

BIOTEC

EXPEDIENTE: 02-021.258

RESPUESTA CONCEPTO TÉCNICO OFICIO No. 11186

1. Me refiero al auto dictado por ese Despacho notificado por fijación en lista de 5 de Octubre de 2006.
2. Antes de entrar a analizar los argumentos esgrimidos en el Concepto Técnico, atentamente me permito manifestar al señor Examinador al siguiente hecho:
 - (i) Se han modificado levemente las reivindicaciones para reenumerarlas de manera correcta, dado que debido a un error involuntario se incluyeron dos reivindicaciones con el número uno (1), la primera y segunda reivindicaciones, al paso que las reivindicaciones restantes, esto es, de la 3 a la 13, se numeraron de manera equivocada como reivindicaciones 2 a 12. En este sentido, el Examinador podrá entender que el número total de reivindicaciones corresponde a trece (13) reivindicaciones, en las cuales la segunda reivindicación denominada también como uno corresponde a la reivindicación 2 y, así sucesivamente con las reivindicaciones restantes.

Sobre las anteriores modificaciones, el señor Examinador podrá entender que las mismas no implican una ampliación del alcance de la invención, porque solamente están dirigidas a la corrección de un error involuntario.

3. El señor Examinador objeta la claridad de la presente solicitud, con base en los siguientes argumentos:

CLARIDAD DE LA SOLICITUD

- (i) Con respecto a la falta de claridad de la reivindicación 8, el señor Examinador establece que ***"La reivindicación 8 reclama un proceso en donde el sulfato de calcio al cabo de 4 horas se acumula sobre un 95%. El hecho que el sulfato se acumule sobre un 95% es un resultado que se podría alcanzar con otros procesos no relacionados con la presente invención. Así pues, que los procesos se deben definir a través de las características técnicas de sus operaciones, que permiten hacer diferencia de la materia que existe en el estado de la técnica y no mediante el resultado esperado. En este caso ¿Cuáles son las características específicas de éste proceso que permiten alcanzar tal resultado?"***

Sobre este particular, atentamente me permito manifestar al señor Examinador que el solicitante no puede estar de acuerdo con esta objeción, toda vez que la reivindicación 8 (nueva reivindicación 9) es clara en señalar la característica técnica que pretende limitar o caracterizar adicionalmente la materia objeto de las reivindicaciones de las cuales depende.

En efecto, el Examinador puede notar que la reivindicación 8 original (nueva reivindicación 9) establece **"Proceso según las reivindicaciones 1 y 3 donde el sulfato acumulado es sulfato de calcio, al cabo de cuatro horas de reacción sobre un 95%"**. Es decir, la reivindicación 8 (nueva reivindicación 9) es dependiente de las reivindicaciones 1 (aquí el Examinador podrá entender que la verdadera dependencia es la 2, no la 1, en virtud de la corrección en la numeración de las reivindicaciones, expuesta anteriormente) y 3, y estas a su vez dependen de la reivindicación 1 original.

De esta manera, su naturaleza dependiente de estas reivindicaciones implica que el contenido de la reivindicación 8 (nueva reivindicación 9) contiene también todas las características de la materia objeto de la reivindicación de la cual dependen. Y la reivindicación de la cual dependen, establece claramente un proceso definido en términos de sus etapas características, como así lo requiere la legislación Andina. Entonces, no es correcto señalar como lo afirma el señor Examinador que **"...El hecho que el sulfato se acumule sobre un 95% es un resultado que se podría alcanzar con otros procesos no relacionados con la presente invención"**, toda vez que el 95% al que hace referencia el proceso de la presente invención no se podría alcanzar con ningún otro proceso relacionado, dado que este valor de 95% solamente es posible con las características y etapas específicas del proceso de la presente invención, y no de cualquier otro proceso. Y es que todos estos elementos específicos del proceso reivindicado en la presente invención conforman el aspecto importante que se puede extraer del contenido de la materia objeto de la reivindicación 8 original (nueva reivindicación 9), el cual es el lavado del sulfato para evitar su acumulación (ya que inhibe la acción de los microorganismos); y su neutralización y disposición del lixiviado (tratamiento con la cal) que origina el sulfato de calcio. Estos aspectos son claros para la persona versada en la materia y constituyen la innovación del proceso de la presente invención sobre los procesos convencionales.

En este sentido, es claro que el Examinador no puede desconocer la naturaleza dependiente de la reivindicación 8 (nueva reivindicación 9) y apartarse de la relación de esta reivindicación con las características técnicas descritas de manera clara y específica en la reivindicación independiente 1. Estas reivindicaciones dependientes no funcionan por sí solas, sino en conexión con la materia de la reivindicación independiente. Estas apreciaciones responden el cuestionamiento del señor Examinador de acuerdo con respecto a cuáles son las características específicas de este proceso que permiten alcanzar tal resultado.

Más aún, independiente de lo anterior, el Examinador puede notar que la reivindicación 8 (nueva reivindicación 9) **si está indicando una característica técnica de una de las etapas del proceso y es que el sulfato acumulado en la etapa de oxidación biológica corresponde al sulfato de calcio**. El hecho que la reivindicación también indica que esta acumulación ocurre al cabo de cuatro horas sobre un 95 % hace parte de las condiciones del proceso reivindicado y, por ende, se constituiría como una característica técnica propia del proceso reivindicado que le permite diferenciarlo de otros procesos de este tipo.

De hecho, estas características técnicas son las que constituyen los aspectos innovadores de la presente invención, dado que el lavado del sulfato permite evitar su acumulación (ya que inhibe la acción de los microorganismos); y su neutralización y disposición del lixiviado (tratamiento con la cal) que origina el sulfato de calcio. Ahora bien, si el Examinador considerara que el establecer el valor de 95% corresponde a un resultado, atentamente me permito dirigir su atención al Manual Andino de Patentes que señala *"El resultado a alcanzar no es una característica técnica de la invención. Puede aparecer en la reivindicación pero siempre acompañado las características técnicas que definen la invención"*², el cual corresponde claramente al caso de la reivindicación 8 (nueva reivindicación 9) que identifica la característica técnica acompañada del resultado.

Por consiguiente, respetuosamente me permito solicitar al señor Examinador se sirva aceptar la reivindicación 8 (nueva reivindicación 9) en virtud de los argumentos expuestos anteriormente.

(ii) Con respecto a la claridad de la reivindicación 10, el señor Examinador establece *"...La reivindicación 10 reclama un proceso en donde la adición del inoculo permite remover hasta un 99.9% del ácido sulfhídrico por oxidación biológica. El porcentaje de remoción es un resultado a alcanzar, pero no constituye una característica técnica que defina la invención, éste resultado puede aparecer siempre y cuando se acompañe de las características que llevan a alcanzarlo. El decir que se añade el inoculo tampoco es una característica que distinga la invención por cuanto no se establece ¿Qué tiene de especial dicho inoculo? Qué permite alcanzar el "resultado esperado"*.

Sobre este particular, nuevamente me permito manifestar al señor Examinador que el solicitante tampoco puede estar de acuerdo con esta objeción, toda vez que la reivindicación 10 (nueva reivindicación 11) es clara en señalar la materia objeto que se desea proteger en dicha reivindicación en términos de una característica técnica, que la distingue de lo conocido en el estado de la técnica. En efecto, el hecho que la reivindicación 10 original (nueva reivindicación 11) indique que es posible lograr una remoción del 99.9% del ácido sulfhídrico mediante la oxidación biológica, constituye una característica técnica propia del proceso reivindicado, dado que dicha remoción sorprendente solamente es posible mediante la etapa de adición del inoculo seleccionado del proceso de la presente invención. En otras palabras, esta reivindicación corresponde efectivamente a una caracterización técnica de la etapa de adición del inoculo descrita en la reivindicación independiente 1. Y estos hechos responden el cuestionamiento del señor Examinador sobre que tiene de especial dicho inoculo que permite alcanzar el resultado esperado. El inoculo característico y útil en la presente invención es el que permite lograr el resultado esperado cuando está estrechamente relacionado con todos los aspectos técnicos descritos en las reivindicaciones precedentes.

² Comunidad Andina. Secretaría General. "Manual para el examen de solicitudes de Patentes de Invención en las oficinas de propiedad industrial de los países de la Comunidad Andina", Quito, Ecuador, 2004, página 41.

De hecho, para el proceso de la presente invención resulta muy importante la inoculación del biofiltro con los microorganismos, al se tiene en cuenta que la literatura reporta que el arranque de estos es muy demorado (pueden ser meses) si no se inocula. De hecho, estas eficiencias de remoción (59.9%) relacionadas en la reivindicación en cuestión, se lograron desde el arranque mismo del biofiltro, y fueron elevadas siempre y cuando se mantengan las condiciones de pH, humedad, adición de nutrientes y lavado del soporte. Y por parte de la experimentación, consistió en variar dichas condiciones para determinar los rangos óptimos de funcionamiento del biofiltro. Otro hecho importante es que en la literatura se habla de inocular con bacterias del género *Thiobacillus* (a veces se indica la especie) obtenidas de cepas como la ATCC u otros tal es el caso de la patente D3, sin embargo en el documento se habla claramente de obtener un inóculo apropiado capaz de degradar el H_2S a partir de biosólidos aeróbicos que es lo que lo hace especial, pues no se limita a una sola especie de microorganismos lo que resultaría perjudicial si las condiciones de funcionamiento cambian y esta sola especie no logra adaptarse a las condiciones nueva y muere.

De otra parte, nuevamente me permito llamar la atención del señor Examinador al hecho de que esta reivindicación 10 (nueva reivindicación 11) es dependiente de las reivindicaciones 1 a 5 (aquí el Examinador podrá entender que la verdadera dependencia es de la 1 a la 6, en virtud de la corrección en la numeración de las reivindicaciones, expuesta anteriormente). De esta manera, su naturaleza como reivindicación dependiente de estas reivindicaciones implica que el contenido de la reivindicación 10 (nueva reivindicación 11) contiene también todas las características de la materia objeto de las reivindicaciones de las cuales depende. Y las reivindicaciones 1 a 6 establecen claramente todas las características técnicas del proceso reivindicado, definidas en términos de sus etapas características, como así lo requiere la legislación Andina.

Nuevamente, me permito manifestar al señor Examinador que no se puede desconocer la naturaleza dependiente de la reivindicación 10 (nueva reivindicación 11), para dejar a un lado la relación estrecha de esta reivindicación con las características técnicas descritas de manera clara y específica en las reivindicaciones 1 a 6. Estas reivindicaciones dependientes no funcionan por sí solas, sino en conexión con la materia de la reivindicación independiente.

Por consiguiente, respetuosamente me permito solicitar al señor Examinador se sirva aceptar la reivindicación 10 (nueva reivindicación 11) en virtud de los argumentos expuestos anteriormente.

(iii) Finalmente, el señor Examinador objeta la claridad de la descripción de la presente solicitud cuando establece que *"Adicionalmente, la descripción no revela de una manera suficiente la invención como para que un tercero pueda reproducirla y llegar a los mismos resultados, teniendo en cuenta que el no puede establecer con exactitud cual pueda ser el "Inoculo de biosólidos aeróbicos seleccionados"*.

Con respecto a esta objeción, el solicitante tampoco puede estar de acuerdo con el Examinador, toda vez que la descripción de la presente solicitud es lo suficientemente

clara como para que un tercero pueda ejecutarla sin ninguna dificultad. En efecto, la presente solicitud señala de manera clara cual es el problema existente en el estado de la técnica que se pretende resolver mediante la presente invención, como lo es la reconversión microbiológica y la remoción de ácido sulfhídrico en una corriente gaseosa. Más aún, la solicitud de la presente invención es lo suficientemente clara en señalar cual puede ser el inóculo de biosólido aeróbico que se puede seleccionar para lograr los propósitos del proceso de la presente invención. En efecto, si el Examinador dirige su atención a las páginas 1 y 8 de la descripción de la presente solicitud podrá notar que allí se señala que los "inoculos microbianos seleccionados" corresponden a aquellos que sean capaces de oxidar biológicamente el ácido sulfhídrico (H_2S), y que provienen de biosólidos aeróbicos y que han estado en medios de cultivo suplementados con tiosulfato de sodio como única fuente de energía. A este grupo de inoculos pertenecen microorganismos como los Thiobacillus, tales como el Th Thiooxidans, que exhiben los requerimientos necesarios para oxidar biológicamente el ácido sulfhídrico.

Sin embargo, sobre este particular, el Examinador debe entender que la presente invención no se puede limitar exclusivamente a este tipo de Thiobacillus, dado que el proceso de la presente invención funciona con otras especies diferentes que cumplen con los requerimientos de oxidar el H_2S . De hecho, una limitación de este tipo representaría un grave perjuicio para el solicitante, dado que se vería claramente afectado en el alcance general de su invención, en caso de que un tercero infrinja de manera descarada el alcance de su patente si reemplaza las especies de Thiobacillus por otras especies que cumplan el objetivo establecido de manera general de oxidar biológicamente el H_2S . En este sentido, es claro que la especie Thiobacillus mencionada en la presente invención solamente constituye un mero ejemplo ilustrativo de una de las especies que se pueden emplear para los propósitos de la presente invención.

De esta manera, el Examinador puede notar que los inóculos seleccionados a los que hace referencia la descripción de la presente solicitud son aquellos que sean capaces de oxidar biológicamente el H_2S , que provengan de biosólidos aeróbicos y que se han suplementado en un medio de tiosulfato de sodio como única fuente de energía. Es claro que esta información de los inoculos es más que suficiente para que el tercero, o la persona versada en la materia, pueda reproducir la presente invención sin mayor dificultad.

Por consiguiente, atentamente solicito al señor Examinador se sirva aceptar la descripción de la presente solicitud como lo suficientemente clara en virtud de los argumentos expuestos anteriormente.

4. De otra parte, el Examinador objeta el nivel inventivo de la presente invención con base en la existencia de tres documentos, esto es, CA2312557 (D1), JP02126917 (D2) y US5747331 (D3). Sin embargo, un análisis objetivo y cuidadoso de estos documentos y el objeto de la presente invención, demuestra claramente que ninguno de dichos

documentos es relevante para desvirtuar la patentabilidad de la presente invención, como me permito demostrarlo a continuación.

4.1 Antecedentes de la invención

En la memoria descriptiva de la presente invención se indicó claramente el enfoque problema-solución, que había motivado al solicitante a concebir la presente invención. En efecto, el solicitante señala que en el estado de la técnica es ampliamente conocido el estudio de la tecnología de biofiltración de compuestos olorosos de azufre, y se han tenido en cuenta aspectos críticos como el tipo de soporte o lecho empleado, la necesidad de un inóculo, el manejo de sub-productos con el lixiviado y el escalamiento del laboratorio a la industria. Se han realizado varios intentos para manipular estos factores críticos, dado que es bien sabido que la biofiltración constituye una tecnología económica y ambientalmente adecuada para el tratamiento de contaminantes gaseosos de azufre.

No obstante lo anterior, también es sabido que a nivel industrial las capacidades de remoción de estos contaminantes es muy baja ($> 14 \text{ g/m}^3\text{h}^1$), y la operación es complicada y costosa. Por consiguiente, es claro que antes de la presente invención existía la necesidad de una solución verdadera para la remoción efectiva de los contaminantes en las corrientes gaseosas que incluya el manejo de los sub-productos lixiviados, bajos costos de operación; y buena aplicación a nivel industrial. En virtud de esta necesidad, se llegó a la solución alternativa de la presente invención.

4.2 La presente invención

En vista de los múltiples problemas técnicos existentes en la industria con la remoción eficaz de los contaminantes olorosos de azufre, la presente invención suministra una novedosa alternativa que satisface las necesidades del consumidor y el interesado. Específicamente, la presente invención proporciona un novedoso proceso para la remoción de ácido sulfhídrico y conversión microbiológica en una corriente gaseosa, a partir de un soporte fijo o empaque de bagazo de caña que comprende las etapas de:

- inocular dicho bagazo antes de su disposición en el reactor con población microbiana activa,
- proveer una aspersión de agua y/o nutrientes en suspensión al soporte inoculado,
- mantener una temperatura de entre 15 y 30° C,
- mantener una humedad de soporte de entre 50 y 75%,
- controlar la variación del pH del soporte de 7 hasta llegar a 2,
- oxidar biológicamente el ácido sulfhídrico desprendido del soporte por parte de un inóculo de población microbiana activa,
- neutralizar material lixiviado del soporte.

De la misma manera, para lograr el propósito novedoso propuesto por el solicitante, la presente invención proporciona un novedoso aparato o disposición para el proceso a manera de un biofiltro que se caracteriza porque comprende como componentes:

- una base recubierta con una capa de grava a manera de filtro,
- un muro de contención de la base del soporte o bagazo,
- una canalización para drenar lixiviado,
- un ventilador para distribuir aire,
- un ducto distribuidor de aire,
- un mecanismo de aspersión o riego del soporte de bagazo,
- una cubierta de polietileno,
- un tanque de nutrientes.

De conformidad con estos objetos, la presente invención se constituye en una novedosa alternativa para remover componentes olorosos de azufre a bajos costos de operación, con mayor eficiencia y con un aparato simple y versátil que suple las necesidades del consumidor.

4.3 NIVEL INVENTIVO

El nivel inventivo de la presente invención radica en el hecho de que esta no habría podido ser obvia o evidente para la persona versada en la materia. De esta manera, ninguno de los documentos citados por el Examinador, ya sea solos o en combinación, podrían conducir a una persona versada en la materia de manera evidente al objeto de la presente invención.

El documento CA2312557 (D1) está dirigido a un sistema híbrido de biofiltración de dos etapas para la degradación de un compuesto que contenga azufre. Por su parte, el documento JP02128917 (D2) está relacionado con un método desodorizante para reducir el consumo de productos químicos alcalinos. Finalmente, el documento US 5.747.331 (D3) está relacionado con un proceso y aparato para la purificación de gases. Aunque aparentemente estos documentos están orientados al principio básico de reducir elementos contaminantes, tales como compuestos que contengan azufre, también es claro que estos documentos no podrían sugerir a la persona versada en la materia los objetos reivindicados en la presente invención. En efecto, estos documentos fallan en enseñar aspectos que son esenciales para que la persona versada en la materia pueda desarrollar los objetos de la presente invención.

Una verdadera comparación demuestra claramente que los procesos revelados en los documentos D1, D2 y D3 carecen de elementos técnicos esenciales, como lo son las etapas específicas, dispuestas de manera específica para lograr el resultado esperado en la presente invención, pero inesperado para la persona versada. Particularmente, y como bien lo reconoce el Examinador, los documentos citados no revelan un elemento esencial del proceso de la presente invención conectado estrechamente a todas las etapas del proceso, como es la presencia del bagazo de caña de azúcar como soporte para el desarrollo de la remoción del ácido sulfhídrico H_2S , y son estos elementos los que dispuestos de manera específica le proporcionan el nivel inventivo al

80

proceso y aparato revelados en la presente invención, porque en virtud de estos elementos es posible la remoción efectiva de hasta un 99.9% del H_2S , lo cual no había sido posible hasta el momento en el estado de la técnica.

En efecto, el nivel inventivo del proceso de la presente invención radica en todos los elementos esenciales que hacen parte de todo el proceso reivindicado: esto es, el uso de bagazo de caña como soporte, la inoculación con biosólidos aeróbicos seleccionados en un proceso previo con adición de nutrientes, la inoculación misma, la operación del biofiltro con eficiencias de remoción del 99.9% y el lavado de sulfatos, neutralización y disposición del lixiviado de aplicación industrial, los cuales no son enseñados o siquiera sugeridos en los documentos citados. Mas aun, sobre este particular, atentamente me permito manifestarle al señor Examinador que el trabajo de investigación desarrollado en la presente invención consistió en usar biofiltros a escala piloto de 1 m; posteriormente este proceso fue escalonado a nivel industrial obteniendo elevados porcentajes de remoción, siempre y cuando las condiciones de operación y carga fueron estables. Por el contrario, los biofiltros presentados en las patentes previas son prototipos tan pequeños que solo pueden tratar cargas bajas en tiempos cortos y se desconoce si realmente tienen una aplicación industrial.

Entonces, es claro que la solución propuesta por la presente invención es completamente diferente a la propuesta por los documentos citados D1, D2 y D3. Más aún, ninguno de los documentos citados por el Examinador sugiere siquiera que se pueda utilizar como soporte el bagazo de la caña de azúcar que es mucho más económico que los soportes empleados convencionalmente para lograr las sorprendentes ventajas en la remoción efectiva del H_2S . De hecho, no existen elementos que motivaran a la persona versada en la materia a realizar modificaciones sobre los procesos revelados en dichos documentos para lograr el proceso específico de la presente invención con sus ventajas mejoradas para la remoción de componentes contaminantes que contengan azufre.

Ahora bien, una manera de sustentar el nivel inventivo del proceso reivindicado sobre los procesos convencionales de este tipo, recae en la fuerza de los datos experimentales de acuerdo con los cuales el proceso de la presente invención logra una remoción efectiva del 99.9% del ácido sulfhídrico, lo cual no había sido posible hasta el momento con los procesos convencionales, cuyos rendimientos de remoción de componentes contaminantes era muy bajo. En este sentido, es claro que el proceso de la presente invención si constituye una verdadera alternativa porque con esta reducción efectiva de los componentes contaminantes, se reducen significativamente los costos y es posible el desarrollo del proceso a escala industrial.

Sobre el nivel inventivo, el Examinador establece que la combinación de los documentos D1 y D2 o D1 y D3 llevaría a la persona versada en la materia a implementar un proceso como el reivindicado en la presente invención.

Sin embargo, se ha demostrado de manera contundente que la persona versada en la materia tendría que acudir a un trabajo experimental continuo y arduo, más que a la simple combinación mental de documentos como la señalada por el señor Examinador. En efecto, el señor Examinador debe entender que el aspecto inventivo de la presente invención surgió del esfuerzo intelectual realizado por los inventores, dirigido a superar los inconvenientes de los procesos convencionales para la remoción de componentes contaminantes. En este sentido, todos los esfuerzos del solicitante se enfocaron en encontrar la solución a dichos inconvenientes para lo cual se concibió la utilización de inoculos seleccionados de microorganismos aeróbicos con un soporte de bagazo de caña de azúcar que no había sido sugerido hasta el momento por ningún documento de la técnica. Y estos son los aspectos inventivos del proceso y aparato reivindicados, y solamente son posibles mediante los elementos específicos dispuestos de manera crítica para llegar exclusivamente a tal resultado. Ninguna combinación de los documentos D1, D2 y D3 habría permitido que la persona versada en la materia pudiera lograr estos aspectos inventivos de los objetos de la presente invención.

En vista de lo anterior, es claro que el análisis de la altura inventiva realizado por el señor Examinador no se enfoca en el problema técnico resuelto, ni en los aspectos técnicos sobre los cuales recae el nivel inventivo de la invención. Ninguno de los argumentos del señor Examinador demuestra en verdad como la invención habría podido llegar a ser obvia o evidente para una persona con conocimientos medios en la técnica que tuviera a su disposición los documentos citados y sus conocimientos generales.

De hecho, este aspecto también es considerado por el citado Manual Andino de Patentes, el cual en su acápite "Método para la evaluación del nivel inventivo", establece lo siguiente: "Se debe tener en cuenta que la búsqueda de anterioridades se efectúa a posteriori, tomando como punto de partida la misma invención. Por lo tanto, el Examinador debe realizar el esfuerzo intelectual de colocarse en la situación que ha tenido que afrontar el técnico con conocimientos medios en la materia en un momento en que la invención no era conocida, es decir antes de la invención"² (resaltado fuera de texto).

De acuerdo con los anteriores argumentos presentados, es claro que el Examinador no hace su análisis partiendo del problema mismo que existía en el estado de la técnica en el momento en que el solicitante dirige todos sus esfuerzos para encontrar una solución, sino que enfoca su análisis en el momento en que el problema ya ha sido resuelto. En efecto, para el Examinador puede resultar obvia la presente invención, si limita su análisis al hecho de que ya existen en el estado de la técnica elementos convencionales como un soporte como la caña de azúcar, métodos para la remoción de compuestos contaminantes que contengan azufre. Sin embargo, el Examinador tampoco puede desconocer que la disposición de tales elementos para lograr un resultado que no había sido posible hasta el momento resulta completamente novedosa e inventiva. De hecho, nunca se había sugerido el empleo del bagazo de caña de azúcar como soporte

²Ibid, página 78.

para tal remoción. Sin estas sugerencias, es claro que la presente invención si constituye un salto cualitativo a la regla técnica.

Adicionalmente, el señor Examinador no debe olvidar que una invención no deja de ser novedosa e inventiva por el simple hecho de que para llegar a cumplir su objetivo, utilice materiales o elementos convencionales como materias de partida o por el simple hecho de que en el estado de la técnica sean conocidos diferentes procesos de remoción de componentes contaminantes. Por el contrario, el señor Examinador, debe dar mayor importancia en su análisis al efecto técnico conseguido mediante el conjunto de las características fundamentales de la presente invención, las cuales en combinación representan una nueva alternativa para solucionar un problema que hasta el momento no había sido resuelto por dispositivos ya conocidos.

Ahora bien, el Examinador alega que tampoco se muestran en la solicitud datos experimentales que permitan establecer que la capacidad del proceso, su eficiencia y demás características de la invención representan un salto cualitativo sobre la forma en que se ha resuelto el mismo problema en el estado de la técnica. Sobre este particular, atentamente me permito manifestar al señor Examinador que aunque el solicitante no presenta comparaciones directas de su novedoso proceso con otros procesos, también es claro que el solicitante señala dentro de los antecedentes de su invención que los procedimientos convencionales exhiben una baja capacidad de remoción de los compuestos contaminantes (esto es, $> 14 \text{ g/m}^3\text{h}^1$) al paso que los resultados de su invención demostraron capacidades de remoción del 99.9% de los componentes contaminantes (ver página 8 de la descripción). Es decir, que el solicitante si está proporcionando la información necesaria para demostrar que su proceso si es eficiente con respecto a los procesos convencionales de este tipo. Sobre este particular, me permito llamar la atención del señor Examinador al hecho de que la información proporcionada por el solicitante dentro de su solicitud está amparada por el principio de la buena fe que acredita de manera contundente la validez y veracidad de dicha información.

Sin embargo, independiente de lo anterior, el solicitante desea poner a disposición del señor Examinador datos experimentales realizados por los inventores que demuestran las ventajas y beneficios de la presente invención en la remoción efectiva de los componentes contaminantes que contienen azufre³.

³ Chávez, Carlos H y colaboradores. "Biofiltración de Ácido Sulfhídrico (H_2S), utilizando bagazo de caña de azúcar y piedra pómez como material de soporte", INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD. Revista de Divulgación del Desarrollo Científico y Tecnológico. Facultad de Ingeniería-Universidad del valle. Vol. 5, No. 2, Mayo 2004, páginas 7 a 15.

83

En consecuencia, es claro que la presente invención cumple con el requisito de NIVEL INVENTIVO requerido sobre las enseñanzas de las referencias citadas, toda vez que ninguno de dichos documentos permitiría a una persona versada en la materia llegar de manera evidente a la materia objeto reivindicada en la presente solicitud, con las características técnicas esenciales que brindan una solución efectiva al problema técnico propuesto. Más aún, los datos experimentales demuestran que las diferencias existentes entre el proceso reivindicado y los procesos convencionales resultan inesperadas y representan un beneficio en la remoción de componentes contaminantes en corrientes gaseosas.

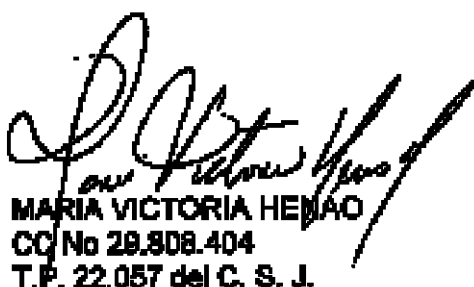
5. Anexo me permito presentar:

(i) Recibo No. _____, el cual acredita el pago de las modificaciones realizadas y expuestas anteriormente;

(ii) Copia de las páginas 11, 12 y 13 del texto de las reivindicaciones, en las cuales se han realizado las modificaciones expuestas anteriormente.

(iii) Copia Informal de Chávez, Carlos H y colaboradores. "Biofiltración de Ácido Sulfhídrico (H_2S), utilizando bagazo de caña de azúcar y piedra pómez como material de soporte". INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD. Revista de Divulgación del Desarrollo Científico y Tecnológico. Facultad de Ingeniería-Universidad del Valle. Vol. 5, No. 2, Mayo 2004, páginas 7 a 15.

De la señora Jefe,


MARIA VICTORIA HENAO
C.C. No 29.808.404
T.P. 22.057 del C. S. J.

REIVINDICACIONES

1. Proceso para la remoción del ácido sulfhídrico y conversión microbiológica, en una corriente gaseosa, a partir de un soporte fijo o empaque de bagazo de caña que comprende:

- Inocular dicho bagazo antes de su disposición en el reactor con población microbiana activa,
- Proveer una aspersión de agua y/o nutrientes en suspensión al soporte inoculado,
- Mantener una temperatura de entre 15 y 30° C,
- Mantener una humedad del soporte de entre 50 y 75%,
- Controlar la variación del pH del soporte de 7 hasta llegar a 2,
- Oxidar biológicamente el ácido sulfhídrico desprendido del soporte por parte de un inóculo de población microbiana activa,
- Neutralizar material lixiviado del soporte.

2. Proceso según la reivindicación 1 en el cual la población microbiana inoculada previamente al soporte de bagazo para oxidar el ácido sulfhídrico, se selecciona de microorganismos provenientes de biosólidos aeróbicos, en un medio de cultivo suplementados con tiosulfato de sodio.

3. Proceso según las reivindicaciones 1 y 2 en el cual la población microbiana se inocula al bagazo en un 2% de su volumen dentro del reactor.

4. Proceso según la reivindicación 1 en donde la aspersión de agua y/o nutrientes en suspensión provee una humedad controlada entre un 50 y 75% y provee un arrastre del sulfato acumulado por la oxidación biológica del ácido sulfhídrico.

5. Proceso según las reivindicaciones 1 y 4 en donde la humectación del soporte provee un arrastre del sulfato acumulado por la oxidación del ácido sulfhídrico, dicho sulfato en una concentración inferior a 30 mg/g de bagazo.
6. Proceso según la reivindicaciones 1, 4 y 5 en donde se libera agua de arrastre bajo la forma de un lixiviado con altos niveles de sulfato que debe ser neutralizado.
7. Proceso según las reivindicaciones 1, 5 y 6 en el cual la neutralización del lixiviado se hace a base de cal dentro de un agitador cuando el nivel de sulfato sobrepasa los 5 mg/litro de agua, durante 30 minutos.
8. Proceso según la reivindicación 7, en donde la relación de neutralización se debe mantener en razón de 3 g de cal por cada litro de lixiviado.
9. Proceso según las reivindicaciones 1 y 4 donde el sulfato acumulado es sulfato de calcio, al cabo de cuatro horas de reacción sobre un 95%.
10. proceso según las reivindicaciones 1 y 4 en donde los nutrientes de adición son del tipo N, P, K, Mg en escalas de entre 200 y 500 mg por litro para reactivar las poblaciones microbianas inoculadas al soporte.
11. Proceso según las reivindicaciones 1 a 6 en donde la adición del inóculo de la población microbiana en el soporte de bagazo permite remover hasta un 99.9% de ácido sulfhídrico por oxidación biológica.
12. Un aparato o disposición para el proceso a manera de un biofiltro que se caracteriza por comprender:

TA
86

- Una base recubierta con una capa de grava a manera de filtro,
- Un muro de contención de la base del soporte o bagazo,
- Una canalización para drenar lixiviado,
- Un ventilador para distribuir aire,
- Un ducto distribuidor de aire,
- Un mecanismo de aspersión o riego del soporte de bagazo,
- Una cubierta de polietileno,
- Un tanque de nutrientes.

13. Aparato o disposición para el proceso según las reivindicaciones 1 y 13 en el cual los biofiltros de remoción del ácido sulfhídrico pueden instalarse en batería de 2 o más alimentados por un tanque de nutrientes

INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD

REVISTA DE DIFUSIÓN DEL DESARROLLO
CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO

© Revista
Ingeniería
y
Competitividad

Circulación Nacional
ISSN No. 0123-3033

Volumen 5, No. 2, Mayo de 2004

Tarifa Postal Modificada Apostal No. 368 - Vence: Diciembre de 2005
Norma Icontec No. 346

Institución Editora:
Facultad de Ingeniería - Universidad del Valle

Los conceptos y opiniones de los artículos son responsabilidad exclusiva de su autor. En ningún momento comprometen las orientaciones y políticas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle.

Los artículos de esta revista pueden reproducirse citando la fuente.

Comunicaciones de Ingeniería

Teléfonos: (57) (2) 339 24 30 - 321 21 79 - Fax: 330 24 73 - A.A. 25360
Ciudad Universitaria Meléndez - Edificio 331 - Torre de Ingeniería - 5º Piso
Correo-e: ingcomp@univalle.edu.co



Universidad
del Valle

Facultad de Ingeniería

Biofiltración de Ácido Sulphídrico (H_2S), Utilizando Bagazo de Caña de Azúcar y Piedra Pómez como Material de Soporte¹

¹ Este artículo es el resultado de un proyecto financiado por Celdas y las empresas Sucromil y Lavapan, ejecutado por un grupo de investigadores de la Corporación Biotec y ambas empresas.

Carlos H. Chávez*
Z. Alejandra Mora**
Jorge A. Cabra***
Yesid Carmona****
Sergio Revah*****
Gonzalo Gnecco*****

* Ingeniero Químico - Gerente de Producción, Investigación y Desarrollo, Palmira Ltda., Santiago de Cali, Colombia.
E-mail: carchavez@hotmail.com

** Bióloga - Investigadora Corporación Biotec, Santiago de Cali, Colombia.
E-mail: ziz-biotec@cgpr.org

*** Ph.D. Ciencias Agronómicas - Microbiólogo - MSc. Consultores, Bogotá D.C., Colombia.
E-mail: jrcabra@hotmail.com

**** Especialista en Gestión Ambiental, Ingeniero Químico, Santiago de Cali, Colombia.
E-mail: yecarmona@yahoo.es

***** Ph.D. Ingeniería de Procesos Industriales - Docente, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
E-mail: srevah@iguanum.unam.mx

***** MSc. en Administración, Ingeniero Químico, Jefe de Coproducción, Sucromil, Palmira, Colombia.
E-mail: ggnecco@sucromil.com.co

RESUMEN

Experimentalmente se determinaron los valores de los parámetros de diseño y operación de un biofiltro para el control de las emisiones de ácido sulfhídrico (H_2S) en un efluente gaseoso, utilizando como materiales de soporte bagazo de caña y piedra pómez inoculados con un consorcio microbiano capaz de degradar H_2S . Se realizaron diferentes pruebas para determinar la capacidad máxima de eliminación de los soportes, así como el efecto de la concentración sobre la eficiencia de remoción. Por su efecto sobre el funcionamiento de los biofiltros también se estudió la variación de algunas propiedades de los soportes como el contenido de humedad, el

Fecha de recepción: Noviembre 25 de 2003
Fecha de aprobación: Abril 30 de 2004

Ingeniería y Competitividad

pH y el contenido de sulfatos. La inoculación de los diferentes grupos tróficos presentes en los soportes mostró una tendencia al crecimiento para las bacterias sulfuroxizantes (SOB) y a la disminución para los heterótrofos, mohos y levaduras. Gracias a la inoculación y a la idoneidad de los soportes para el establecimiento y desarrollo del consorcio microbiano, los biofiltros presentaron un alto rendimiento desde el arranque. Continuamente se obtuvieron eficiencias de remoción mayores al 99%, siempre que las condiciones de operación fueron las adecuadas.

Palabras Clave: Biofiltro, ácido sulfhídrico, bagazo de caña, eficiencia de remoción.

ABSTRACT

Design and operation parameters of a biofilter for controlling emissions of hydrogen sulfide (H₂S) in a gaseous effluent were determined experimentally by using sugarcane bagasse and pumice stone as support materials. Inoculated with a microbial assorted colony (a consortium) capable of degrading H₂S. Different tests were performed to determine maximum elimination capacity of these supports, as well as the effect of their concentration on removal efficiency. Because of the effect on the bio-filter operation, the variation of several properties of the supports, for example: moisture content, pH, and sulfate content was also studied. The monitoring of population variation of the different trophic groups, present in the supports, disclosed a trend toward growth of sulphur-oxidizing bacteria (SOB) and reduction in heterotrophic bacteria, molds, and yeasts. Biofilter yields were high from the start, due probably to the inoculation, and to the characteristics of the support materials that proved suitable to establish and develop a microbial consortium. Removal efficiencies over 99% were continuously obtained whenever operational conditions were appropriate.

Key Words: Biofilter, hydrogen-sulphide, sugarcane bagasse, removal efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

El ácido sulfhídrico es un contaminante gaseoso altamente oloroso, tóxico e inflamable. Cantidades considerables de H₂S se producen en procesos industriales como el tratamiento de aguas residuales, procesamiento de alimentos, refinamiento de petróleo, manufactura de pulpa para papel y en el pretratamiento de gases combustibles. El control de las emisiones de H₂S es esencial para proteger la salud humana así como para mitigar su impacto ambiental [1,2]. Los procesos utilizados para remover H₂S de corrientes gaseosas residuales envuelven ya sea un tratamiento físico o una oxidación química. Algunos métodos requieren la adición de químicos mientras que otros requieren un alto consumo de energía. Además, estos métodos tradicionales son menos efectivos y más costosos [3].

La biofiltración es un proceso que utiliza microorganismos inmovilizados en una biopelícula sobre las partículas de un material de soporte poroso. A medida que el gas pasa a través del soporte el contaminante se transfiere desde la fase gaseosa a la biopelícula y es metabolizado. En los últimos años la biofiltración se ha desarrollado efectivamente para el control de olores, incluyendo emisiones de H₂S en corrientes de gases residuales diluidas [4,5,6,7]. A pesar de que la biofiltración ha demostrado ser una tecnología eficiente, práctica y simple para el tratamiento de efluentes gaseosos, los parámetros de diseño y operación, como también los procesos microbiológicos que envuelve no están muy bien definidos. Son pocos los investigadores que han reportado detalles relacionados con el control de las emisiones de H₂S utilizando la biofiltración. Por esta razón muchos biofiltros se diseñan y operan empíricamente. Como resultado de esto el comportamiento de los sistemas de biofiltración no es predecible y las condiciones de operación pueden no ser las mejores para obtener la eficiencia deseada en el control del olor [3,8,9]. En este contexto, esta investigación se desarrolló

con el objetivo de estudiar la biofiltración de ácido sulfhídrico, evaluando la viabilidad técnica del bagazo de caña y piedra pómez como materiales de soporte, determinando además los parámetros de diseño y operación, así como las posibles interrelaciones existentes entre ellos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Planta Piloto

El trabajo experimental se realizó utilizando un sistema de biofiltración a escala de planta piloto. Figura 1, constituido por dos biofiltros cilíndricos con fondo cónico, (0.5 m de diámetro, 2.5m de alto), construidos en acrílico, cada uno empacado con un lecho de material de soporte de 1 m de altura soportado en una rejilla de acrílico. En los costados y a lo largo del lecho los biofiltros contaban con puntos para el muestreo del soporte y para medir la caída de presión y la variación de la concentración de H_2S a través del lecho. Adicionalmente en la parte superior de los biofiltros se instaló un sistema de riego para el control de la humedad del lecho y la reposición de nutrientes.

Mediante un compresor y a través de una línea de tubería se condujo aire atmosférico hasta una cámara empacada con anillos plásticos (1/2" de diámetro), donde se humidificaba por burbujeo en agua. Durante la operación se obtuvieron rutinaria y continuamente humedades relativas entre el 95.0 y el 100.0 %. El H_2S gaseoso se produjo y mezcló continuamente con el aire prehumidificado en la línea de entrada (tubería de PVC) a los biofiltros. El caudal de aire se midió en un rotámetro y se ajustó con una válvula de aguja (acero inoxidable 316), mientras que el H_2S se dosificaba con una bomba peristáltica (Masterflex 1/P73), misma que se utilizaba para controlar su caudal.

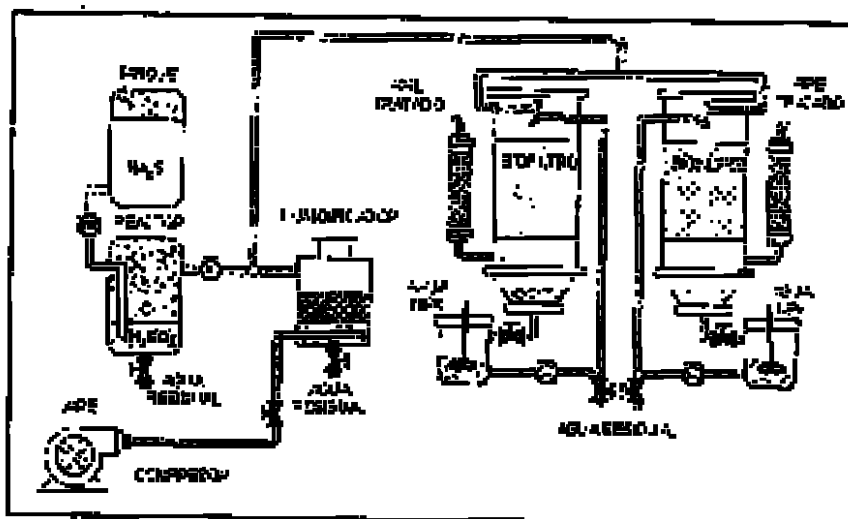


Figura 1. Diagrama Planta Piloto de Biofiltración

Soportes

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las propiedades de los materiales de soporte utilizados. El bagazo de caña es un material orgánico, poroso, que como características básicas presenta: una buena capacidad de retención de agua, un pH neutro, un bajo costo y además una capacidad de adsorción de H_2S [10]. Para mejorar las propiedades mecánicas del bagazo de caña se optó por utilizar como segundo soporte una mezcla entre este material y la piedra pómez en proporción 4 a 1 (v/v) [3]. La piedra pómez es un material inerte de origen volcánico, de alta porosidad y excelentes propiedades hidrofílicas, lo que hace altamente recomendable su uso como soporte desde el punto de vista estructural.

Tabla 1. Propiedades de los Soportes

Propiedad	Bagazo	Piedra
pH	7.5	7.0
Densidad aparente (kg/m^3)	65.0	60.0
Densidad real (kg/m^3)	136.8	202.4
Porosidad (% v/v)	50	45
Contenido de agua (% m/m)	70	55
Materia orgánica	64.3	59.3
Nitrógeno total (mg/kg)	-	-
Fósforo soluble (% m/m)	-	-
Carbono total (% m/m)	30.5	31.5
Nitrógeno total (% m/m)	4.27	1.75
Relación C/N	7.14	17.66
Tam. biom. de las partículas (μm)	28.0	35.0

Inóculos

Los soportes fueron inoculados con una mezcla, en partes iguales, de tres lodos aeróbicos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de empresas productoras de alimentos procesados (L1), bebidas gaseosas (L2) y una destilería (L3). Antes de ser mezclados los lodos fueron sometidos a un proceso de adaptación y selección de las especies microbianas capaces de utilizar azufre como fuente de energía, mediante la adición diaria de medios nutritivos cuya composición se muestra en la Tabla 2. A la mezcla obtenida (L4) se le continuó adicionando el medio 2 y ésta se utilizó para inocular los biofiltros.

Tabla 2. Composición de los medios nutritivos utilizados en la adaptación de los lodos

Lodo Acabado	Compuesto	Composición (g/L)
L1 y L2 (Medio 1)	Tiempo 15 g/L E N	2.0
	Carbonato de calcio	1.0
	Trisulfato de sodio	1.0 - 5.0
L3 (Medio 2)	Óxido	1.0 - 2.0
	Trisulfato de sodio	1.0 - 1.5
	Nitrato de potasio	0.5
	Carbonato de sodio	1.0
	Trisulfato de sodio	0.5 - 5.0

Métodos de análisis

La concentración de H_2S en gas fue medida directamente con un monitor portátil para gases Industry Scientific TML-310, (± 1 ppmv). El contenido de azufre se determinó por el método colorimétrico de Bartlett y Skoog [11]. El contenido de sulfatos se determinó por el método turbidimétrico, de Thomas y Cotton [11,12]. El pH se midió con un potenciómetro Schott, Methron 691. La humedad relativa del gas se determinó por carta psicrométrica, midiendo temperaturas de bulbo seco y húmedo. En los análisis colorimétricos se utilizó un espectrofotómetro SPECTRONIC GENESIS 5.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan en orden cronológico analizar los resultados obtenidos en

las diferentes corridas experimentales realizadas en la planta piloto de biofiltración, tomando como referencia resultados obtenidos en investigaciones similares.

Efecto de la carga másica sobre la eficiencia de remoción de H_2S

La carga másica de H_2S se define como la cantidad de H_2S que se introduce al sistema por unidad de tiempo por unidad de volumen del material de soporte ($g H_2S/m^3 \cdot h$). La capacidad máxima de eliminación de un material de soporte específico corresponde a la máxima cantidad de contaminante que puede degradarse a $1 m^3$ de soporte por hora, sin que se inhiba la actividad de los microorganismos presentes en él y se expresa en las mismas unidades de la carga [3,7,13]. Estos dos parámetros juegan un papel central en el diseño y operación de un sistema de biofiltración. La capacidad máxima de eliminación del bagazo de caña y de la mezcla bagazo - piedra pómez se determinaron a las condiciones óptimas de operación del sistema. Las concentraciones de H_2S se variaron entre 100 y 1800 ppmv con una caudal constante de aire de 141.6 L/min. (5.0 pie³/min). El lecho de los biofiltros se lavó periódicamente con agua para eliminar la acumulación de H_2SO_4 . Como se muestra en la Figura 2, las capacidades de eliminación ($g H_2S/m^3 \cdot h$) se graficaron contra la carga ($g H_2S/m^3 \cdot h$), y la capacidad máxima de eliminación del material de soporte se determinó cuando la curva alcanzó su valor máximo [3,13]. La capacidad de máxima de eliminación del bagazo se determinó en 100 $g H_2S/m^3 \cdot h$ aproximadamente y la de la mezcla bagazo piedra pómez en 80 $g H_2S/m^3 \cdot h$. Esta diferencia deja en evidencia la dependencia entre la capacidad máxima de eliminación, el material de soporte y las condiciones de operación de un biofiltro. El hecho que el bagazo de caña haya presentado un valor mayor pudo ser que al presentar partículas de menor tamaño, éste ofrecía una mayor área superficial para la inmovilización de los microorganismos y la transferencia de masa del contaminante. Otro aspecto que pudo haber

Influenciado este resultado fue la presencia de un material inorgánico en la mezcla, lo cual pudo afectar el suministro de nutrientes a los microorganismos. Finalmente, y debido a la selectividad que hacia el sulfato presenta la biodegradación del ácido sulfúrico, durante operación continua a cargas de más de 50 g $H_2S/m^2 \cdot h$, la piedra pómez presente en la mezcla se deshace por la corrosión generada debido a la acumulación de ácido sulfúrico, lo que trae como resultado el deterioro del medio.

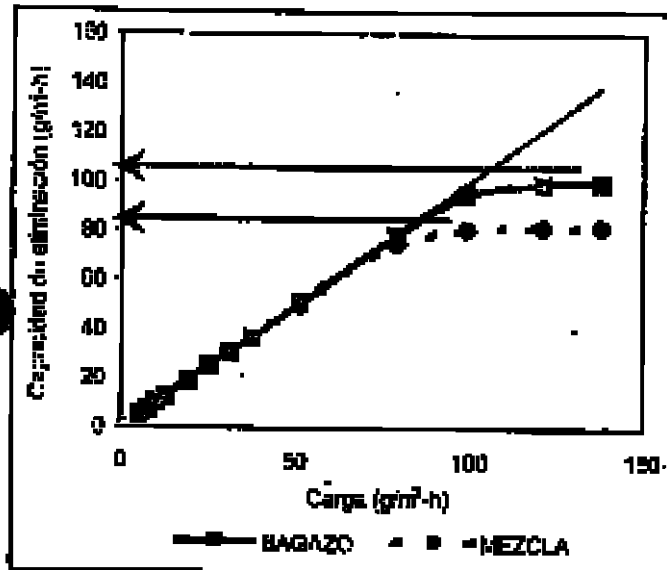


Figure 2. Determinación de la capacidad máxima de eliminación de los soportes

Efecto de la concentración sobre la eficiencia de remoción de H_2S

El efecto de la variación de la concentración de H_2S en el gas alimentado a los biofiltros sobre la eficiencia de remoción, se estudió en el rango comprendido entre las 100 y 1800 ppmv. Se observaron eficiencias de remoción mayores al 99% para todas las concentraciones probadas en el rango seleccionado. Las eficiencias no cambian siempre que la carga masica de H_2S no sobrepase el valor máximo aceptable (capacidad máxima de eliminación) para el material de soporte estudiado [3,5,7].

Efecto del contenido de humedad del material

de soporte sobre la eficiencia de remoción de H_2S

Dada la naturaleza de los biofiltros, el contenido de humedad del soporte es el parámetro de operación sobre el cual debe ejercerse un mayor control. Se analizó el efecto que se presentó sobre la eficiencia de remoción ante los cambios en el contenido de humedad de los soportes, parámetro que durante la operación continua de los biofiltros varió entre el 10 y el 70 % (p/p). Las eficiencias de remoción de H_2S mostraron consistentemente valores altos (>99%), y se observó una pequeña variación cuando el contenido de humedad de los materiales de soporte varió entre 40 y 70 % (Figura 3). Sin embargo, cuando el contenido de humedad se redujo por debajo del 40 %, la eficiencia de remoción del H_2S se redujo proporcionalmente. Cuando el contenido de humedad llegó al 10% se observó una remoción muy baja. La eficiencia de remoción obtenida cuando el material de soporte se secó probablemente se debió a la oxidación química y a la adsorción del H_2S en el material de soporte, antes que a la acción microbiana.

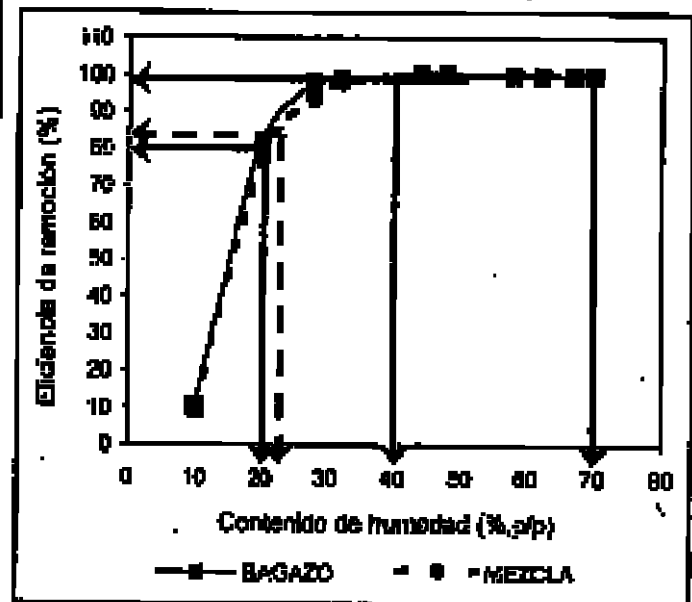


Figura 3. Efecto del contenido de humedad del material de soporte sobre la eficiencia de remoción

Cuando el contenido de humedad se redujo a 20% para el bagazo y al 22% para la mezcla

bagazo piedra - pómez la eficiencia de remoción se redujo del 99 al 52% para el bagazo y al 85% para la mezcla. Después de suministrar agua a ambos soportes para retornar el contenido de humedad al 50 % las eficiencias de remoción de ambos materiales eventualmente llegó al 99.9%, dando constancia de las propiedades hidrolíticas de los soportes.

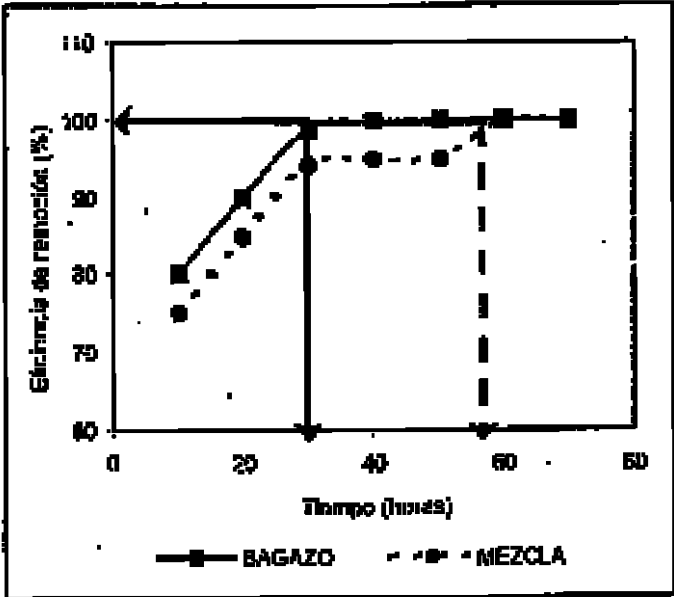


Figura 4. Tiempo requerido para que el material de soporte seco recupere su eficiencia óptima.

Como se muestra en la Figura 4, si bien la recuperación de la actividad después de rehumedecer los soportes sigue un comportamiento similar para ambos materiales, el bagazo de caña recupera completamente su eficiencia de remoción óptima (>99.9%) en 32 horas, mientras que la mezcla bagazo - piedra pómez lo hace en 60 horas. Este comportamiento pudo deberse a las diferencias estructurales entre los materiales utilizados, mostrando el bagazo una ventaja sobre la mezcla.

Efecto del tiempo de residencia sobre la eficiencia de remoción de H_2S

El efecto del tiempo de residencia sobre la eliminación del H_2S se estudió variando el caudal de gas que fluye a través de los biofiltros. La investigación se realizó a cargas de H_2S entre 5 y

50 g/m^3-h para garantizar que durante los experimentos no se sobrepasará la capacidad máxima de eliminación de H_2S . Como se muestra en la Figura 5, no hay un efecto aparente sobre la eficiencia de remoción cuando se operan los biofiltros con tiempos de residencia del gas mayores a 30 segundos. Cuando se redujo el tiempo de residencia a 20 segundos la eficiencia de remoción disminuyó en un 4 %.

En la literatura se reporta que el ácido sulfhídrico puede metabolizarse por un cultivo puro de *T. denitrificans* en 1 o 2 segundos [2,5,14]. Esta observación sugiere que la reducción en la eficiencia de remoción, a tiempos de residencia cortos, pudo deberse a que estos no eran suficientes para que se llevara a cabo por completo el proceso de transferencia del contaminante desde el aire hacia la biopelícula, haciendo que éste saliera del biofiltro sin tratamiento, lo cual no necesariamente implica que la biodegradación no tuviera lugar.

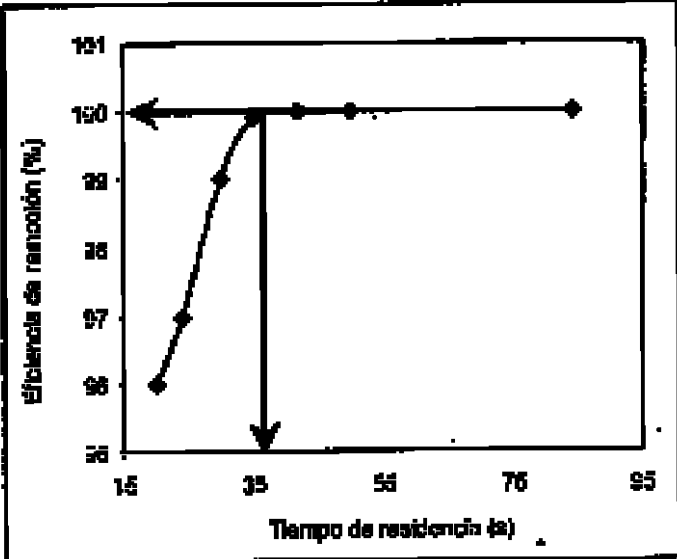


Figura 5. Efecto del tiempo de residencia sobre eficiencia de remoción.

Efecto de la acidez del material de soporte sobre la eficiencia de remoción de H_2S

La eficiencia de remoción de H_2S fue altamente dependiente del pH cuando su valor fue inferior a

3.0, pero fue prácticamente independiente a valores mayores (Figura 6). La remoción de H_2S máxima se obtuvo cuando el pH de ambos soportes fue mayor de 3.0 (99.9%). Sin embargo, y dependiendo de las especies presentes, las bacterias capaces de oxidar el azufre pueden vivir en ambientes que tengan un rango de pH amplio (1 a 8) [2,3,7,14]. También hay que tener en cuenta que a valores de pH altos se presentan con mayor énfasis una serie de fenómenos físico-químicos que hacen que se incremente la eficiencia de remoción del H_2S , tales como la oxidación química, la adsorción y adsorción en la biopelícula y el soporte [3].

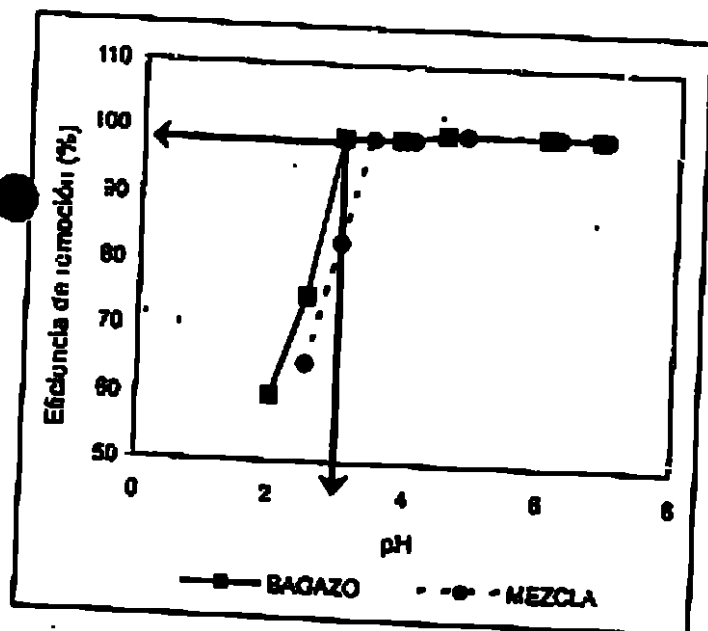


Figura 6. Efecto del pH sobre la eficiencia de remoción

Efecto del contenido de sulfatos en el material de soporte sobre la eficiencia de remoción de H_2S

El efecto del contenido de sulfatos sobre las eficiencias de remoción se determinó permitiendo la acumulación en el material de soporte del sulfato producido en la oxidación biológica del H_2S . El sistema operó a una carga másica de H_2S de $21 \text{ g/m}^3\text{-h}$ (Figura 7).

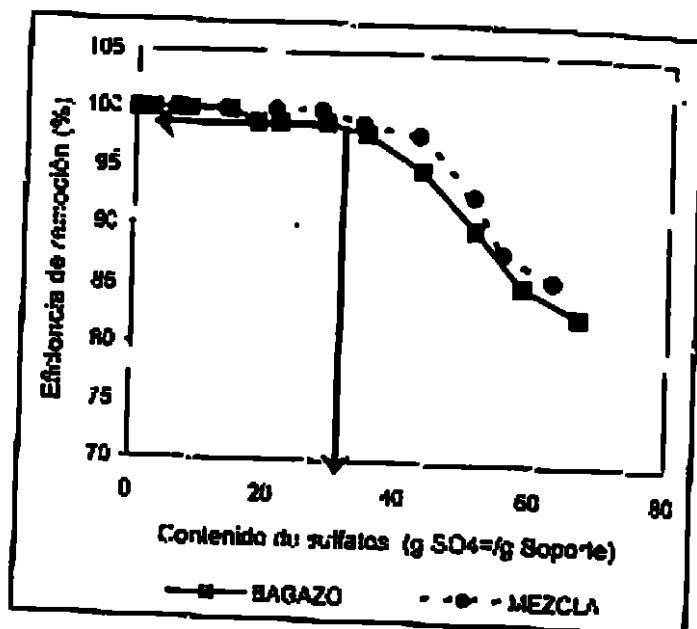


Figura 7. Efecto del contenido de sulfatos sobre la eficiencia de remoción

No se observó ningún efecto cuando el contenido de sulfato de los materiales de soporte fue menor de $30 \text{ mg } SO_4/\text{g}$ de soporte seco. Sin embargo, se observó un efecto inhibitorio significativo cuando se tuvieron contenidos de sulfatos mayores a este valor. Este resultado sugiere que cuando el contenido de sulfatos llegó a $30 \text{ g } SO_4/\text{g}$ se alcanzó un nivel crítico para el ambiente microbiológico [3,18]. Por encima de este nivel, probablemente los sulfatos presentaron un nivel tóxico y la actividad de los microorganismos se redujo considerablemente. Esta observación es muy importante para el control de las emisiones de H_2S mediante la biofiltración; ya que el sulfato es el producto final del proceso de tratamiento del H_2S por biofiltración, puede acumularse en el material de soporte sino se toma otra acción. La acumulación de sulfatos puede alcanzar, fácilmente un nivel que puede reducir la función biológica del biofiltro, especialmente a cargas de H_2S altas. Afortunadamente esta situación puede revertirse lavando periódicamente el lecho con agua, a la vez que se remueven las partículas finas acumuladas en el lecho, lo que permite prolongar la vida útil del soporte.

Evolución Microbiana

En la Figura 8 se muestra la tendencia lineal de crecimiento poblacional que presentaron, durante las primeras 24 semanas de operación de los biofiltros, los diferentes grupos tróficos presentes en los biofiltros piloto. En términos generales se observó una tendencia a la disminución de los heterótrofos [2], mohos y levaduras en ambos soportes, y de las BSO acidófilas (BSOA) y neutrófilas (BSON) en el

bagazo, comportamiento que pudo deberse a la dilución y/o acumulación de sulfatos y/o a la carencia de nutrientes. El hecho que en la mezcla de bagazo y piedra pómez las BSOA y BSOM hayan presentado una tendencia al crecimiento, refleja que este material presenta ventajas para el establecimiento de la población gracias a su mayor porosidad, capacidad de adsorción y capacidad reguladora de pH [10].

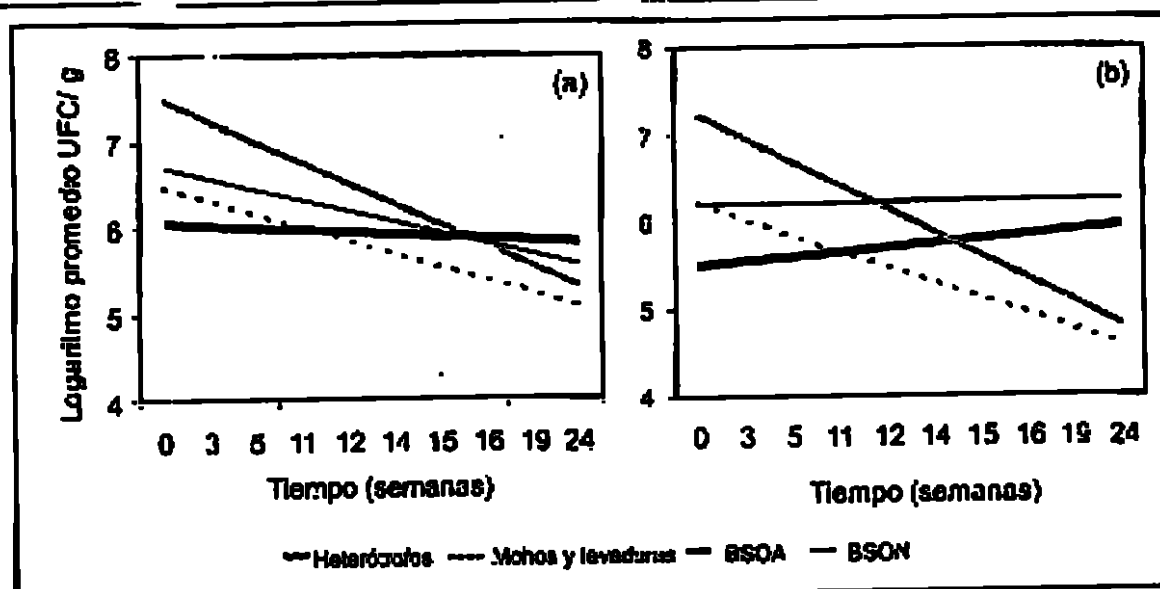


Figura 8. Logaritmo de recuentos microbiológicos promedio en biofiltro con soporte de bagazo (a) y mezcla (b) a través del tiempo

Eficiencias de remoción para los diferentes materiales de soporte

El bagazo y la mezcla bagazo - piedra pómez se estudiaron individualmente en cada una de las torres empacadas del sistema y se utilizaron continuamente durante 15 y 20 meses. Desde los primeros días de operación con ambos materiales se obtuvieron altas eficiencias de remoción (>99 %). Este comportamiento es el resultado de la inoculación de los soportes y las características específicas de estos, las cuales permitieron el establecimiento y desarrollo de las especies microbianas capaces de degradar el H_2S , además de las posibles interacciones químicas y físicas que pudieron tener lugar entre el soporte y el H_2S .

4. CONCLUSIONES

- a) El bagazo de caña y su mezcla con piedra pómez demostraron su viabilidad para ser utilizados como materiales de soporte en un biofiltro.
- a) La capacidad máxima de eliminación es específica del material de soporte y las condiciones de operación.
- a) Para tener consistentemente altas eficiencias de remoción los biofiltros deben operarse por debajo de su capacidad de eliminación máxima.
- a) Las condiciones de operación óptimas recomendadas para garantizar el control de las emisiones de H_2S utilizando un sistema de

biofiltración con bagazo y piedra pómez como materiales de soporte, son las siguientes:

- pH del material de soporte: > 5.0
- Contenido de humedad del soporte: 50 ± 20 %
- Contenido de sulfatos del material de soporte: < 30.0 mg/g
- Tiempo de residencia: > 20 segundos

5. BIBLIOGRAFÍA

1. BARTLET, J. R.; Skoog, D. A. 1954. Colorimetric determination of elemental sulfur in hydrocarbons, *Analytical Chemistry* 26(6):1008-1011
2. BHON, R. 1992. Consider biofiltration for descontaminating gases. *Chemical Engineering Progress*, abril, pp. 34-40.
3. CARLSON, D.A., Leiser C. F. 1966. Soil beds for the control of sewage odors. *J. Water Pollution control Fed.*, Vol. 38 (5), pp 829-840.
4. DE CASTRO, A.; Allen, D.; Fulthorpe, R. 1996. Characterization of the microbial population during biofiltration and the influence of the inoculum source. *Proceedings of the 1996 Conference on Biofiltration*. Reynolds Group, Austin, p 164.
5. DESORCE-DUMAS, J.R.; Kowal, S.; Cloirec, R. 1997. Microbiological oxidation of hydrogen sulphide in a biofilter. *Can. J. Microbiol.*, 43, 264-271.
6. DEVINNY, J.; Deshusses, M.; Webster, T. 1999. *Biofiltration for air pollution control*. Lewis Publishers. cap. 9, pp. 211-250; cap. 5, p. 81-110.
7. HARRISON, A.F. 1984. The acidophilic *Thiobacilli* and other acidophilic bacteria that share their habitat. *Ann. Rev. Microbiol.* 38, 265-292.
8. LIZAMA, H. M.; Sankey, B.M. 1993. Conversion of hydrogen sulphide by acidophilic bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, pp 438-441
9. MADIGAN, M. I; Martinko, J.M; Parker, J. 1996. *Brink. Biology of microorganisms*. 5 ed. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, p 703.
10. OTTENKRAFF, S. P., et al. 1986. Biological elimination of volatile xenobiotic compounds in biofilters. *Bioproc. Eng.* 1: 61-69.
11. SHEEN, R.E.; Kahler, R.L y Ross, C.M. 1955. Turbidimetric determination of sulfate in water. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 7-4, 262.
12. SINGHAL V, et al. 1998. Biofiltration: an innovative air pollution control technology for H₂S emissions. *Departamento de Ingeniería y Tecnología Química Universidad de Punjab*. Chandigarh, India.
13. SUBLETTE, R., Sylvester, M.D. 1987. Oxidation of hydrogen sulfide by *Thiobacillus denitrificans*: Desulfurization of natural gas. *Biotechnol. and Bioengin.* XXIX, 249-257.
14. SUCROMILES S. A. *Laguna de Oxidación Anaeróbica, Planta de Control Ambiental*. Palmira, Valle. 1997
15. THOMAS, J.P. y Cotton J.E. 1954. A turbidimetric sulfate determination. *Water & Sewage Works*, 101:426.
16. TORRES-CARDONA, M. et al. 1993. Biological process for the elimination of sulphur compounds present in gas mixtures. *United States Patent*, Number 5,236,677. Aug. 17.
17. YANG Y.; Allen E.R. 1994. Biofiltration control of Hydrogen Sulfide. 1. Design and operational parameters. *Air and Waste* 44: 863-868.
18. YANG, Y.; Allen, E. 1992. Biofiltration on air pollution control technologies for hydrogen sulphide emissions. *Industrial environmental chemistry*. Plenum Press. New York, p. 273-287.

93

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
Rad: 02-021258- -00007-0000
Fe: 2007-02-15 12:50:06 Dep. 2007 SUECRACIONES
Tra 2 PATENTES
Ere: 1 REG DEFECTO
Act 444 RESPUESTA REGUE Fc 2007: 21

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 07 - 13,872
FECHA : FEBRERO 15 DE 2007

CONSIGNACION

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	VR. PAGO
COMP. AJOTEC	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	000-90110-4	34739045	15/02/2007	99,000.00

CONCEPTO

CONT. PATENTE	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1 50005-01-03 CAMBIO DE MODALIDAD Y MODIFICACION	12 BANCAS Y LETRAS COMERCIALES	99,000.00
	TOTAL :	99,000.00

VALOR: NOVENTA Y NUEVE MIL PESOS

RESPONSABLE : _____

RECIBO DE CAJA PLACADO AL EXPEDIENTE No. _____