54 Título: **Procedimiento y planta de tratamiento de aguas residuales que comprende controlar la concentración de oxígeno disuelto**

30 Prioridad:

**16.11.2007 GB 0722486**

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

**29.08.2013**

73 Titular/es:

**BLUEWATER BIO TECHNOLOGIES LIMITED  
(100.0%)  
59 Ballagarey Road  
Glen Vine Isle of Man IM4 4EJ, GB**

72 Inventor/es:

**HOYLAND, GARRY**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 421 180 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento y planta de tratamiento de aguas residuales que comprende controlar la concentración de oxígeno disuelto

5 Esta invención se refiere a procedimientos para tratar aguas residuales, y a unidades en las que se pueden tratar aguas residuales.

10 El impacto de la humanidad sobre nuestro medio ambiente da como resultado la creación de grandes volúmenes de agua contaminada, lo que llamamos aguas residuales. Las aguas residuales pueden ser vertidos de desecho líquidos de propiedades domésticas y comerciales, de la industria y la agricultura, o mezclas de los mismos. Las aguas residuales incluyen a veces suspensiones de sólidos. Las aguas de alcantarillado son una forma de aguas residuales que incluyen materia fecal y/o orina.

Las aguas residuales contienen generalmente seis categorías principales de contaminantes, que son como sigue:-

15 (1) Materia carbonada (materia tal como almidón, proteínas y lípidos), se mide normalmente en términos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), y es un contaminante desoxigenador. Los niveles reducidos de oxígeno disuelto causados por el vertido de materia carbonada en aguas receptoras pueden destruir la vida aeróbica en tales aguas.

20 (2) Sólidos suspendidos (SS), son todos materia inorgánica y orgánica que no está disuelta, y los procedimientos para retirar tales sólidos de las aguas residuales incluyen filtración o flotación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos. Los sólidos finos o coloidales pueden tener que ser coagulados por diversos medios antes de que puedan ser retirados. La materia carbonada en (1) puede estar presente en las aguas residuales en parte como sólidos suspendidos y en parte como sólidos disueltos.

25 (3) Nitrógeno amoniacal, que puede estar presente en las aguas residuales como iones amonio ( $NH_4^+$ ) y/o como amoniaco ( $NH_3$ ), es un contaminante desoxigenador como la materia carbonada. El amoniaco también puede ser venenoso para los peces presentes en las aguas receptoras cuando las aguas residuales son vertidas a tales aguas. Además, el nitrógeno amoniacal es un nutriente de las plantas y puede causar eutrofización de las aguas receptoras. La mayor parte del nitrógeno amoniacal en las aguas residuales está usualmente disuelto.

30 (4) Nitrógeno total (NT), incluye todas las formas no moleculares de nitrógeno, que son nitrógeno amoniacal (que comprende  $NH_4^+$  y  $NH_3$ ), nitrógeno oxidado (que comprende nitrógeno de nitrito ( $NO_2^-$ ) y nitrógeno de nitrato ( $NO_3^-$ )) y nitrógeno orgánico (que es nitrógeno contenido dentro de compuestos orgánicos tales como proteínas). El nitrógeno amoniacal, el nitrógeno de nitrito y el nitrógeno orgánico son contaminantes desoxigenadores, y todos los compuestos de nitrógeno son potencialmente nutrientes para las plantas. La mayor parte de los compuestos inorgánicos de nitrógeno, que comprenden nitrógeno amoniacal y nitrógeno oxidado, están disueltos, mientras que los compuestos orgánicos de nitrógeno pueden estar disueltos o suspendidos.

35 (5) Fósforo total (FT), incluye todas las formas no moleculares de fósforo, que comprenden fosfatos inorgánicos y orgánicos de un tipo u otro. Como el NT, el FT es un nutriente para las plantas y puede dar como resultado eutrofización de las aguas receptoras. Los compuestos que contienen fósforo pueden estar disueltos o suspendidos.

(6) Microorganismos, incluyen virus, bacterias y protozoos, algunos de los cuales son potencialmente patógenos dañinos, particularmente cuando las aguas residuales proceden de fuentes animales y humanas. Los patógenos bacterianos incluyen ciertas especies de enterococos intestinales generalmente, y de *Escherichia coli* específicamente.

40 (7) Materia no biodegradable, incluye gravilla, pelo, trozos de plástico y sales inorgánicas. La mayor parte de este material está suspendido o bien flotando, y una pequeña cantidad puede estar disuelto.

Liberar aguas residuales no tratadas al medio ambiente acuoso puede desestabilizar los ecosistemas y tener un impacto adverso sobre la salud de las plantas y animales dentro de este medio ambiente. Por consiguiente, se han desarrollado varios procedimientos para tratar las aguas residuales.

45 El tratamiento de aguas residuales implica sustancialmente separar las aguas residuales de los contaminantes que pueden ser producidos colectivamente como una corriente fangosa (o subproducto) que requiere tratamiento y desecho. Todo el procedimiento para tratar las aguas residuales y el fango da como resultado la destrucción parcial de los contaminantes y su conversión parcial en otra materia, principalmente microorganismos. El agua separada durante tal tratamiento puede ser liberada el medio ambiente, principalmente aguas naturales. El fango tratado puede ser reciclado (p.ej., usado como alimento para las plantas en agricultura), y/o destruido (p.ej., en un incinerador).

50 Los procedimientos de tratamiento biológico convencionales para las aguas residuales son generalmente procedimientos multietapas, donde cada etapa se lleva a cabo independientemente. Por ejemplo: una etapa de cribado, donde pueden ser retirados los sólidos grandes y desperdicios; etapas de sedimentación, donde son

5 retirados sólidos comparativamente pequeños pero sedimentables (tales como gravilla y algunos sólidos orgánicos); una etapa aeróbica, donde la materia carbonada es oxidada biológicamente a dióxido de carbono y agua y donde los compuestos de nitrógeno son oxidados principalmente a nitrato, posiblemente con la producción de algo de nitrito; una etapa anóxica, donde los nitratos (y nitritos) son reducidos a nitrógeno molecular (en ausencia de oxígeno y en presencia de materia carbonada); y etapas de separación, donde los microorganismos producidos en el tratamiento y otros sólidos son separados del agua residual tratada. Tal separación es generalmente por sedimentación o filtración. Por ejemplo, las plantas de fangos activados convencionales funcionan mezclando el agua residual en tanques oxigenados llamados tanques de aireación con poblaciones de libre fluidez de microorganismos para formar una suspensión líquida oxigenada llamada "licor mixto". Después del tratamiento en el tanque de aireación, el licor mixto pasa a un tanque de sedimentación, en el que los sólidos suspendidos en el licor mixto se sedimentan en el suelo del tanque, dando como resultado agua tratada que forma el sobrenadante, que pasa sobre un dique en la parte superior del tanque de sedimentación. Los sólidos sedimentados son retirados como fango a través de un pozo en el suelo del tanque.

15 Se han desarrollado procedimientos de tratamiento más avanzados que implican el uso de tipos específicos de microorganismos. Tales procedimientos de tratamiento avanzados explotan la capacidad natural de tipos específicos de microorganismos de retirar contaminantes de aguas residuales, así como causan otros beneficios, tales como características de sedimentación mejoradas de los sólidos suspendidos en el licor mixto.

20 Por ejemplo, se han desarrollado procedimientos de tratamiento conocidos para trabajar con microorganismos y que implican el uso de una serie de tanques de aireación conectados a un tanque de sedimentación con un reciclado del fango desde el tanque de sedimentación hasta los tanques de aireación (Choi *et al.* "Development of a biological process for livestock wastewater treatment using a technique for predominant outgrowth of *Bacillus* species", *Water Science and Technology*, Vol. 45, Nº 12, págs. 71-78). En Kim *et al.* ("Advanced wastewater treatment technology using rotating activated *Bacillus* contactor", *Gesuido Kenkyu Hapyokai Koenshu, Nihon Gesuido Kyokai, Tokyo, JP*, Vol. 40, 1 de enero de 2003, págs. 42-44) se describe un procedimiento que usa microorganismos que funciona en una unidad que incluye tanques de contacto, aireación y sedimentación. El control de la concentración de oxígeno disuelto es mostrado sólo en Kim *et al.* en los tanques de aireación, y se requiere llevar a cabo el reciclado del fango sólo durante la operación inicial o en el caso de pérdida seria de microorganismos.

30 En un ejemplo adicional, la publicación de patente coreana Nº 100276095 B1 describe un procedimiento para tratar aguas residuales que incluye una etapa en la que el agua residual contacta con microorganismos que son retenidos en la superficie de un soporte antes de la transferencia a un tanque de aireación. El agua residual, que fluye tanto a través de la etapa de contacto como del tanque de aireación, es oxigenada.

35 El procedimiento descrito en la patente coreana implica las siguientes etapas de tratamiento en el siguiente orden:- retirada de desperdicios comparativamente grandes suspendidos o flotando en el agua residual; paso del agua residual a través de un tanque de contacto en el que el agua residual contacta con microorganismos retenidos sobre una superficie fija; paso del agua residual a través de un tanque de aireación en el que un licor mixto que contiene agua residual y microorganismos de libre fluidez es oxigenado; paso del agua residual a tanques de sedimentación donde es separada en agua tratada y fango (que es el sedimento); paso del agua residual tratada a un punto de vertido. Una porción del fango es bombeada por una bomba de fangos en exceso a un tanque de concentración de fangos listo para el desecho o tratamiento posterior. El resto del fango del tanque de sedimentación es reciclado directamente al tanque de aireación. Una porción del agua residual que fluye desde los tanques de aireación es reciclada directamente al tanque de contacto.

45 En comparación con el procedimiento ejecutado en una planta de fangos activados convencional, el procedimiento descrito en la patente coreana ha demostrado dar como resultado una calidad significativamente mejor del agua tratada. Sin embargo, los presentes inventores no consideran que tales procedimientos de tratamiento conocidos hayan sido optimizados para proporcionar de la manera más eficaz la mejor calidad del agua tratada.

Por consiguiente, en un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento para tratar aguas residuales que comprende:-

- a. una etapa de contacto, en donde el agua residual contacta con bacterias retenidas en la superficie de un soporte y la concentración de oxígeno disuelto del agua residual es mantenida a 1,0 mg/l o menos;
- 50 b. una etapa de aireación, en donde se hace pasar gas a través del agua residual que ha pasado a través de la etapa de contacto, y la concentración de oxígeno disuelto del agua residual es reducida según pasa el agua residual a través de la etapa de aireación;
- c. una etapa de sedimentación, en donde el agua residual que ha pasado a través de la etapa de aireación es sustancialmente separada en agua tratada y fango; y
- 55 d. una etapa de reciclado del fango, en donde al menos una porción del fango de la etapa de sedimentación se hace pasar a la etapa de contacto.

Sin desear necesariamente estar limitados por la teoría, los inventores proponen que se puede controlar la

- 5 concentración de oxígeno disuelto en el tanque de contacto de tal modo que una porción de la población de bacterias retenidas en la superficie del soporte opera bajo condiciones aeróbicas, y otra porción de la población opera bajo condiciones anaeróbicas. Tal situación se propone para optimizar la ruptura de los contaminantes del agua residual durante la etapa de contacto; los procesos aeróbicos de las bacterias pueden romper ciertos contaminantes, mientras que otros contaminantes y productos de los procedimientos aeróbicos pueden ser rotos por procesos bacterianos anaeróbicos.
- 10 Además, pero sin desear estar limitados por la teoría, los inventores proponen que se puede influir en la composición de la población bacteriana en el agua residual que fluye libremente a través de la etapa de contacto y la etapa de aireación proporcionando al agua residual que pasa a través de ambas etapas una concentración de oxígeno disuelto (OD) relativamente baja, comparada con las concentraciones de OD encontradas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales generalmente.
- 15 El agua residual es el agua alimentada al procedimiento para su procesamiento. El agua que pasa a través de las diversas etapas de este procedimiento también se denomina agua residual en esta descripción de esta invención, y puede contener, entre otros, las bacterias usadas en el procedimiento (tal agua residual se denomina a menudo en la técnica licor mixto).
- 20 Los microorganismos en la etapa de contacto son retenidos principalmente en la superficie del soporte, aunque el procedimiento puede utilizar tanto las bacterias retenidas en la superficie del soporte como las bacterias de libre fluidez presentes en el agua residual. El tiempo de retención del agua residual en la etapa de contacto (definido como el volumen del agua residual en la etapa de contacto dividido por el caudal medio del agua residual) está preferiblemente en el intervalo de 5 minutos a 3 horas, dependiendo de la fuerza del agua residual.
- 25 Todos o al menos una porción principal de los microorganismos en la etapa de aireación son de libre fluidez en el licor mixto, pero los microorganismos de libre fluidez pueden ser suplementados por otros microorganismos unidos a superficies de soporte que pueden ser de posición fija o de libre fluidez en el agua residual. El tiempo de retención del agua residual proporcionado por la etapa de aireación (definido como el volumen del licor mixto en la etapa de aireación dividido por el caudal medio del agua residual) bajo las condiciones en las que la concentración de oxígeno disuelto (OD) del licor mixto concuerda con los niveles descritos más adelante está preferiblemente en el intervalo de 4 horas a 1, 2, 3, 4 o más días, dependiendo de la fuerza del agua residual.
- 30 La relación del tiempo de retención del agua residual en la etapa de aireación, bajo las concentraciones de OD controladas descritas más adelante, al tiempo de retención del agua residual en la etapa de contacto está preferiblemente en el intervalo de 15 a 90.
- 35 En una realización, la concentración de oxígeno disuelto durante la etapa de contacto es mantenida a 1 mg/l o menos, y opcionalmente no menos que 0,2 mg/l. Así, el agua residual en la etapa de contacto es preferiblemente aeróbica, y no anaeróbica.
- 40 La concentración de OD del agua residual hacia el comienzo de su paso a través de la etapa de aireación es comparativamente baja, y más baja o incluso concentración cero hacia el final del paso del licor a través de la etapa. El perfil de OD en la etapa de contacto y a través de la etapa de aireación selecciona el crecimiento y desarrollo de bacterias formadoras de endosporas. La tensión biológica hacia el final de la etapa de aireación (conseguida por el OD disminuido y/o una concentración de nutrientes para las bacterias en el agua residual que está por debajo de la requerida para el funcionamiento fisiológico normal de las bacterias) estimula la esporulación de tales bacterias, y las condiciones de crecimiento biológico en la etapa de contacto estimulan la activación y germinación de las endosporas a células vegetativas que pueden crecer exponencialmente.
- 45 El crecimiento de bacterias formadoras de endosporas y la producción y germinación de endosporas es propuesto para estimular el mantenimiento de buenos niveles de bacterias funcionales, tanto de libre fluidez en el licor mixto en todas las etapas del método como retenidas en la superficie del soporte de la etapa de contacto.
- 50 Por consiguiente, se prefiere que la concentración de OD del agua residual hacia el comienzo del paso del agua residual a través de la etapa de aireación y hacia el final de su paso a través de la etapa de aireación sea controlada a un nivel que estimule el crecimiento y desarrollo de bacterias formadoras de endosporas, y que tales bacterias experimenten su ciclo de vida.
- Opcionalmente, la concentración de oxígeno disuelto del agua residual hacia el comienzo del paso del agua residual a través de la etapa de aireación está en el intervalo de 0,5 a 2 mg/l, 0,2 a 1,5 mg/l, 0,5 a 1,5 mg/l, 0,2 a 1,5 mg/l, o 0,5 a 1,0 mg/l.
- Opcionalmente la concentración de oxígeno disuelto del agua residual hacia el final del paso del agua residual a través de la etapa de aireación está en el intervalo de 0 a 1,0 mg/l, 0 a 0,5 mg/l, 0 a 0,25 mg/l, 0 a 1,0 mg/l, 0 a 0,1 mg/l o es 0 mg/l.
- 55 El agua residual tarda preferiblemente al menos 4, 6, 8 o 10 horas para pasar a través de la etapa de aireación, y lo más preferiblemente al menos 1, 2, 3, 4 o 5 horas de las cuales deben ser pasadas bajo condiciones donde la

concentración de oxígeno disuelto del agua residual concuerda con los niveles descritos anteriormente para el final de la etapa de aireación.

5 La concentración de oxígeno disuelto del agua residual se reduce preferiblemente de manera incremental o continua según pasa a través de la etapa de aireación. Así, las concentraciones de oxígeno disuelto pueden disminuir por etapas, o pueden caer gradualmente, desde el comienzo hasta el final de la etapa de aireación, preferiblemente el OD no es ciclado en el tiempo (es decir, intencionadamente aumentado, disminuido, aumentado, disminuido, etc.).

10 El mantenimiento de las concentraciones de oxígeno disuelto en los valores deseados descritos anteriormente puede ser conseguido mediante el control del suministro de oxígeno al agua residual, que puede incluir el no suministro de oxígeno. Esto es particularmente importante, ya que la demanda de oxígeno del agua residual puede variar con el tiempo, particularmente si la concentración de materia carbonada y/o de Nitrógeno Total del agua residual varía. Así, el suministro de oxígeno al agua residual puede ser controlado variando el suministro para mantener las concentraciones de oxígeno disuelto en los valores deseados descritos anteriormente (es decir, aumentando o disminuyendo el suministro de oxígeno al agua residual).

15 El experto en la materia sería consciente de las muchas maneras en las que se podría controlar el suministro de oxígeno al agua residual que fluye a través de la etapa de contacto y/o la etapa de aireación. Por ejemplo, una estructura en la etapa de contacto puede ser retirada y retornada repetidamente al agua residual (preferiblemente en un movimiento rotacional), agitando de este modo el oxígeno atmosférico en el agua residual. La estructura operada durante la etapa de contacto puede ser al menos una porción de la superficie de soporte. Alternativamente, o además, se puede burbujear oxígeno a través del agua residual desde, por ejemplo, una tubería perforada.

20 Una vez que se establece cómo controlar el suministro de oxígeno al agua residual, se puede controlar después la concentración de oxígeno disuelto del agua residual. Esencialmente esto implica una etapa de seguimiento en la que la concentración de oxígeno disuelto del agua residual se mide y se compara frente a la concentración deseada, y una etapa de retroalimentación en la que el medio para suministrar el oxígeno al agua residual es controlado a fin de aumentar o disminuir el suministro de oxígeno para llegar a la concentración de oxígeno disuelto deseada discutida anteriormente. Opcionalmente, además de hacer un seguimiento de la concentración de oxígeno disuelto, también se puede medir el potencial redox a fin de controlar el suministro de oxígeno.

30 Por ejemplo, si los medios para suministrar el oxígeno fueran una tubería perforada sumergida en el agua residual y a través de la cual se burbujea oxígeno, y se midiera que la concentración de oxígeno disuelto fuera más baja que lo deseado, entonces la etapa de retroalimentación tendría el efecto de que se burbujeara más oxígeno desde la tubería al agua residual. Alternativamente, o además, si los medios para suministrar oxígeno fueran realizados por una estructura que fuera retirada y retornada repetidamente al agua residual, entonces la repetición de la etapa de retirada y retorno de la estructura aumentaría o disminuiría en frecuencia.

35 El procedimiento puede utilizar tanto las bacterias retenidas en la superficie del soporte durante la etapa de contacto como las bacterias de libre fluidez que se pueden encontrar en el agua residual en una cualquiera o más de las etapas de la presente invención. Preferiblemente, sólo se proporcionan bacterias de libre fluidez en la etapa de aireación (es decir, las bacterias no son retenidas en una superficie de soporte como en la etapa de contacto).

40 Las bacterias que son adecuadas para el uso en el procedimiento de la presente invención son las que son capaces de romper moléculas que comprenden nitrógeno, carbono, azufre, cloro, fósforo, o cualquier combinación de los mismos, que se pueden encontrar en el agua residual. Las bacterias de los filos *Firmicutes* (particularmente de los géneros *Bacillus* y *Clostridium*), *Proteobacteria* y *Bacteroidetes* son las más eficaces en la ruptura mencionada anteriormente.

45 Se prefieren particularmente bacterias formadoras de endosporas. Así, en una realización preferida de la presente invención, las bacterias son de los géneros *Bacilli* y *Clostridia*. Las especies de *Bacillus* y *Clostridium* son preferiblemente activas en la etapa de contacto, y las especies de *Bacillus* son preferiblemente activas en la etapa de aireación. Tanto *Bacilli* como *Clostridia* experimentan un ciclo de vida que implica crecimiento (multiplicación) de células, conversión de células en endosporas (que ocurre cuando las células son sometidas a tensión, por ejemplo, por carencia de nutrientes), activación de las endosporas (que ocurre cuando las endosporas son vueltas a exponer a nutrientes), seguido de germinación de las endosporas y finalmente crecimiento de nuevas células vegetativas (que ocurre bajo la exposición continuada a nutrientes).

50 Se considera que las bacterias del género *Bacillus* son particularmente adecuadas, comprendiendo las especies más preferidas *B. subtilis*, *B. vallismortis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis* y *B. megaterium*, o cualquier combinación de las mismas. Aunque otras especies de *Bacillus* tales como *B. brevis*, *B. cereus*, *B. formis*, *B. thuringiensis*, *B. polymyxa*, *B. popilliae*, *B. stearothermophilus* y *B. sphaericus*, o cualquier combinación de las mismas, también están consideradas útiles para la incorporación en la presente invención.

55 Por consiguiente, todos los mutantes o variantes de cualquiera de las bacterias preferidas discutidas anteriormente (particularmente las que son capaces de formar endosporas y de romper moléculas que comprenden hidrógeno, nitrógeno, carbono, azufre, cloro y/o fósforo) también serían adecuadas para el uso en la presente invención.

Poblaciones de especies mixtas de bacterias pueden ser retenidas en la superficie de soporte y/o ser de libre fluidez a través del proceso. Sin embargo, se prefiere que predomine una de las poblaciones de bacterias según los párrafos previos, particularmente bacterias formadoras de esporas.

5 Bajo las condiciones proporcionadas en las plantas de fangos activados convencionales, crecen bacterias competidoras como bacterias formadoras de endosporas tales como *Bacilli*, que están presentes en concentraciones comparativamente pequeñas. En contraste, las condiciones impuestas en cada una de las etapas de la presente invención favorecen el ciclo de vida de las bacterias formadoras de endosporas.

10 Sin desear necesariamente estar limitados por la teoría, se propone que las bacterias formadoras de endosporas son estimuladas a germinar y crecer bajo las condiciones en la etapa de contacto, y a crecer y después formar esporas bajo las condiciones en la etapa de aireación. Tales condiciones aseguran una dominancia de bacterias formadoras de endosporas en el proceso, porque las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en la etapa causan que otros tipos de bacterias sufran una disminución en su velocidad de crecimiento y tasa de supervivencia. También se propone que las endosporas mejoran las características de sedimentación del agua residual en el tanque de sedimentación, de tal modo que el agua tratada contiene concentraciones muy bajas de sólidos suspendidos. Además, se propone que las endosporas tienen propensión a alojarse sobre (y dentro de) la biomasa en el tanque de contacto, donde germinan, y la población resultante de células vegetativas crece.

20 La superficie de soporte puede ser cualquier fase sólida capaz de soportar físicamente bacterias retenidas sobre la misma, de tal modo que las bacterias entran en contacto físico con el agua residual que pasa a través de la etapa de contacto. La superficie de contacto puede ser uno o más cuerpos fijos, que pueden ser estáticos o capaces de moverse (p.ej., discos provistos sobre un eje rotatorio), o uno o más cuerpos capaces de moverse libremente dentro de la etapa de contacto (es decir, partículas de plástico suspendidas, vidrio flotante o esferas de poliestireno). En una realización particularmente preferida de la presente invención, la superficie de soporte comprende varios discos provistos sobre un eje. Los discos pueden estar sumergidos parcialmente en el agua residual, y la fracción de los discos sumergida puede ser cambiada posicionando la altura de un dique de salida. Preferiblemente, cada disco está sumergido a aproximadamente un tercio del diámetro del disco. El movimiento rotatorio de los discos, que puede ser causado por la rotación del eje al que están unidos, puede cambiar la posición de la porción del disco que está sumergida en cualquier tiempo dado. Así, cada parte del disco es expuesta alternativamente a aire y agua residual. Cambiar la velocidad de rotación cambiará la frecuencia de inmersión de una porción dada del disco. Preferiblemente, un motor hace girar el eje a una velocidad de alrededor de 4 revoluciones/min, de tal modo que cada porción del disco es expuesta alternativamente al aire y al agua residual. De esta manera, las bacterias retenidas en el tanque de contacto son aireadas, proporcionando el oxígeno para el tratamiento biológico. La velocidad de rotación puede ser ajustada de acuerdo con la velocidad de tratamiento requerida y la concentración de oxígeno disuelto requerida en el agua residual que pasa a través de la etapa de contacto.

35 Las bacterias son retenidas preferiblemente sobre la superficie del soporte formando una biopelícula sobre el mismo. Preferiblemente, la superficie del soporte está hecha de una sustancia que promueve la formación de una biopelícula (es decir, el material es uno al que las bacterias se pueden adherir para formar una biomasa integrada que tiene actividad biológica dentro de la superficie del soporte, así como sobre la superficie del soporte). Se ha encontrado que una superficie del soporte hecha de una estructura reticulada es particularmente adecuada. Preferiblemente, la estructura reticulada tiene un espacio vacío mayor que 60, 70, 80, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97 o 40 98%, pero menos que 100%, del volumen de la estructura reticulada. La superficie del soporte puede estar hecha de un polímero sintético que es resistente a la biodegradación en el agua residual, puede soportar la biopelícula y puede ser construido en la forma de una estructura reticulada. Son ejemplos de polímeros sintéticos adecuados el polipropileno, poliéster, poliuretano, poliéter-poliuretano, poli(cloruro de vinilo), poli(cloruro de vinilideno) y poli(flúoruro de vinilideno), o cualquier combinación de los mismos.

45 Alternativamente, o además, se puede añadir una etapa de dosificación de una composición activadora al procedimiento, en donde se añade al agua residual una composición activadora que estimula el crecimiento de estas bacterias. La etapa de dosificación de una composición activadora puede ser llevada a cabo después, antes o simultáneamente con cualquier otra etapa del procedimiento, pero preferiblemente durante la etapa de contacto. Las composiciones activadoras adecuadas pueden comprender silicatos y/o compuestos de magnesio y otros nutrientes traza, especialmente los requeridos por las bacterias formadoras de endosporas. Sin embargo, a menudo el agua residual contiene de forma natural niveles adecuados de composición activadora (un hecho que puede ser determinado mediante un análisis químico del agua residual), en cuyo caso no se requiere una etapa de dosificación de una composición activadora.

55 Durante la etapa de aireación, se hace pasar gas a través del agua residual por dos razones. En primer lugar, el paso de gas agita el agua residual y por tanto estimula la mezcla de sus componentes y mantiene una suspensión de, entre otros, las bacterias. Donde la velocidad de suministro de gas no es suficiente para mantener las bacterias en suspensión, el agua residual puede ser mezclada mecánicamente para mantener la suspensión. En segundo lugar, cuando está incluido oxígeno en el gas, el gas puede ser usado para controlar la concentración de oxígeno disuelto del agua residual, esto se discute anteriormente (el oxígeno facilita la ruptura de contaminantes en el agua residual y el crecimiento de bacterias). Por consiguiente, el gas comprende preferiblemente oxígeno (p.ej., aire, aire aumentado o parcialmente disminuido en la proporción de oxígeno, u oxígeno en sí).

Preferiblemente, el fango es reciclado directamente a la etapa de contacto desde la etapa de sedimentación durante la etapa de reciclado del sedimento.

5 Sin desear necesariamente estar limitados por la teoría, los inventores propusieron que las endosporas formadas en el procedimiento de la presente invención sean devueltas a la etapa de contacto por medio de la etapa de reciclado. Las endosporas recicladas pueden ser activadas y llegar a incrustarse dentro o sobre la superficie del soporte (donde se vuelven activas y germinan a células vegetativas) o fluir libremente a través de las etapas del procedimiento.

10 Así, se propone que la inclusión de una etapa de reciclado del fango aumenta la eficacia del tratamiento llevado a cabo en el tanque de contacto y/o el tanque de aireación; y de este modo la eficacia global del procedimiento como un todo.

El fango de la etapa de sedimentación, y/o el agua residual de todas las etapas, se puede hacer pasar entre las etapas y reciclar. El reciclado puede ser llevado a cabo por transporte pasivo (cuando la gravedad impulsa el flujo del agua residual) o por transporte activo (donde el bombeo o succión mueve el agua residual o el sedimento entre tanques).

15 A fin de facilitar la sedimentación (es decir, la separación del líquido del sólido) durante la etapa de sedimentación, esta etapa es preferiblemente una etapa estable (p.ej., no se hacen pasar gases a través del agua residual durante esta etapa, y el agua residual no se mezcla).

20 Durante la etapa de sedimentación, los componentes del agua residual que son más pesados que el agua se hunden hacia el fondo del tanque en el que se practica esta etapa. El agua y los componentes más ligeros del agua residual forman un sobrenadante. Tal separación es llevada a cabo preferiblemente de manera pasiva, bajo la influencia de la gravedad. Sin embargo, la separación puede ser llevada a cabo adicionalmente o alternativamente haciendo girar el agua residual durante la etapa de sedimentación (de tal modo que actúen fuerzas centrífugas sobre el agua residual) o impulsando el agua residual a través de un filtro que sustancialmente sólo el agua puede pasar.

25 El procedimiento acorde con la presente invención puede comprender además una etapa de retirada del fango; en donde el fango de la etapa de sedimentación es retirado del proceso, por ejemplo, hacia un tanque de almacenamiento, o liberado de la unidad en la que se lleva a cabo el procedimiento. Así, el fango del tanque de sedimentación puede ser reciclado por la etapa de reciclado del fango y/o retirado por la etapa de retirada del fango.

30 La sedimentación (o decantación) del fango que comprende agua y sólidos en el tanque de sedimentación de la etapa de sedimentación causa que el fango forme un "manto de fango" en la parte inferior del tanque de sedimentación. Este manto descansa por encima del suelo del tanque de sedimentación, y se forma de manera natural una interfaz nítida entre el manto y el sobrenadante por encima del manto.

35 La retirada de fango de la etapa de sedimentación por la etapa de reciclado del fango y/o la etapa de retirada del fango induce un flujo convectivo hacia abajo, con una velocidad típicamente en el intervalo de 0,4 m/h a 0,8 m/h, en la parte inferior del tanque de sedimentación. Además, los sólidos del fango se sedimentan de manera natural hacia abajo bajo el impulso de la gravedad, en relación al flujo convectivo, a velocidades típicamente en el intervalo de 0,1 m/h a 0,5 m/h, dependiendo de las características de sedimentación de los sólidos del fango y las condiciones de operación en el momento particular. Debido tanto al flujo convectivo como a la sedimentación natural, la velocidad bruta de los sólidos del fango está típicamente en el intervalo de 0,5 m/h a 1,3 m/h. La distancia que el fango tiene que recorrer puede variar típicamente de 1,0 m a 2 m, dependiendo de las condiciones de operación en el momento particular. Así, los sólidos del fango, que comprenden bacterias, pueden residir en el tanque de sedimentación durante típicamente 1, 2, 3 o 4 horas, dependiendo de los factores descritos anteriormente. Durante este periodo, la esporulación de las bacterias formadoras de esporas continúa, de tal modo que la concentración de endosporas en el fango reciclado y en la corriente de retirada del fango es mayor que en el licor mixto que entra en la etapa de separación. Sin embargo, la cantidad de esporulación que se produce en la etapa de separación es variable, debido al tiempo de retención variable en la etapa de separación de los sólidos del fango, que comprenden endosporas y bacterias formadoras de esporas.

40 En una realización particular, la retirada del fango del tanque de sedimentación (por medio de la etapa de reciclado del fango y/o la etapa de retirada del fango) es controlada de tal modo que las bacterias en el fango son retenidas en el fango durante un tiempo consistente, suficiente para optimizar la esporulación bacteriana. La retirada del fango es controlada alternando la velocidad de retirada del fango de la etapa de sedimentación entre una velocidad alta y una velocidad baja. Cuando la velocidad de retirada del fango está en la velocidad alta, la cantidad de fango retirado temporalmente en una unidad de tiempo establecida del tanque de sedimentación es mayor que la cantidad de fango que llega y se sedimenta durante la etapa de sedimentación en una unidad de tiempo establecida. De manera inversa, cuando la velocidad de retirada del fango está en la velocidad baja, la cantidad de fango retirado temporalmente en una unidad de tiempo es menor que la cantidad de fango que llega y se sedimenta durante la etapa de sedimentación en una unidad de tiempo establecida. Por tanto, alternar entre las dos velocidades de retirada de fango causa que el nivel superior del manto de fango en el tanque de sedimentación fluctúe. El nivel de fluctuación puede ser controlado por una etapa de medida de la profundidad del manto de fango, y comparando esta

con una profundidad deseada, y una etapa de retroalimentación en la que la velocidad de retirada del fango es aumentada o disminuida para llegar a la profundidad deseada. Se debe advertir que la profundidad del manto de fango es función del tiempo que pasa el fango en la etapa de sedimentación.

5 Por ejemplo, para hacer un seguimiento de la profundidad del manto se pueden usar dos sondas de la interfaz del manto de fango colocadas en dos niveles diferentes dentro del tanque de sedimentación, digamos, a alturas de 1,5 m y 1,75 m por encima de la base de la pared (típicamente, la altura total de la pared es 3,0 m a 3,5 m). Cuando la sonda alta detecta la interfaz del manto de fango, la retroalimentación da como resultado que la velocidad de retirada de fango del tanque de sedimentación cambia de una velocidad baja a una velocidad alta. Cuando la sonda más baja detecta la interfaz del manto de fango, la retroalimentación da como resultado que la velocidad de retirada de fango del tanque de sedimentación cambia de una velocidad alta a una velocidad baja. De esta manera, el tiempo de retención de los sólidos del fango puede ser estabilizado a aproximadamente 3 horas, y el grado de esporulación optimizado.

15 La retirada del fango puede ser controlada de tal modo que la velocidad convectiva hacia abajo del fango dentro de la etapa de sedimentación esté típicamente en el intervalo de 0,2 m/h a 1,0 m/h. Además, la velocidad de sedimentación libre de los sólidos en una dirección hacia abajo dentro del fango dentro de la etapa de sedimentación está típicamente en el intervalo de 0,1 m/h a 0,5 m/h, dependiendo de las características de sedimentación del fango y las condiciones de operación. Así, la velocidad hacia abajo total de los sólidos del fango dentro del manto de fango dentro de la etapa de sedimentación puede ser controlada hasta un intervalo típico de 0,3 m/h a 1,5 m/h. El tiempo de retención del fango en el manto de fango dentro de la etapa de sedimentación puede, por lo tanto, ser controlada dentro del intervalo de 1 hora a 3 horas, lo que aumenta el grado de esporulación de las bacterias preferidas.

20 Alternativamente, el fango puede ser retirado de la etapa de sedimentación durante la etapa de reciclado del fango y hecho pasar a través de una etapa de esporulación independiente. Preferiblemente, el fango es retenido en la etapa de esporulación durante 1 hora a 3 horas. El fango pasa preferiblemente a través del tanque de esporulación en flujo de pistón, de tal modo que todo el fango es retenido durante un periodo similar. Las condiciones hidrodinámicas de flujo de pistón pueden ser obtenidas construyendo baffles en el tanque para proporcionar un flujo de serpentina en el plano horizontal o bien en el plano vertical. El tanque de esporulación puede ser aireado, pero la concentración de oxígeno disuelto en el fango que pasa a través del tanque no debe exceder preferiblemente de 0,3 mg/l para obtener la esporulación necesaria.

25 El agua residual sometida a la etapa de aireación ha pasado a través de la etapa de contacto, y el agua residual sometida a la etapa de sedimentación ha pasado a través de la etapa de aireación. Preferiblemente, el agua residual es hecha pasar directamente entre estas etapas, sin embargo, se conciben más etapas intermedias y adicionales. Por ejemplo, cualquier combinación de lo que sigue:-

30 - una etapa de equalización puede preceder a la etapa de contacto, en la que el agua residual es mantenida y liberada a un caudal sustancialmente constante a la etapa de contacto. Cualquiera o más de las etapas de reciclado descritas en la presente memoria también pueden reciclar fango o agua residual a la etapa de equalización.

35 - una etapa de retirada del agua tratada, en donde el sobrenadante formado durante la etapa de sedimentación es retirado;

40 - una etapa de reciclado del agua residual, en donde el flujo de salida del agua residual de la etapa de aireación es reciclado a la etapa de contacto;

- una etapa de reciclado del agua residual adicional, en donde el flujo de salida del agua residual de la etapa de aireación es reciclado a la etapa de aireación;

- una etapa de reciclado del fango adicional, en donde el fango es reciclado a la etapa de aireación;

45 - una etapa de cribado, en donde el agua residual es tamizada a fin de retirar sólidos (p.ej., el agua residual pasa preferiblemente a través de una malla con un calibre menor que aproximadamente 10 mm antes de la etapa de contacto);

- una etapa de retirada de la gravilla, en donde el agua residual pasa a través de un tanque de sedimentación que retira la gravilla y otras partículas que sedimentan fácilmente desde el agua residual;

50 - una etapa de microfiltración, en donde el agua tratada de la etapa de sedimentación pasa a través de uno o más filtros y/o tanques para mejorar adicionalmente la calidad del agua tratada; y/o

- una etapa desinfectante, en donde el agua tratada es desinfectada, por ejemplo, siendo dosificada con cloro o una sustancia desinfectante similar, o irradiando con luz ultravioleta.

Se concibe además que se pueden incorporar en la invención métodos de mejora del rendimiento suplementarios como medio para mejorar el rendimiento global, si bien el rendimiento proporcionado por la invención es suficiente

para la mayoría de las aplicaciones que implican la retirada de agua residual de materia carbonada con y sin la retirada de Nitrógeno Total y/o Fósforo Total. Sin embargo, puede que se necesite mejorar el rendimiento donde se requiera un rendimiento excepcional, y esto se puede hacer añadiendo a la invención etapas de tratamiento adicionales conocidas por el experto en la materia.

5 Por ejemplo, la retirada del agua residual del Nitrógeno Total y/o las formas reducidas de nitrógeno (principalmente nitrógeno amoniacal y/o nitrógeno orgánico) puede ser aumentada incorporando una etapa de aireación suplementaria entre la etapa de aireación (que implica el control de la concentración de OD como se describe previamente) y la etapa de separación, de tal modo que el agua residual fluye desde la etapa de aireación, a través de la etapa de aireación suplementaria hacia la etapa de separación. El propósito de la etapa de aireación suplementaria es aumentar el grado de nitrificación biológica (conversión de las formas reducidas de nitrógeno a nitrógeno de nitrato) y para este propósito la concentración de OD óptima en el agua residual dentro de la etapa de aireación suplementaria sería alrededor de 2 mg/l. Si el objetivo es aumentar más el grado de nitrificación proporcionado por la invención, entonces el reciclado del agua residual se toma de la salida de la etapa de aireación, como se describe previamente en la invención. Si el objetivo es aumentar la retirada de NT proporcionada por la invención, entonces el reciclado del agua residual se puede tomar de la salida de la etapa de aireación suplementaria, de tal modo que el nitrato reciclado en el agua residual puede ser desnitrificado (a nitrógeno molecular) en la etapa de contacto y/o la etapa de aireación. Alternativamente, puede estar situada una etapa de desnitrificación independiente inmediatamente corriente debajo de la etapa de aireación suplementaria para reducir el nitrato en el agua residual a nitrógeno molecular. La etapa de aireación suplementaria y/o cualquier etapa de desnitrificación independiente puede contener estructuras de soporte fijas o suspendidas para las bacterias, para mejorar el rendimiento de estas etapas.

En otro ejemplo, la retirada del agua residual del Fósforo Total puede ser aumentada dosificando productos químicos en las etapas para precipitar la cantidad requerida de fósforo como fosfato insoluble. Tales productos químicos incluyen las sales de hierro y aluminio (usualmente el cloruro o el sulfato). El producto químico puede ser dosificado en la etapa de contacto o la etapa de aireación. El fosfato precipitado deja el sistema de tratamiento que es la invención en la etapa de retirada de fangos, y puede ser tratado y desechado con el fango.

En un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona una unidad para tratar aguas residuales, en donde la unidad comprende:-

- 30 (a) un tanque de contacto, que incluye una superficie de soporte en la que las bacterias son retenidas y que está posicionada para entrar en contacto con el agua residual retenida en el tanque de contacto;
- (b) un tanque de aireación, que incluye medios para hacer pasar gas a través del agua residual retenida dentro del tanque de aireación;
- (c) un conducto provisto entre el tanque de contacto y el tanque de aireación, y a través del cual el agua residual puede pasar desde el tanque de contacto hasta el tanque de aireación;
- 35 (d) un tanque de sedimentación;
- (e) un conducto provisto entre el tanque de aireación y el tanque de sedimentación, y a través del cual el agua residual puede pasar desde el tanque de aireación hasta el tanque de sedimentación;
- (f) un conducto provisto entre el tanque de sedimentación y el tanque de contacto, y a través del cual el sedimento puede pasar desde el tanque de sedimentación hasta el tanque de contacto; y
- 40 (g) un medio de control de la concentración de oxígeno disuelto del agua residual, capaz de mantener la concentración de oxígeno disuelto del agua residual retenida en el tanque de contacto a 1,0 mg/l o menos, y capaz de reducir la concentración de oxígeno disuelto del agua residual mientras pasa a través del tanque o tanques de aireación.

45 En una realización preferida de la presente invención, el procedimiento acorde con el primer aspecto puede ser practicado en la unidad acorde con el segundo aspecto de la presente invención. Así, entre otros, las bacterias, gas y superficie de soporte acordes con el primer y segundo aspectos de la presente invención son preferiblemente los mismos. Además, las condiciones de, entre otros, la concentración de oxígeno disuelto, el tiempo para el paso del agua residual a través de la etapa de contacto y/o aireación, el tiempo para el paso del fango a través de la etapa de sedimentación y los medios de control y retroalimentación para los mismos, como se discute con referencia al primer aspecto de la presente invención, son las mismas que las condiciones en el tanque relevante con respecto al segundo aspecto de la presente invención (es decir, las condiciones en la etapa de contacto son las mismas en el tanque de contacto).

La superficie de soporte puede estar unida al tanque de contacto, preferiblemente dentro del tanque de contacto.

55 Los medios de control de la concentración de oxígeno disuelto del agua residual comprenden preferiblemente medios de medición de la concentración de oxígeno disuelto y medios de control del suministro de oxígeno. Los

medios de medición de la concentración de oxígeno disuelto pueden ser cualquier dispositivo conocido por el experto en la materia capaz de medir la concentración de oxígeno disuelto del agua residual y comparar ésta con los niveles deseados. Los medios de medición se proporcionan en asociación con los tanques de contacto y/o aireación a fin de que puedan muestrear y medir el agua residual retenida en los mismos. Los medios de control del suministro de oxígeno pueden ser, por ejemplo, una estructura que es repetidamente retirada y después retornada al agua residual (preferiblemente en un movimiento rotacional). Se discuten ejemplos particularmente preferidos de tal estructura anteriormente en esta solicitud, con referencia a discos provistos sobre un eje rotatorio. Alternativamente, o además, los medios de control del suministro de oxígeno pueden ser una tubería perforada sumergida en el agua residual, en la que se burbujea oxígeno. Los medios de control de la concentración de oxígeno disuelto del agua residual pueden comprender además una conexión funcional entre los medios de medición y los medios de control del suministro, en donde la cantidad de oxígeno suministrado por los medios de control del suministro es determinada por la variación de la concentración de oxígeno disuelto del agua residual desde la concentración de oxígeno disuelto requerida, determinada por los medios de medición. El control del suministro de oxígeno también puede ser fijado ajustando el número de dispositivos de aireación operacionales provistos en un área dada del (de los) tanque(s) de aireación.

Alternativamente, o además, se pueden usar medios para medir el potencial redox en lugar de, o en asociación con, los medios de medición de la concentración de oxígeno disuelto para controlar el suministro de oxígeno.

Los medios para hacer pasar gas a través del agua residual pueden ser obtenidos de diversas maneras. Por ejemplo, el tanque de aireación podría incluir una tubería que incluya varios orificios a lo largo de su longitud, a través de los cuales pueda pasar el gas desde dentro de la tubería, o puede ser incluida una rejilla en una parte del suelo del tanque de aireación, a través de la cual se libere gas al tanque de aireación. Los medios para hacer pasar gas también pueden funcionar como medios de control del suministro de oxígeno.

La unidad de la presente invención puede incluir más que un tanque de contacto, tanque de aireación y/o tanque de sedimentación. En una realización preferida, la presente invención comprende más que un tanque de aireación, lo más preferiblemente cuatro tanques de aireación. Cuando se usan tanques de aireación múltiples, estos pueden ser dispuestos en serie, de tal modo que el agua residual tratada en la unidad pase a través de todos los tanques de aireación. Tal disposición permite que la concentración de oxígeno en cualquier tanque particular sea controlada para no ser mayor que la del tanque de aireación precedente. En una realización particularmente preferida, los medios de control de la concentración de oxígeno disuelto del agua residual se ajustan para controlar la concentración de oxígeno disuelto en el primer tanque de aireación a una concentración más alta que en el último tanque de aireación en la serie. El tanque de aireación puede no ser aireado, y puede ser mezclado mecánicamente para mantener las bacterias en suspensión.

Preferiblemente, el conducto provisto entre el tanque de sedimentación y el tanque de contacto hace pasar el fango directamente desde el tanque de sedimentación hasta el tanque de contacto.

Preferiblemente, está provisto un conducto entre el tanque de aireación y el tanque de contacto, y hace pasar el agua residual directamente desde el tanque de aireación hasta el tanque de contacto.

Los conductos de la presente invención son preferiblemente tuberías. Cuando un tanque está provisto en una posición más alta en relación al siguiente tanque en la unidad, el líquido fluirá bajo la gravedad desde el primer hasta el segundo tanque. Por lo tanto, en una realización preferida, dos o más tanques adyacentes están dispuestos en una posición de altura unos en relación de otros para permitir la dirección requerida de flujo del agua residual, fango o agua tratada. Por consiguiente, se prefiere que: (i) el tanque de contacto esté provisto en una posición más alta en relación al tanque de aireación; y/o (ii) el tanque de aireación esté provisto en una posición más alta en relación al tanque de sedimentación. Alternativamente, o adicionalmente, se pueden incluir medios de bombeo en la unidad que dirijan o impulsen el agua residual entre los tanques.

En una realización de la presente invención, el tanque de sedimentación puede incluir sondas para el manto de fango. Al menos pueden estar provistas dos sondas para el manto de fango en el tanque de sedimentación, y desplazadas dentro del tanque a una altura diferente unas en relación de otras desde la base del tanque (p.ej., una 1,5 m desde la base del tanque, la otra 1,75 m desde la base del tanque).

Preferiblemente, cuando la más alta de las sondas detecta el manto del fango, la retroalimentación da como resultado que la velocidad de retirada del fango del tanque de sedimentación cambia de la velocidad baja a la velocidad alta. Cuando la más baja de las sondas detecta sobrenadante (que contiene pocos sólidos suspendidos comparativamente), la retroalimentación da como resultado que la velocidad de retirada del fango del tanque de sedimentación cambia de la velocidad alta a la velocidad baja.

A fin de facilitar la sedimentación en el tanque de sedimentación, el tanque preferiblemente no incluye ningún medio para hacer pasar gas. El tanque de sedimentación puede incluir medios para la retirada de agua tratada; preferiblemente, tales medios comprenden un dique, sobre el cual el sobrenadante que comprende agua tratada presente en el tanque de sedimentación puede fluir.

La unidad puede comprender además un conducto para la retirada del fango que permite que el fango en el tanque

de sedimentación sea retirado a través del mismo. El conducto de retirada del fango puede estar conectado a un tanque de almacenamiento de fangos, o dotado de una salida fuera de la unidad. Así, el fango del tanque de sedimentación puede ser reciclado a través de un conducto provisto entre el tanque de sedimentación y el tanque de contacto, y/o retirado a través del conducto de retirada del fango.

- 5 El agua residual que pasa al tanque de aireación ha pasado a través del tanque de contacto, y el agua residual que pasa al tanque de sedimentación ha pasado a través del tanque de aireación. Preferiblemente, el agua residual se hace pasar directamente entre estos tanques, sin embargo, se conciben más tanques intermedios y adicionales. Por ejemplo:-
- 10 - un tanque de ecualización puede preceder a la etapa de contacto, en el que el agua residual es mantenida y liberada a un caudal sustancialmente constante hacia el tanque de contacto. Pueden estar provistos conductos para permitir que una o más de las etapas de reciclado descritas en la presente memoria reciclen el fango o el agua residual hacia el tanque de ecualización.
- un conducto provisto entre el tanque de aireación y el tanque de contacto, a través del cual el agua residual que fluye desde el tanque de aireación pasa al tanque de contacto;
- 15 - un conducto provisto entre el tanque de sedimentación y el tanque de aireación, a través del cual el fango recogido en el tanque de sedimentación pasa al tanque de aireación;
- una malla de calibre grande provista a través del flujo de agua residual antes del tanque de contacto; y/o
- una membrana de microfiltración provista a través del flujo de agua tratada desde el tanque de sedimentación.
- 20 En una realización preferida de la presente invención, el procedimiento acorde con el primer aspecto de la presente invención se lleva a cabo en la unidad acorde con el segundo aspecto.
- En un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un procedimiento descrito anteriormente en la presente memoria y con referencia a los dibujos.
- 25 En aún otro aspecto adicional de la presente invención, se proporciona una unidad descrita anteriormente en la presente memoria y con referencia a los dibujos.
- La presente invención será descrita ahora, a modo de ejemplo, con referencia a las figuras acompañantes, en las que:-
- La Figura 1 muestra un diagrama de flujo de una planta de tratamiento de aguas residuales según la presente invención;
- 30 La Figura 2 muestra el rendimiento en DBO de la planta de tratamiento;
- La Figura 3 muestra el rendimiento en nitrógeno total de la planta de tratamiento; y
- La Figura 4 muestra el rendimiento en fósforo total de la planta de tratamiento.

### Ejemplos

#### 1. Descripción de los experimentos

- 35 La invención ha sido ensayada por el equipo de ingeniería de los autores de la invención construyendo una planta de tratamiento de aguas residuales en un matadero. El matadero tenía una planta de tratamiento de aguas residuales anterior basada en el procedimiento de fangos activados convencional (véase el procedimiento de tratamiento biológico convencional descrito en el preámbulo de este documento), pero la planta se sobrecargó y no pudo producir un efluente satisfactorio. Se incorporaron diversos tanques de la planta anterior, incluyendo los
- 40 tanques de aireación, en la nueva planta.

Lo que sigue describe la nueva planta y el rendimiento obtenido en un estudio. El rendimiento obtenido fue excepcional, demostrando la alta eficacia del tratamiento descrito por esta invención.

#### 1.1. Requisitos de diseño

- 45 La Tabla 1 a continuación da los valores del caudal de agua residual y cargas de contaminación usados en el diseño de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales para el matadero. Los valores del flujo y las cargas se determinaron a partir de mediciones hechas en el lugar. Las concentraciones dadas en la columna de la derecha de la tabla son valores calculados, determinados dividiendo las cargas máximas por el caudal medio diario máximo.

Tabla 1: Criterios de diseño para planta de tratamiento de aguas residuales de matadero

Parámetro	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /día)	Carga media diaria máxima (kg/día)	Concentración máxima (mg/l)
Caudal medio diario	900	-	-
Caudal medio horario	1.300	-	-
<sup>s</sup> DBO <sub>5</sub>	-	1.700	1.885
Sólidos suspendidos (SS)	-	1.670	1.854
Nitrógeno Total (NT)	-	219	243
Fósforo Total (FT)	-	32	35

Nota: <sup>s</sup>DBO<sub>5</sub> denota la DBO a los 5 días con unidad de tratamiento aeróbico suprimida.

5 Los cuatro parámetros de carga/concentración en la Tabla 1 son descriptores clave de la contaminación, como se describe previamente en la descripción de esta invención.

Como medio para caracterizar el agua residual del matadero, la Tabla 2 compara las propiedades del agua residual con las de agua residual doméstica. La comparación muestra que el agua residual del matadero es varias veces más concentrada que el agua residual doméstica, pero contiene proporcionalmente menos nitrógeno (NT) y fósforo (FT).

10 Tabla 2: Caracterización de agua residual de matadero

Características	Unidad	Agua residual de matadero	Agua residual doméstica
DBO <sub>5</sub>	mg/l	1.885	200 a 400
DBO/NT	adimensional	7,7	5,0 a 6,0
DBO/FT	adimensional	54	20 a 30

15 La Tabla 3 define el estándar de calidad para el efluente tratado, dando la concentración máxima para cada parámetro. La tabla da también los porcentajes de retirada requeridos para los diversos parámetros calculados a partir de sus concentraciones en el agua residual (Tabla 1) y en el efluente tratado (Tabla 3). Los criterios en la Tabla 3 indican un estándar estricto, que requiere un alto nivel de tratamiento para obtener el cumplimiento.

Tabla 3: Criterios requeridos para el estándar de calidad del efluente tratado

Parámetro	Concentración máxima en las muestras del efluente tratado (mg/l)	Retirada (%)
DBO <sub>5</sub>	20	98,9
NT	20	91,7
FT	5	85,6

### 1.2 Configuración de la planta de tratamiento

20 La Figura 1 es un diagrama en planta de la planta de tratamiento. La planta comprende cribas (no mostradas), un tanque de ecuilización, tres tanques de contacto (que contienen cada uno un contactor), un tanque de aireación separado eficazmente en tres zonas en serie, y una etapa de sedimentación que comprende un tanque de sedimentación. El fango sobrante producido por los trabajos de tratamiento es espesado en un espesador de gravedad (no mostrado) y después deshidratado hasta una pasta usando una centrífuga (no mostrado) antes de su desecho en un vertedero. El cribado del agua residual y el espesamiento y deshidratación del fango son tecnologías que son familiares para el experto en la materia.

25

## 1.2.1 Criterios de diseño

- 5 El tanque de equalización tiene un volumen de  $878 \text{ m}^3$ , que es equivalente a un tiempo de retención de aproximadamente 24 horas en el valor de diseño del caudal medio diario máximo. El propósito del tanque de equalización es amortiguar el flujo de agua residual desde el matadero de tal modo que la planta de tratamiento reciba agua residual continuamente y aproximadamente a una velocidad constante a lo largo del día y (tanto como sea posible) día a día. El agua residual en el tanque es mezclada para impedir la sedimentación de sólidos del agua residual sobre el suelo del tanque.
- 10 La etapa de contacto comprende tres contactores rotatorios que, en esta aplicación, fueron instalados en tres tanques de contacto independientes. En general, se pueden instalar varios contactores en un solo tanque. Cada contactor en la aplicación en consideración tiene una capacidad de retirar un máximo de  $300 \text{ kg de DBO}_5/\text{día}$ . Además, la etapa de contacto se diseñó para retirar el 50% de la carga de  $\text{DBO}_5$  en el agua residual, manejando el tanque de aireación el resto de la carga. La instalación de tres contactores dio un pequeño factor de seguridad de 6%.
- 15 Cada contactor rotatorio comprende un eje que soporta treinta discos fabricados a partir del tipo de malla descrito previamente, teniendo la malla una porosidad de aproximadamente 94%. Los discos son de aproximadamente 2 m de diámetro por 50 mm de grosor y tienen una separación longitudinal de centro a centro de 100 mm. Las dimensiones de cada tanque de contacto son aproximadamente 4,5 m por 2,5 m en planta por aproximadamente 2,5 m de alto.
- 20 Originalmente parte de la planta de tratamiento antigua, el tanque de aireación tiene una capacidad total de  $990 \text{ m}^3$ , dando un tiempo de retención de 26,4 horas en el valor de diseño del caudal del agua residual medio diario. El tanque de aireación está separado eficazmente en tres zonas en serie de tamaño similar. Las tres zonas están aireadas y la última zona es adicionalmente mezclada mecánicamente para mantener la suspensión de las bacterias en el licor mixto. Las tecnologías de aireación y mezcla son convencionales, y serían familiares para el experto en la materia.
- 25 El tanque de sedimentación tiene un diámetro de 11 m, dando una velocidad hacia arriba de 0,57 m/h en el valor de diseño del caudal de agua residual medio horario máximo. El tanque diseñado convencionalmente tiene una profundidad de pared de 3,5 m y está dotado de un raspador mecánico.
- 30 Como se muestra en la Figura 1, la planta de tratamiento tiene cuatro corrientes de reciclado que se llaman: Fango reciclado "A", Fango reciclado "B", Licor mixto reciclado "A" y Licor mixto reciclado "B". El caudal total de las dos corrientes de fango reciclado y las dos corrientes de licor mixto reciclado es  $1.300 \text{ m}^3/\text{día}$ , dando un caudal de reciclado total de  $2.600 \text{ m}^3/\text{día}$ . Una parte o todo de las dos corrientes de reciclado "A" puede ser dirigida al tanque de equalización o a la cámara inmediatamente corriente abajo del tanque de equalización. Dirigir algo del reciclado hacia el tanque de equalización tiene la ventaja de eliminar el olor producido por el agua residual en este tanque, pero no tiene efecto perjudicial sobre la eficacia del tratamiento. Los valores operacionales de los cuatro caudales de reciclado se dan en la siguiente sección.
- 35

## 1.2.2 Criterios operacionales

- 40 La Tabla 4 resume los principales criterios operacionales para la planta de tratamiento. Esta planta de tratamiento particular no tiene control automático de las concentraciones de OD en las zonas del tanque de aireación y en los tanques de contacto. En lugar de eso, el suministro de aire a las zonas del tanque de aireación se ajusta manualmente de vez en cuando con el objetivo de mantener las concentraciones de OD dentro de los intervalos especificados en la tabla. De manera similar, las concentraciones de OD en los tanques de contacto son controladas ajustando las velocidades de los rotores.

Las concentraciones de los sólidos suspendidos del licor mixto dadas en la tabla son controladas regulando el caudal del fango sobrante, que es el método usado convencionalmente en las plantas de fangos activados.

Tabla 4: Criterios operacionales

<b>Criterio operacional</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Concentración de OD en los tanques de contacto	mg/l	0,5 a 1,5
Concentración de OD en la Zona 1 del tanque de aireación	mg/l	0,5 a 1,0
Concentración de OD en la Zona 2 del tanque de aireación	mg/l	0,2 a 0,5
Concentración de OD en la Zona 3 del tanque de aireación	mg/l	0 a 0,1
Caudal del fango reciclado "A"	m <sup>3</sup> /día	650
Caudal del fango reciclado "B"	m <sup>3</sup> /día	650
Caudal del licor mixto reciclado "A"	m <sup>3</sup> /día	650
Caudal del licor mixto reciclado "B"	m <sup>3</sup> /día	650
Concentración de SS del licor mixto en los tanques de contacto	mg/l	4.375
Concentración de SS del licor mixto en el tanque de aireación	mg/l	5.500

### 1.3 Rendimiento de la planta

- 5 Se emprendió un estudio del rendimiento de la planta de tratamiento a lo largo de un periodo de dos meses para medir las retiradas de los descriptores de contaminación claves. En todo el periodo del estudio, la planta estuvo funcionando a plena carga, tanto hidráulicamente como orgánicamente. Los resultados del estudio se dan en las Figuras 2 a 4. Cada punto en estas figuras es una media para la semana relevante, determinada promediando varios resultados individuales que se refieren a diferentes días durante la semana particular.
- 10 Unos días antes del inicio del estudio, el funcionamiento de la planta fue mejorado ajustando los valores de las concentraciones de OD (ajustando las posiciones de las válvulas de control de la aireación) en los tanques de contacto y en las zonas de aireación, y aumentando la frecuencia de su ajuste manual. Como se puede ver a partir de los resultados, esto condujo a una tendencia en la que el rendimiento de la planta mejoró a lo largo de la duración del estudio.
- 15 La Figura 2 muestra los valores de DQO (medidos usando el método del dicromato) y los valores de DBO del efluente tratado. Las mediciones de la DQO tienen valores bajos, en comparación con los valores obtenidos de trabajos de tratamiento de aguas residuales que tratan tales aguas residuales fuertes, y muestran la tendencia de aumentar la mejora del rendimiento. Por conveniencia, los valores de DBO<sub>5</sub> (por los cuales el procedimiento analítico se alarga) fueron estimados a partir de los valores de DQO medidos usando la siguiente fórmula predeterminada:
- $$\text{DBO}_5 = (\text{DQO} - 33)/3,0.$$
- 20 En base a esto, la DBO<sub>5</sub> del efluente tratado fue generalmente menos que 10 mg/l y, en la última parte del estudio (cuando tuvo efecto el funcionamiento mejorado) fue de media sólo 7 mg/l. La retirada de DBO<sub>5</sub> del agua residual fue mayor que 99%, demostrando un rendimiento muy alto.
- 25 La Figura 3 muestra que, durante la última parte del estudio, la planta de tratamiento redujo la concentración de NT del agua residual de alrededor de 300 mg/l a a menos que 10 mg/l, dando retiradas más altas que 95%. La Figura 4 muestra que las concentraciones de FT del efluente tratado fueron generalmente menos que 3 mg/l, dando retiradas mayores que 85%.
- El rendimiento obtenido de la planta de tratamiento fue excepcionalmente alto, particularmente durante la última parte del estudio, demostrando la alta eficacia del tratamiento descrito en esta invención.
- 30 Un experto en la materia podría diseñar una planta de fangos activados convencional para tratar el agua residual de matadero a un estándar similar, aunque es improbable que tal planta (sin la ayuda de tratamiento terciario) pueda producir un efluente tratado con una calidad tan alta como la obtenida de la planta descrita anteriormente.
- 35 Un diseño de planta de fangos activados para retirar material carbonado y nutrientes (NT y FT) del agua residual de matadero requeriría una serie de reactores biológicos y un tanque de sedimentación. Los reactores biológicos comprenderían un reactor anaeróbico (funcionando sin aireación), un reactor anóxico (funcionando sin o con poca aireación) y un reactor aeróbico (funcionando generalmente a concentraciones de OD de 2 mg/l o mayores). El experto en la materia determinaría que el volumen combinado requerido de los tres tipos de reactores en la planta de fangos activados sería al menos tres veces mayor que el volumen del tanque de aireación usado en la planta de

tratamiento descrita anteriormente.

5 Así, en comparación con una planta de fangos activados convencional, es probable que la planta de tratamiento descrita anteriormente dé un rendimiento superior, a la vez que requiera reactores mucho más pequeños. La alta eficacia del tratamiento global es debida a la presencia de la etapa de contacto en combinación con las condiciones de operación que promueven el crecimiento, supervivencia y reciclado de endosporas y bacterias formadoras de endosporas en la etapa de contacto y en la etapa de aireación descritas en esta invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para tratar aguas residuales, que comprende:
  - (a) una etapa de contacto, en donde el agua residual contacta con bacterias retenidas en la superficie de un soporte y la concentración de oxígeno disuelto del agua residual es mantenida a 1,0 mg/l o menos;
  - 5 (b) una etapa de aireación, en donde se hace pasar gas a través del agua residual que ha pasado a través de la etapa de contacto, y la concentración de oxígeno disuelto del agua residual es reducida según pasa el agua residual a través de la etapa de aireación;
  - (c) una etapa de sedimentación, en donde el agua residual que ha pasado a través de la etapa de aireación es sustancialmente separada en agua tratada y fango; y
  - 10 (d) una etapa de reciclado del fango, en donde al menos una porción del fango de la etapa de sedimentación se hace pasar a la etapa de contacto.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en donde la concentración de oxígeno disuelto del agua residual en la etapa de contacto es mantenida en un intervalo de:
  - (a) de 0,2 a 1,0 mg/l, o;
  - 15 (b) de 0,5 a 1,0 mg/l.
3. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la concentración de oxígeno disuelto del agua residual hacia el comienzo de la etapa de aireación está en el intervalo de 0,5 a 1,0 mg/l, y/o en donde la concentración de oxígeno disuelto del agua residual hacia el final de la etapa de aireación está en el intervalo de 0 a 0,3 mg/l.
- 20 4. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el agua residual tarda al menos 4 horas en pasar a través de la etapa de aireación.
5. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la concentración de oxígeno disuelto del agua residual se reduce continuamente según pasa a través de la etapa de aireación, siendo la reducción continua mantenida mediante el control del suministro de oxígeno al agua residual, en donde el control del suministro de oxígeno comprende una etapa de seguimiento en la que la concentración de oxígeno disuelto del agua residual se mide y compara frente a la concentración deseada, y una etapa de retroalimentación en la que los medios para suministrar el oxígeno al agua residual son controlados a fin de aumentar o disminuir el suministro de oxígeno al agua residual para llegar a la concentración de oxígeno disuelto deseada del agua residual.
- 25 6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el agua residual es mantenida en las concentraciones de oxígeno disuelto citadas mediante el control del suministro de oxígeno al agua residual.
7. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el suministro de oxígeno al agua residual es variado a fin de mantener el agua residual en las concentraciones de oxígeno disuelto citadas.
8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la bacteria es una bacteria formadora de esporas.
- 35 9. Un procedimiento según la reivindicación 8, en donde la bacteria es de los géneros *Bacillus* y/o *Clostridium*, preferiblemente en donde la bacteria es *B. subtilis*, *B. vallismortis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis* y *B. megaterium*, o cualquier combinación de las mismas.
10. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde las bacterias son:-
  - (a) mutantes o variantes de cualquiera de las bacterias citadas anteriormente que son capaces de formar esporas y de romper moléculas que comprenden nitrógeno, carbono, azufre, cloro y/o fósforo, y/o;
  - (b) poblaciones de especies mixtas, predominando las bacterias citadas en cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12.
- 40 11. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el fango:-
  - (a) forma un manto en el tanque de sedimentación, y la profundidad del manto es mantenida a 1 m o más;
  - 45 (b) forma un manto en el tanque de sedimentación, y el fango retenido dentro del manto aclara el tanque de sedimentación con una velocidad hacia abajo de 0,3-1,5 m/h, y/o;
  - (c) es retenido en el tanque de sedimentación durante 1 hora o más.

12. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la superficie del soporte:-
- (a) es una estructura reticulada con un espacio vacío que constituye más que 95% del volumen total de la superficie reticulada, y/o;
  - 5 (b) comprende uno cualquiera o más de los siguientes polímeros sintéticos:- polipropileno, poliéster, poliuretano, poliéter-poliuretano, poli(cloruro de vinilo), poli(cloruro de vinilideno) y poli(fluoruro de vinilideno), o cualquier combinación de los mismos.
13. Una unidad para tratar aguas residuales, en donde la unidad comprende:-
- (a) un tanque de contacto, que incluye una superficie de soporte sobre la que están retenidas bacterias y que está posicionada para entrar en contacto con el agua residual retenida en el tanque de contacto;
  - 10 (b) un tanque de aireación, que incluye medios para hacer pasar gas a través del agua residual retenida dentro del tanque de aireación;
  - (c) un conducto provisto entre el tanque de contacto y el tanque de aireación, y a través del cual el agua residual puede pasar desde el tanque de contacto hasta el tanque de aireación;
  - (d) un tanque de sedimentación;
  - 15 (e) un conducto provisto entre el tanque de aireación y el tanque de sedimentación, y a través del cual el agua residual puede pasar desde el tanque de aireación hasta el tanque de sedimentación;
  - (f) un conducto provisto entre el tanque de sedimentación y el tanque de contacto, y a través del cual el sedimento puede pasar desde el tanque de sedimentación hasta el tanque de contacto; y
  - 20 (g) un medio de control de la concentración de oxígeno disuelto del agua residual capaz de mantener la concentración disuelta del agua residual retenida en el tanque de contacto a 1,0 mg/l o menos, y capaz de reducir la concentración de oxígeno disuelto del agua residual mientras pasa a través del tanque o tanques de aireación.

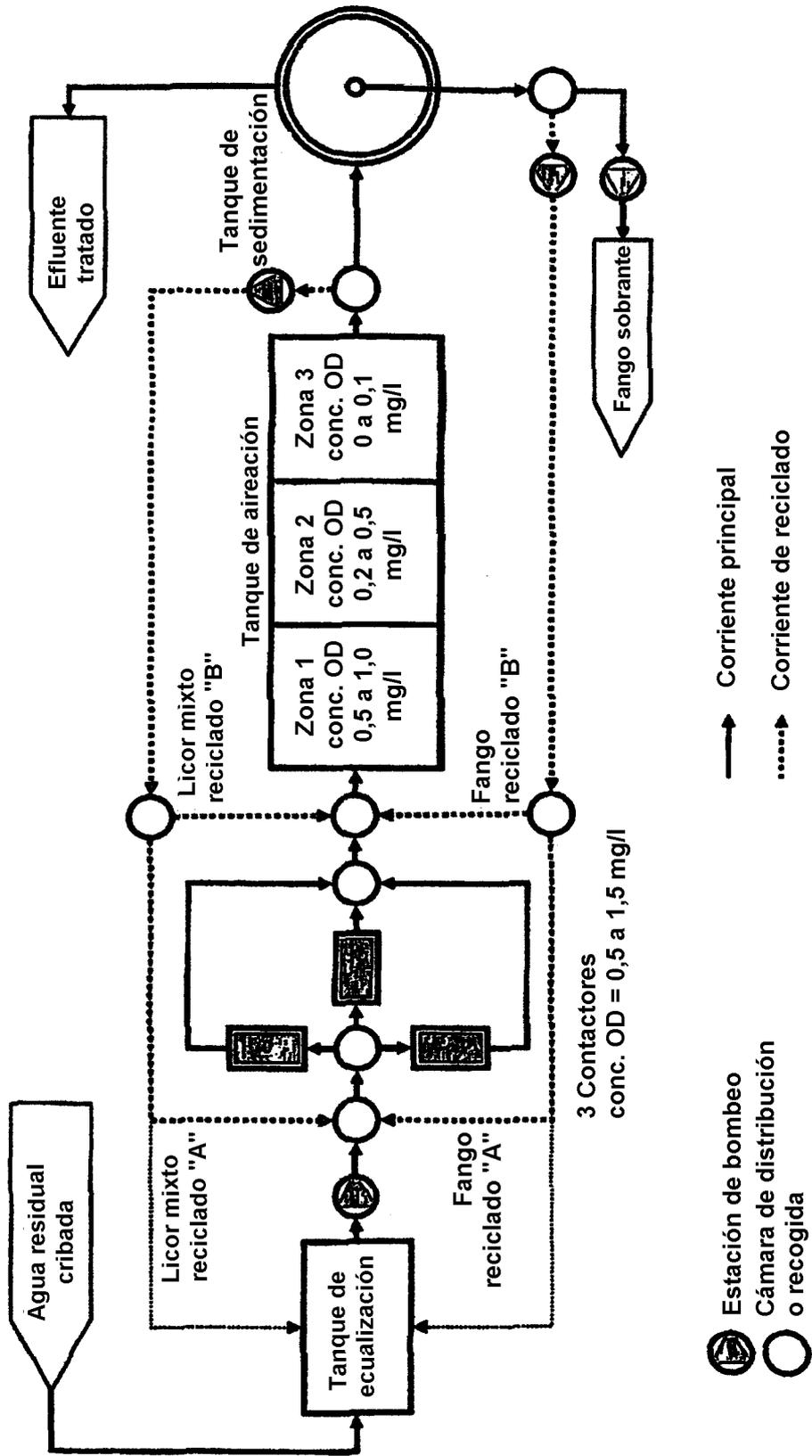


Figura 1

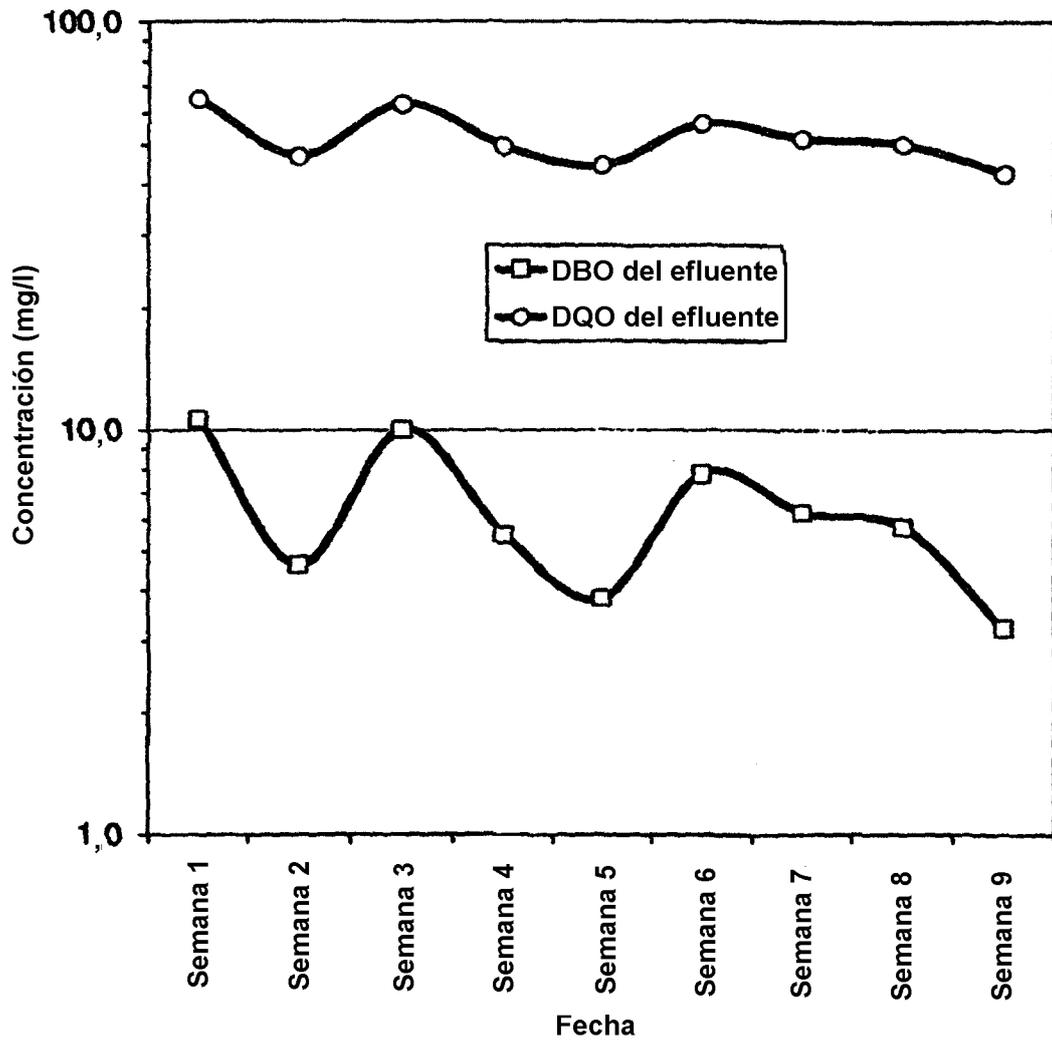


Figura 2

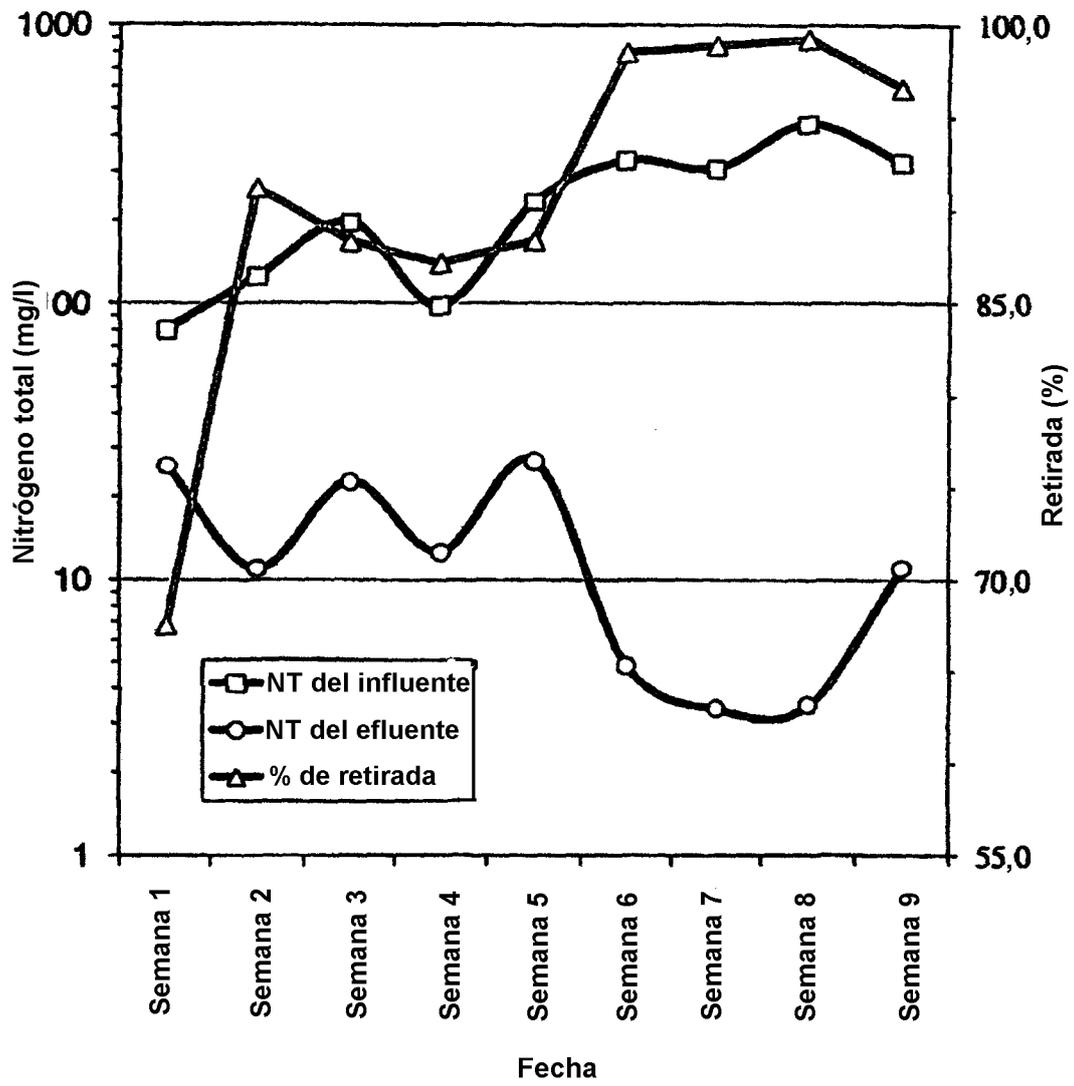


Figura 3

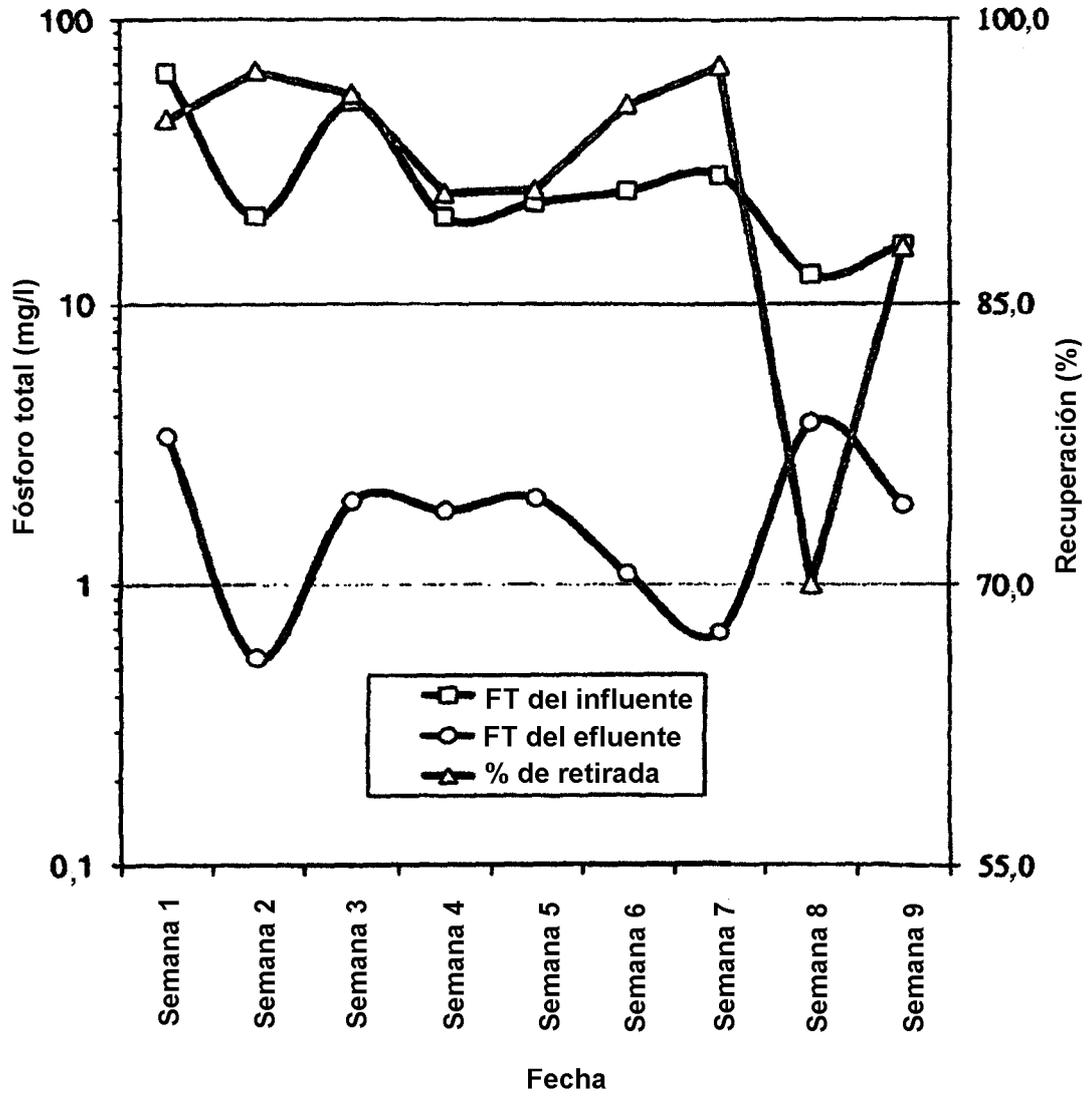


Figura 4