

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

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



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

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2010/064195 A2

- (51) **Clasificación Internacional de Patentes:** Sin clasificar
- (21) **Número de la solicitud internacional:**
PCT/IB2009/055447
- (22) **Fecha de presentación internacional:**
1 de diciembre de 2009 (01.12.2009)
- (25) **Idioma de presentación:** español
- (26) **Idioma de publicación:** español
- (30) **Datos relativos a la prioridad:**
8 128172
2 de diciembre de 2008 (02.12.2008) CO
- (71) **Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):** UNIVERSIDAD DEL VALLE [CO/CO]; Calle 13 # 100-00, Santiago de Cali, 760032 (CO).
- (72) **Inventor; e**
- (75) **Inventor/Solicitante (para US solamente):** PEÑA VARON, Miguel Ricardo [CO/CO]; Calle 13 # 100-00, Santiago De Cali, 760032 (CO).
- (74) **Mandatario:** FIGUEROA CARDOZO, Felipe Eduardo; CL 30A # 3-26 San Diego III Apto 307, Bogota, 110311 (CO).
- (81) **Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE,

DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible):**
ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declaraciones según la Regla 4.17:

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

Publicada:

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

(54) **Title:** HIGH-RATE ANAEROBIC POOL BIOREACTOR

(54) **Título :** BIO-REACTOR DE LAGUNAS ANAERÓBICAS DE ALTA TASA

(57) **Abstract:** The present application relates to a high-rate anaerobic pool bioreactor ("BLAAT") as an improved processing unit for treating biodegradable wastewater, which allows the conversion of a low-performance rate traditional system, such as the anaerobic pool, into an efficient, compact system that enables clean energy to be recovered in the form of biogas. The application also describes a process for the anaerobic treatment of wastewater that uses said bioreactor, which optimizes the processes of mixing and contact between the biomass and the substrate and presents a novel process for separating out the biomass by means of improved sedimentation in horizontal laminar flow.

(57) **Resumen:** La presente solicitud hace referencia a un bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa (BLAAT) como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables, que permite convertir un sistema tradicional de baja tasa como la laguna anaeróbica a un sistema compacto y eficiente que permite recuperar energía limpia en forma de biogás. Asimismo, la solicitud describe un proceso para el tratamiento anaeróbico de aguas residuales que emplea dicho bio-reactor, el cual optimiza los procesos de mezcla y contacto entre la biomasa y el sustrato y presenta un nuevo proceso de separación de la biomasa por medio de una sedimentación mejorada en flujo laminar horizontal.



WO 2010/064195 A2

Description

Title of Invention: BIO-REACTOR DE LAGUNAS ANAERÓBICAS DE ALTA TASA

Technical Field

Technical Field

[1] CAMPO DE LA INVENCIÓN

[2] La presente invención está relacionada con un bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa (BBLAAT) como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables, cuenta con cuatro componentes principales que caracterizan su diseño, construcción y funcionamiento; de igual manera se relaciona un proceso de tratamiento anaeróbico de aguas residuales que emplea dicho bio-reactor.

[3] ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

[4] En los últimos años se han desarrollado un número considerable de sistemas de tratamiento para la purificación de aguas residuales. La mayoría de estos sistemas requieren de equipos sofisticados y costosos para garantizar que el procedimiento funcione satisfactoriamente.

[5] De otra parte, el impacto de los desechos orgánicos arrojados a una corriente de agua pueden ser medidos a través del oxígeno disuelto, nitrógeno-amoníaco, demanda química y biológica de oxígeno (DQO y DBO, respectivamente). En el tratamiento aeróbico de las aguas residuales, es decir, el tratamiento en el cual se incrementa fuertemente el aporte de oxígeno por riego de superficies sólidas, por agitación o agitación y aireación de manera simultánea, la finalidad es que el crecimiento de los microorganismos que van a degradar la materia orgánica contenida en el agua de desecho y su actividad crezcan proporcionalmente a la tasa de aireación. La digestión aeróbica es un proceso bacteriano en el cual las bacterias consumen la materia orgánica y la convierten en dióxido de carbono en presencia de oxígeno. Una vez que hay carencia de materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias, la reducción de los sólidos también ocurre en esta fase y debido a que la digestión aeróbica ocurre mucho más rápidamente, los costos de capital de este proceso pueden ser más bajos dependiendo de la escala del proyecto. Sin embargo, los gastos de explotación son mucho mayores para la digestión aeróbica debido a los costos energéticos necesarios para agregar oxígeno al proceso.

[6] De otro lado, el tratamiento anaeróbico es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia del oxígeno. La digestión anaeróbica genera biogás el cual contiene una proporción elevada de metano que se puede utilizar como combustible. La generación de este combustible es una ventaja dominante del proceso anaeróbico. Su desventaja es

el tiempo requerido para el proceso, que en algunas ocasiones puede llegar hasta varios días, sin embargo, los costos de capital pueden ser más bajos que los del tratamiento aeróbico.

- [7] Cuando las aguas residuales con una carga orgánica razonablemente alta son mantenidas en una laguna durante varios días, un sedimento anaeróbico se acumula en la base de la laguna. En una laguna no cubierta la actividad de digestión anaeróbica se realiza en la base o fondo de la laguna mientras que la actividad próxima de la superficie tiende a ser facultativa aeróbica. Estas lagunas pueden ser cerradas al aire con una cubierta flotante para mejorar la actividad de digestión anaeróbica por la exclusión de aire, permitir la colecta del biogás combustible y reducir el efecto del olor proveniente de la actividad anaeróbica. Generalmente estas lagunas puede tomar aguas residuales con valores de DOB_5 entre 400 a 5000 g/m³ con un tiempo de retención entre 4 y 7 días. El proceso anaeróbico es mayormente autopropulsado y la única acción mecánica inicial requerida es abastecer a la laguna con aguas residuales y forzar su salida hacia un desagüe por rebose.
- [8] En el documento US 4209388 se describe un método de tratamiento de aguas residuales que incluye una primera etapa en la cual el cuerpo de agua residual es introducido a un estanque provisto de un suministro de aire que contiene algas para la descomposición de la materia orgánica, seguidamente el agua residual es trasladada a un segundo estanque donde no existen nutrientes ni luz solar, como consecuencia de lo anterior el alga muere y se sedimenta. El agua residual es posteriormente transferida a un tercer estanque para separar el agua del alga sedimentada.
- [9] En el documento US 4267038 se presenta un sistema de purificación de aguas residuales en el cual se incluye el paso de eliminación de sólidos como lodo, la digestión de dicho lodo y el posterior remezclado con el agua residual, seguidamente se aplica una etapa anaeróbica en la cual se realiza una oxidación bacteriana de los desechos orgánicos, los pasos siguientes son la estabilización de nutrientes, nitrificación, desnitrificación y reaireación y posteriormente, la transferencia de las aguas residuales de los tanques anaeróbicos a uno o más tanques que contienen algas y bacterias aeróbicas. El agua residual tratada es enviada a múltiples tanques incluyendo el reciclaje de la corriente a los tanques aeróbicos o anaeróbicos indicados anteriormente concomitantemente con la separación de las algas utilizadas.
- [10] La patente norteamericana US 5447850 presenta un método para obtener metano a partir del tratamiento de aguas residuales. El método incluye el uso de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos los cuales son inoculados en el agua residual, la corriente es fermentada con dichos organismos y el metano producido es retirado de manera conveniente.
- [11] La patente americana US 5744041 revela un método para reducir la DBO_5 en un

material de desecho que incluye una alta concentración de desechos orgánicos. El método incluye los pasos de obtener dos fracciones del agua residual en una fracción líquida que incluye agua y materia orgánica de desecho, seguidamente una porción de dicha materia orgánica de desecho es digerida anaeróbicamente por microorganismos presentes en el desecho. Posteriormente, se remueve una porción de la fracción líquida que presenta una DBO_5 reducida en relación a la DBO_5 del material de desecho; dicha porción que ha sido removida luego se mezcla con microorganismos aeróbicos y se le inyecta aire y se permite que una porción del material de desecho que ha sido digerido por los microorganismos aeróbicos forme un licor que incluye agua y sólidos suspendidos. Seguidamente, una porción de los sólidos suspendidos son sedimentados con lo cual se permite la formación de un licor clarificado que tiene una DBO_5 reducida respecto a la DBO_5 del licor. El licor clarificado es sometido a un tratamiento bacteriano para obtener un permeado que presenta una DBO_5 reducida respecto al líquido clarificado. Como etapa final por lo menos una porción del permeado es descargado o reutilizado.

- [12] Pese a la existencia de las anterioridades previamente descritas, aun persiste la necesidad de suministrar un reactor y un proceso para llevar cabo un tratamiento anaeróbico de aguas residuales que suministre una solución eficiente en aspectos relacionados con la optimización de los procesos de mezcla entre la biomasa y el sustrato, los dispositivos empleados para la retención de la biomasa y la separación y recuperación de la misma. Con la solución propuesta por la presente invención se logra la conversión de un sistema tradicional de baja tasa como la laguna anaeróbica convencional a un sistema más compacto y eficiente que permite además recuperar energía limpia en forma de biogás. Una característica importante que se mantiene en el bio-reactor de alta tasa BLAAT, es su sencillez de operación y mantenimiento, lo cual se ve reflejado en bajos costos operativos, por lo cual una unidad BLAAT es sostenible en la gran mayoría de municipalidades menores y pequeñas comunidades en sectores rurales de amplias zonas del mundo.

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

- [14] La figura 1 presenta las eficiencias de remoción de DQO_i y DQO_f en función del HRT (h) para un reactor de laguna anaeróbica con deflector horizontal (HBAP).

- [15] La figura 2 presenta las eficiencias de remoción de DQO_i y DQO_f en función del HRT (h) para un reactor BLAAT de la invención con pozo de mezcla empotrado (MPAP).

- [16] La figura 3 presenta las eficiencias de remoción de DQO_i y DQO_f en función del HRT (h) para un reactor de laguna anaeróbica convencional.

[17] **OBJETOS DE LA INVENCION**

- [18] El objeto de invención está relacionado con un bio-reactor de lagunas anaeróbicas de

alta tasa (BLAAT) como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables, que permite convertir un sistema tradicional de baja tasa como la laguna anaeróbica en un sistema compacto y eficiente que permite recuperar energía limpia en forma de biogás; también se proporciona un proceso para el tratamiento anaeróbico de aguas residuales que emplea dicho bio-reactor.

[19] Adicionalmente otro objeto de la presente invención es la optimización de los procesos de mezcla y contacto entre la biomasa y el sustrato para aumentar el rendimiento de conversión del proceso.

[20] Otro objeto de la presente invención es la implementación de un sistema de retención de la biomasa activa para que el bio-reactor disminuya sus pérdidas operacionales en el tiempo.

[21] Particularmente, otro objeto de la presente invención es suministrar un proceso de separación de la biomasa por medio de una sedimentación mejorada en flujo laminar horizontal.

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

[23] El bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa (BLAAT) corresponde a una optimización de la laguna anaeróbica convencional. A través de la presente invención se obtiene un aumento en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales biodegradables, medida establecida como el porcentaje de materia orgánica biodegradable que se elimina de la fase líquida que ingresa al bio-reactor por unidad de tiempo. De este modo, se obtiene un efluente líquido más limpio a la salida del bio-reactor BLAAT, pero también debido a la retención activa de la biomasa, se logra una estabilización de los biosólidos logrando con esto lo que se conoce como un tratamiento primario avanzado del agua residual y del biosólido producido en el bio-reactor BLAAT. Esto último es una característica típica de los reactores anaerobios de alta tasa; la mejora que se logra con la solución provista con el reactor BLAAT es la conversión de un sistema tradicional de baja tasa como la laguna anaeróbica convencional a un sistema más compacto y eficiente que permite además recuperar energía limpia en forma de biogás (i.e., Metano CH_4),

[24] El bio-reactor BLAAT como unidad de proceso mejorada, cuenta con cuatro componentes principales que caracterizan su diseño, construcción y funcionamiento. El primer componente es una cámara de mezcla la cual es una estructura que recibe el agua residual cruda proveniente del tratamiento preliminar. En esta unidad por medio de un flujo vertical del agua se garantiza la energía cinética necesaria para producir mezcla suficiente y un contacto estrecho entre sustrato y biomasa. De este modo, en esta estructura se desarrolla un lecho biológico anaeróbico muy activo caracterizado por partículas o biofloculos constituidos por una población diversa y activa de microorganismos de los dominios bacteria y archaea. El dimensionamiento o diseño de esta

cámara es una función directa del tipo de agua residual a tratar, la cantidad de la misma y la temperatura ambiente de la zona de tratamiento. La profundidad de esta cámara puede variar entre 4 y 6 m, y su volumen puede calcularse con cargas orgánicas volumétricas que oscilan entre 0.8-1.5 Kg DBO₅ m⁻³ d⁻¹.

- [25] El segundo componente es una zona de transición entre la cámara de mezcla y la zona de sedimentación. Dicha zona está ubicada directamente a continuación y en la parte superior de la cámara de mezcla. Se encuentra constituida por unas barreras semipermeables las cuales permiten cambiar la dirección gradual del fluido el cual viene en una dirección vertical y al atravesar las barreras permeables, cambia su dirección en sentido horizontal. Dichas barreras también ofrecen un medio de soporte para el crecimiento adherido de biomasa, que además de suministrar tratamiento adicional al agua que sale de la cámara de mezcla, también permite interceptar las partículas o biofloculos que intentan escapar de la cámara de mezcla, devolviéndolas a la zona activa de reacción. La acción combinada de la cámara de mezcla y la zona de transición se constituye en el mecanismo activo de retención de biomasa de un bio-reactor BLAAT, y esto es lo que define su característica de reactor de alta tasa conocidos en el estado de la técnica.
- [26] El tercer componente es una estructura recolectora de biogás la cual se encuentra a continuación y en la parte superior de la zona de transición. Esta estructura que recoge el biogás producido en la cámara de mezcla se proyecta de forma modular o por compartimentos, cuyo tamaño y cantidad depende del área superficial de la cámara de mezcla de la unidad BLAAT. Se pueden utilizar diversas formas geométricas para la misma, que van desde domos, casquetes esféricos o elípticos, hasta campanas piramidales o cónicas. Los materiales utilizados para esta estructura también son diversos pero deben ser resistentes a la corrosión y de preferencia livianos para poder retirar, mantener, limpiar y reparar adecuadamente las respectivas campanas recolectoras. Dicha estructura recolectora como componente del bio-reactor BLAAT es fundamental para el manejo adecuado de los posibles gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de la degradación biológica anaeróbica de la materia orgánica. El diseño, construcción y funcionamiento adecuado de este componente en un BLAAT, le confiere el carácter ecológico e innovador a esta tecnología, y la convierte en una alternativa que contribuye a la mitigación del cambio climático vía el tratamiento mejorado de desechos líquidos de origen antropico.
- [27] El cuarto componente de la unidad BLAAT es una zona de sedimentación no cubierta. Una vez el agua fluye horizontalmente por la zona de transición y a través de las membranas semipermeables, continúa con la misma dirección del flujo a lo largo de la zona de sedimentación. Esta zona se caracteriza por una baja profundidad que varía entre 1.0 y 1.5 m; el agua tiene velocidades horizontales en órdenes de magnitud de 1.0

$\times 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$. Debido a esto se produce un régimen de flujo laminar caracterizado por velocidades muy bajas y además en sentido horizontal, con lo cual se obtiene una sedimentación mejorada. Esta también es una diferencia mayúscula de un reactor BLAAT en comparación con otros sistemas anaeróbicos de alta tasa más tradicionales como los reactores UASB o los RAFP. Esta zona del bio-reactor no se cubre por que la gran mayoría del biogás ya ha sido recuperado previamente en la estructura recolectora del mismo.

- [28] Existen otros componentes complementarios que garantizan el funcionamiento del bio-reactor BLAAT, entre otros se tienen los dispositivos de entrada y distribución del agua residual, el dispositivo de purga de biosólidos, los lechos de secado de biosólidos, los biofiltros para purificación del biogás recolectado y el sistema de combustión o aprovechamiento del biogás. Cada uno de estos componentes se diseña y construye en función de la cantidad y calidad del agua residual a tratar en el BLAAT. Así mismo, los materiales de construcción de estos componentes se especifican en función de la corrosividad del agua y del biogás generado en la cámara de mezcla.
- [29] En cuanto al proceso de tratamiento de aguas residuales que se emplea en el bio-reactor BLAAT se tiene que alcanza eficiencias de eliminación de materia orgánica en la fase líquida del orden del $70 \pm 5\%$ medida esta como DBO_5 . En el caso del material sólido presente en el agua residual entrante, la unidad BLAAT puede alcanzar una eliminación del orden del $75 \pm 5\%$ medida esta como la separación de los sólidos totales en suspensión (SST). La recolección y tratamiento del biogás generado puede alcanzar una recuperación de CH_4 del orden del 80%. En el caso de los biosólidos, la producción es baja llegando a necesitar una sola evacuación mensual de este material dependiendo del contenido de materia orgánica presente en el agua cruda.
- [30] Los siguientes experimentos fueron desarrollados para evaluar el comportamiento hidrodinámico (experimento 1) y el desempeño del proceso (experimento 2) en el reactor de la presente invención comparado con reactores convencionales. Los reactores experimentales recibieron agua residual previamente tratada para retirarle los sólidos gruesos y las grasas. El arreglo de las tuberías de entrada y salida y la forma geométrica de los reactores fueron diseñadas de acuerdo con recomendaciones de la literatura técnica (Mara *et al.* 1992; PROSAB, 1999).
- [31] **EJEMPLO 1**
- [32] El experimento 1 evaluó un reactor de laguna anaeróbica con deflector horizontal (HBAP), un reactor BLAAT de la invención con pozo de mezcla empotrado (MPAP) y un reactor de lagunas anaeróbicas convencional (AP). El reactor HBAP presenta dos deflectores localizados a $L/3$ y $2L/3$. Un espacio libre de flujo (0.80m ancho x 1.70m altura) fue dejado al final de cada deflector horizontal para permitir el flujo del agua en los puntos de giro. El reactor BLAAT equipado con MPAP fue provisto con una

entrada de agua por el fondo seguida de flujo vertical a través de una cámara de reacción. El agua residual fue alimentada por un sistema de distribución del tipo múltiple difusor o manifold. Por lo tanto, la densidad resultante en los puntos de alimentación (área superficial 8.8m²) fue 2.9m²/punto de entrada. Una vez el agua residual fluye a través de la cámara de reacción y es mezclada con la biomasa en el reactor BLAAT con MPAP, viaja horizontalmente a través de una zona tranquila de sedimentación hacia la salida. La zona de transición entre la cámara de mezclado y la zona de sedimentación fue elaborada con un arreglo de cuatro pantallas permeables constituidas por mallas sintéticas de polietileno de alta densidad dispuestas con la siguiente configuración: la primera y segunda pantallas tienen una malla con hoyos de 25 mm de diámetro y forma hexagonal; entre tanto la tercera y cuarta pantallas presentaron mallas con hoyos de 19 mm de diámetro y forma hexagonal. El experimento fue estadísticamente diseñado como un experimento comparativo de dos factores, donde los factores variados fueron la tasa de carga hidráulica (1.0, 1.2, 1.5 y 2.0 l/s) y el dispositivo de mezcla dentro de la laguna (HBAP, BLAAT con MPAP y AP).

- [33] Para realizar los estudios de dispersión se utilizó una solución trazadora para cada combinación de dispositivo de mezclado y tasa de flujo. La concentración del trazador en el efluente fue monitoreado durante un muestreo por un período igual a tres veces el tiempo de retención hidráulico (HRT) teórico. Un pulso del trazador (1 L solución que contiene 261g LiCl [42.47g Li⁺]) fue aplicado en la corriente de entrada de cada reactor anaerobio, asegurando que el punto de aplicación fuese exactamente el mismo para cada ensayo.
- [34] La solución de LiCl fue preparada el día anterior a la corrida para permitir el enfriamiento total de la misma dado su comportamiento exotérmico. Un total de 60 muestras por efluente de reactor por corrida fueron obtenidas para elaborar las curvas de distribución del tiempo de residencia (RTD) con base en las curvas experimentales del trazador. Muestras de control de aguas residuales sin tratar y lodo de los reactores fueron tomadas para establecer la concentración inicial o de fondo de Li⁺ y la adsorción del mismo sobre los biosólidos. Las concentraciones de Li⁺ fueron determinadas por absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin Elmer S100PC, método de llama aire-acetileno a 670.80 nm con un límite de detección de ± 0.01 mg/l.
- [35] Cada reactor fue sembrado con un contenido de biosólidos equivalente al 5% de su volumen total. Las muestras de aguas residuales sin tratar y de los efluentes fueron tomadas diariamente desde las 7h hasta las 19h durante las corridas de los estudios de dispersión. De acuerdo al diseño experimental fueron realizadas 21 determinaciones de DQO, 12 de SST y 12 de sólidos sedimentables en la corriente de entrada y el efluente por corrida, además de la determinación de la temperatura y el pH.
- [36] Tabla 1. Resumen de las variables operacionales obtenidas en los diferentes reactores

[37] HBAP BLAAT con MPAP AP

[38] [Table 1]

[Table]

Qr (l/s)	HRT _t (h)	λ_v	Qr (l/s)	HRT _t (h)	λ_v	Qr (l/s)	HRT _t (h)	λ_v
1.0	25	570	1.0	29	373	1.0	23	470
1.2	21	601	1.2	24	526	1.2	19	751
1.5	16	847	1.5	19	751	1.5	15	842
2.0	12	902	2.0	14	968	2.0	11	1232

[39] Qr = Tasa de flujo aplicada al reactor; λ_v = Carga orgánica volumétrica expresada en g DQO/m³d; HRT_t = Tiempo de retención hidráulico teórico.

[40] Tabla 2. Resumen de los parámetros hidrodinámicos obtenidos en los diferentes reactores

[41] HBAP BLAAT con MPAP AP

[42] [Table 2]

[Table]

HRT _e (h)	σ^2	δ	HRT _e (h)	σ^2	δ	HRT _e (h)	σ^2	δ
22	0.4298	0.304	29	0.4005	0.273	23	0.5412	0.454
21	0.5047	0.398	24	0.4257	0.299	19	0.6446	0.672
13	0.4333	0.308	19	0.4352	0.309	15	0.6344	0.645
11	0.1263	0.334	14	0.4304	0.304	11	0.5294	0.435

[43] HRT_e = Tiempo de retención hidráulico experimental; σ^2 = Varianza de la curva RTD; δ = Número de dispersión

[44] EJEMPLO 2

[45] El experimento 2 evaluó el desempeño en proceso para el reactor HBAP, BLAAT con MPAP y AP en estado estacionario durante 22 semanas bajo tres tasas de carga hidráulica diferentes de acuerdo al diseño presentando en la tabla 3.

[46] Tabla 3. Diseño del experimento para la evaluación del desempeño en proceso en estado estacionario para los reactores HBAP, BLAAT con MPAP y AP.

[47]

[Table 3]

[Table]

Configuración del reactor	Tasas de flujo Aplicadas (l/s)	HRT (h)	Período de monitorización (sem)
HBAP	1.0/1.3/2.0	24.6/18.9/12.3	6
MPAP	1.1/1.5/2.3	26.0/19.3/12.6	6
AP	0.9/1.3/1.8	25.3/17.2/12.7	6

[48] La respuesta a cada tasa de carga hidráulica aplicada fue evaluada por seis semanas en estado estacionario, el cual fue establecido previamente en un periodo de dos semanas.

[49] Muestras combinadas de 12h fueron tomadas en las aguas sin tratar y en los efluentes de los reactores una vez por semana, el mismo día cada semana. Los datos de flujo fueron grabados cada hora en cada corriente de entrada el día del muestreo. Las tasas de flujo del efluente fueron medidas volumétricamente una vez por semana para chequear las pérdidas de agua por evaporación. Se realizaron determinaciones de pH, temperatura, potencial REDOX, ácidos grasos volátiles (VFA), SO_4^{2-} , alcalinidad, DQO filtrado, DQO total, SST y sólidos volátiles suspendidos (SSV), coliformes fecales, *E. coli* y huevos de helmintos. Las muestras de biosólidos fueron tomadas del fondo del reactor usando una bomba peristáltica eléctrica Dayton-AC Gear 5K940D.

[50] Tabla 4. Variables operacionales aplicadas a los reactores durante la operación en estado estacionario.

[51] HBAP BLAAT con MPAP AP

[52] [Table 4]

[Table]

Qr (l/s)	HRT _t (h)	λ_v	Qr (l/s)	HRT _t (h)	λ_v	Qr (l/s)	HRT _t (h)	λ_v
1.0	24.5	584	1.0	26.0	551	1.0	25.3	566
1.3	18.2	791	1.3	19.0	758	1.3	17.9	800
2.0	12.3	1151	2.0	12.6	1124	2.0	12.6	1124

[53] Qr = Tasa de flujo aplicada al reactor; λ_v = Carga orgánica volumétrica expresada en g DQO/m³d⁻¹; HRT_t = Tiempo de retención hidráulico teórico.

[54] La tasa de carga orgánica volumétrica DBO₅ (λ_v) aplicado a cada uno de los reactores en la última etapa (Q_r = 2.0 l/s) fue 780, 762 y 762g DBO₅/m³d⁻¹ para HBAP, MPAP y AP, respectivamente.

- [55] Las eficiencias de eliminación de DQO_t y DQO_f para cada uno de los reactores HBAP, BLAAT con MPAP y AP son presentadas en las figuras 1,2 y 3, respectivamente. En las figuras se gráfica el % de eliminación de DQO_t y DQO_f experimental en función del HRT (h) comparado con las curvas CSTR (completely stirred tank reactor) polinómica y el modelo de Wehner & Wilhelm.
- [56] Las figuras 1, 2 y 3 muestran el grado de dispersión de los datos experimentales cuando se comparan con las líneas teóricas de los modelos de dispersión de CSTR y Wehner and Wilhelm. La dispersión de los datos es mayor en los reactores HBAP y AP, especialmente en la eliminación de DQO_f , en contraste, el reactor MPAP muestra un comportamiento cercano al modelo CSRT para DQO_t y DQO_f .
- [57] Los resultados de evaluación del desempeño del proceso en estado estacionario muestran que la mayor eficiencia de remoción de DQO_t ocurre en el reactor MPAP (77-79%), seguido por el reactor HBAP (65-51%) y finalmente, el reactor convencional (67-49%).
- [58] El mejoramiento hidrodinámico y el aumento en el patrón de contacto junto con la mayor retención de la biomasa explican el incremento en la eficiencia de eliminación de DQO_f encontradas en el reactor BLAAT con MPAP (50-78%) comparados frente al 41-44% del reactor HBAP y el 44-53% del reactor convencional (AP).
- [59] Aunque la presente invención ha quedado descrita con las realizaciones preferentes mostradas, queda entendido que las modificaciones y variaciones que conserven el espíritu y el alcance de esta invención se entienden dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.
- [60]

Claims

- [Claim 1] Un bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables caracterizado porque comprende:
- a) Una cámara de mezcla la cual es una estructura que recibe el agua residual cruda.
 - b) Una zona de transición entre dicha cámara de mezcla y una zona de sedimentación.
 - c) Una estructura recolectora de biogás la cual se encuentra a continuación y en la parte superior de dicha zona de transición.
 - d) Una zona de sedimentación mejorada.
- [Claim 2] El bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables de la reivindicación 1, caracterizado porque la cámara de mezcla se encuentra provista de un lecho biológico anaeróbico activo.
- [Claim 3] El bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables de la reivindicación 1, caracterizado porque la cámara de mezcla tiene una profundidad de entre 4 y 6 m.
- [Claim 4] El bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables de la reivindicación 1, caracterizado porque la zona de transición comprende una pluralidad de barreras semipermeables las cuales son capaces de cambiar el sentido de flujo del líquido entrante sin introducir turbulencias indeseadas.
- [Claim 5] El bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables de la reivindicación 4, caracterizado porque dichas barreras semipermeables proveen un medio de soporte para el crecimiento adherido de la biomasa.
- [Claim 6] El bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT como unidad de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables de la reivindicación 1, caracterizado porque la estructura recolectora de biogás presenta una estructura modular o por compartimentos la cual es flexible en su diseño y construcción.
- [Claim 7] El bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT como unidad

de proceso mejorada para el tratamiento de aguas residuales biodegradables de la reivindicación 1, caracterizado porque la zona de sedimentación tiene una profundidad de entre 1,0 y 1,5 m.

[Claim 8] Un proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 1, caracterizado porque presenta las siguientes etapas:

- a) Poner en contacto el agua residual entrante o sustrato con un lecho biológico activo en una cámara de mezcla.
- b) Trasladar el agua residual a una zona de transición donde es posible realizar un cambio en la dirección de flujo del agua, sin perturbar apreciablemente su energía cinética.
- c) Sedimentar el agua residual de la zona de transición en una zona de sedimentación mejorada que presenta velocidades horizontales bajas y un flujo en régimen laminar.

[Claim 9] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8, caracterizado porque en la etapa a) el flujo de agua residual es vertical produciendo mezcla gracias a la energía cinética del fluido para colocar en contacto estrecho el agua residual y la biomasa.

[Claim 10] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8, caracterizado porque en la etapa a) la carga orgánica volumétrica se encuentra entre 0,8 y 1,5 kg DBO₅ m⁻³d⁻¹.

[Claim 11] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8, caracterizado porque en la etapa b) el flujo entrante de agua residual en sentido vertical es cambiado de manera gradual al sentido de flujo horizontal.

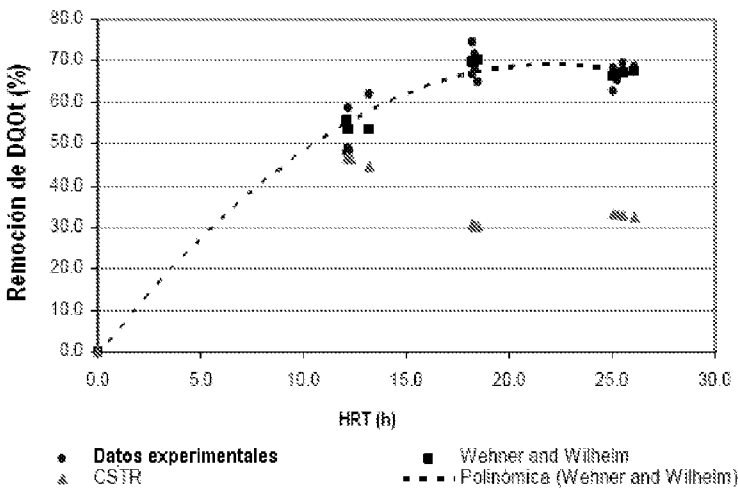
[Claim 12] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8 caracterizado porque en la etapa b) se realiza una interceptación de la biomasa floculenta la cual es retornada a la zona de mezcla en a).

[Claim 13] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8, caracterizado porque en la etapa c) la velocidad de flujo horizontal del agua residual se encuentra en un valor cercano a 1.0 X 10⁻² m.s⁻¹.

- [Claim 14] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8, caracterizado porque en la etapa c) se presenta un flujo laminar durante todo el proceso lo cual contribuye a una alta eficiencia de la operación de sedimentación.
- [Claim 15] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8, caracterizado porque la eliminación de materia orgánica en la fase líquida se encuentra entre el 65% al 75% medida esta como DBO₅.
- [Claim 16] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8, caracterizado porque se elimina entre el 70% al 80% del material sólido suspendido presente en el agua residual entrante medida este como SST (sólidos suspendidos totales).
- [Claim 17] El proceso para tratar aguas residuales biodegradables que emplea el bio-reactor de lagunas anaeróbicas de alta tasa BLAAT de la reivindicación 8, caracterizado porque la recuperación del gas metano producto del proceso es del orden del 80%.

FIGURA 1 DE 3

Ecuación 1



Ecuación 2

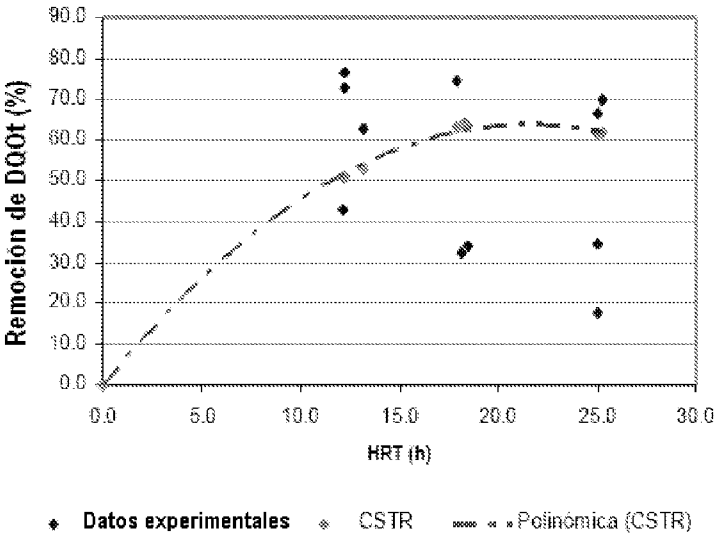


FIGURA 2 DE 3

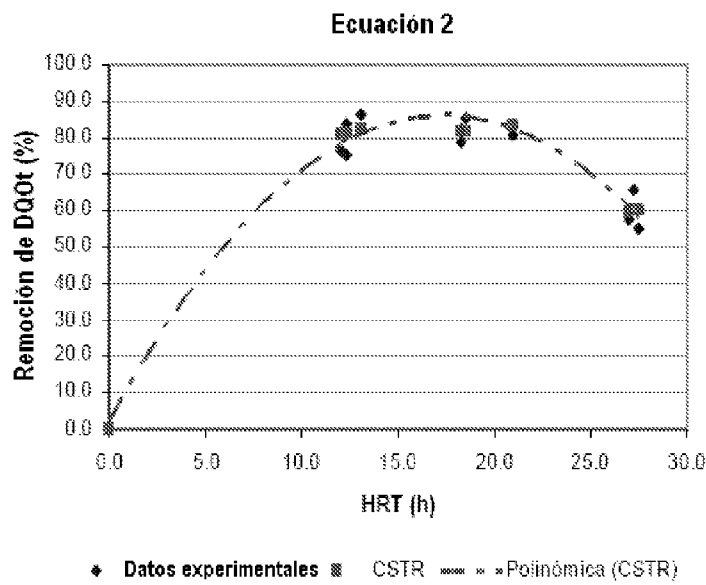
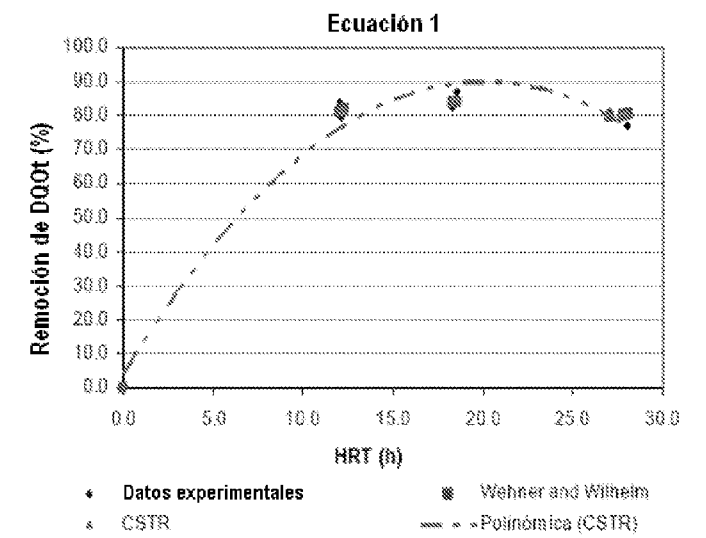
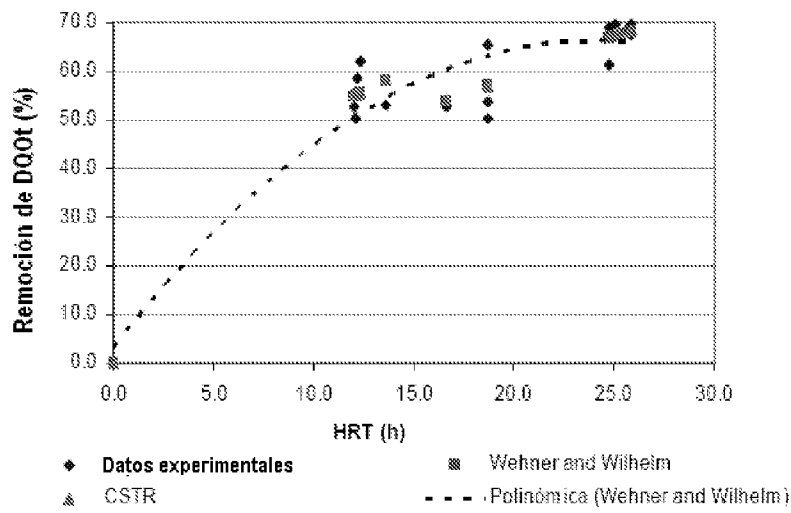


FIGURA 3 DE 3

Ecuación 1



Ecuación 2

