

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA
UTILIZACIÓN DE UN REACTOR ANAERÓBICO
UASB EN LAS PURGAS DE EQUIPOS DE
SEDIMENTACIÓN UTILIZADOS EN EL
TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES AVÍCOLAS

Preparado por: Ing. Sergio Zamora Sauma

ABRIL, 2001

Análisis de factibilidad técnica para la utilización de un reactor UASB en las purgas de equipos de sedimentación utilizados en el tratamiento de aguas residuales avícolas

INTRODUCCIÓN

El tratamiento biológico anaeróbico de aguas residuales presenta en determinadas condiciones costos de operación e inversión más bajos que el tratamiento biológico aeróbico. Sin embargo, las características del agua residual a tratar son las que determinan la factibilidad técnica y financiera de utilizar este tipo de sistemas anaeróbicos. En este artículo se presenta el estudio de factibilidad técnica para utilizar un anaeróbico de alta tasa (reactor UASB) para el tratar aguas residuales provenientes de un proceso de sedimentación primaria de aguas residuales avícolas.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para el estudio se utiliza un reactor anaerobio de flujo ascendente de 100 m³ de volumen y 61 m³ de volumen efectivo para tratamiento del agua residual. El reactor contiene lodo anaerobio granular generado *in situ* en las antiguas condiciones de operación del reactor (velocidad ascensional de 6 m/h). El equipo de sedimentación del que provienen las purgas es un flotodecantador, equipo que realiza tanto la flotación como la separación de sólidos suspendidos por sedimentación. Además, se tiene un tanque de 47 m³ el cual se utiliza como acidificador o tanque de hidrólisis. En la figura 7.1 se observa un diagrama del equipo experimental.

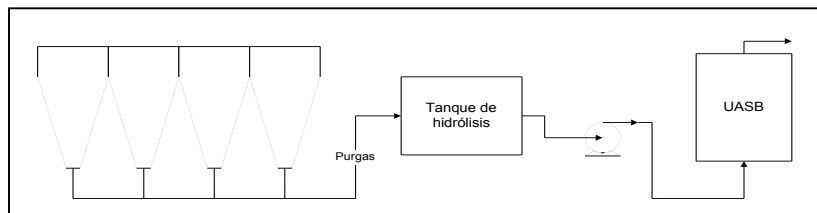


Figura 1 Descripción del equipo experimental.

Adicionalmente, se utiliza un reactor a escala de laboratorio para observar el proceso que pueda ocurrir en el reactor a gran escala. Una bomba de pulsos envía el agua residual desde un balde hacia un reactor a escala laboratorio. El agua residual ingresa por el fondo del reactor y sale por la parte superior. Se agrega un flujo de agua residual al reactor del laboratorio con una velocidad ascensional igual a la que presenta el reactor a escala industrial.

RESULTADOS

Caracterización fisico-química del agua residual

En el siguiente cuadro se presenta la caracterización de las aguas residuales de purga de un flotodecantador de aguas residuales de una planta avícola, y que opera como un sistema de sedimentación primario.

Cuadro 1 Caracterización fisico-química de las aguas.

Parámetro	Valor
pH	6.83
Sólidos sedimentables, ml/(1 hr)	20
DQO (demanda química de oxígeno), mg/l	3100
DQO filtrado, mg/l	660
DBO ₅ (demanda biológica de oxígeno), mg/l	2080
Grasas y aceites, mg/l	610
Nitrógeno total, mg/l	204
Fósforo total, mg/l	18.3
Azufre total (expresado como sulfato), mg/l	10
Ácidos grasos volátiles (3 días después), meq/l	2.1

Caracterización del lodo

El reactor UASB contiene lodo anaerobio en el momento en que se inició la experimentación. El reactor tiene un lodo granular. Estos lodos corresponden a gránulos con un diámetro promedio de 4 mm y partículas de lodo floculento. Se observó una muestra de lodos al microscopio, previamente procesada por el método de tinción de gram directa. Al microscopio se observan sólo dos especies de bacterias en el lodo, ambas bacterias son bacilos de tamaño grande, gram negativas. En la literatura se reporta que es común encontrar dos especies de bacterias metanogénicas que predominan en los reactores anaeróbicos de alta tasa. El reactor UASB es un reactor anaerobio de alta tasa. “Las observaciones más comunes de bacterias se refieren al cambio en población de dos metanógenos

acetoclásticos *Methanosarcina sp.* y *Methanosaeta sp.*” [Barber, 1999]. A pesar de que no se tiene certeza del hallazgo, es posible que las bacterias observadas sean *Methanosaeta sp.* y *Methanosarcina sp.*.

Al lodo se le realizó una prueba de sedimentación. El lodo anaerobio de Pipasa tiene lodo granular y lodo floculento. Se separó el lodo granular del lodo floculento de una muestra de lodo, se midió la velocidad de sedimentación y se obtuvieron los resultados de cuadro 1.

Cuadro 1 Resultados de prueba de velocidad de sedimentación.

Tipo de lodo	Velocidad de sedimentación Vs (m/h)
Granular	68.4
Floculento	5.8

Comportamiento hidráulico del lodo en el reactor

El caudal de las purgas del flotodecantador es de 2.54 m³/h, y pasa por un área transversal 22.4 m², que corresponde al área horizontal a través de la cual pasa el flujo ascensional de agua residuales en el reactor. La velocidad ascensional es de 0.11 m³/hr. Tanto el lodo granular como el floculento tienen una velocidad de sedimentación lo suficientemente alta como para permanecer en el reactor bajo éstas condiciones de flujo.

Se realizaron tres perfiles de lodos para observar el comportamiento y avance del manto de lodos en el reactor durante la experimentación. En figura 2 se observa como el manto de lodos se encuentra más denso en el fondo, y la concentración de lodos va disminuyendo hasta la altura de 2.71 m, que es la altura máxima de volumen efectivo del reactor.

La primera curva se obtiene cuando no hay agua residual entrando al reactor y la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor es de 12 g/l. Todo el lodo se encuentra casi completamente en el primer metro de reactor. En el segundo caso, se ha reproducido en poco más el lodo y se tienen una concentración de 14 g/l. En este caso se realizó el perfil a una velocidad ascensional de 0.22 m/h. Se observa como el manto de lodos se expande abarcando una altura del manto de 1.6 m de la altura del reactor. Finalmente, al realizarse el tercer perfil de lodos, el manto de lodo presenta una concentración de sólidos suspendidos volátiles de 19 g/l. Con una velocidad ascensional de 0.15 m/h se tiene que el lecho de lodos se expande cubriendo toda la altura efectiva del reactor, hasta la altura de 2.71 m, que es la altura máxima de volumen efectivo de reactor.

En el momento en que el reactor alcanza una concentración de sólidos suspendidos volátiles de 19 mg/L, el reactor se encuentra con un manto de lodos bien desarrollado. En el cuadro 2 se observa la fracción de lodo que se encuentra por debajo de diferentes alturas del reactor. Según se observa en la tabla se tiene que el 71% del lodo se encuentra por debajo del primer metro de reactor, el 90% está por debajo de 1.60 m y el 95% del lodo anaerobio está por debajo de los 2 metros. La altura del manto del lodo se suele establecer en el punto en que se encuentra el 95% del lodo. Por esta razón se determina que la altura del manto de lodo en de 2 metros.

Por otro lado, la altura efectiva del reactor es de 2.71 m, por lo que el manto de lodos se encuentra en un 74% de la altura efectiva del reactor. Se considera que el manto está bien desarrollado cuando sobrepasa 1.5 m del reactor y abarca al menos las dos terceras partes de la altura efectiva del reactor. Por esta razón, se considera que en este momento el reactor cuenta con un manto de lodos bien desarrollado y se puede proceder a realizar la medición de eficiencia de DQO en el reactor.

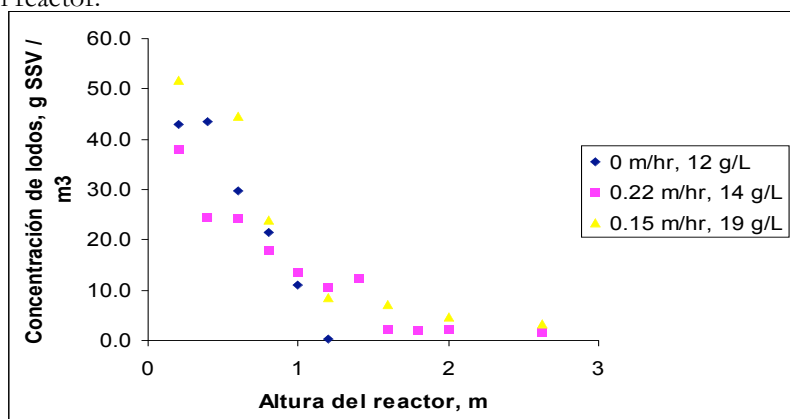


Figura 3 Pruebas de perfil del manto de lodos realizados al reactor UASB.

De las pruebas de velocidad de sedimentación y por los perfiles de lodos realizados se concluye que el lodo anaerobio del reactor es un lodo con excelentes cualidades de sedimentación y se encuentra bien adaptado a las dimensiones del reactor. El lodo es adecuado para soportar la carga hidráulica de las purgas del flotodecantador.

Pruebas de actividad metanogénica

Se le realizó una prueba de actividad metanogénica a 26°C al lodo del reactor. En la figura 2 se observan los resultados de dichas pruebas. Se observa en la figura que en la segunda prueba se produce un aumento en la actividad metanogénica. La actividad metanogénica máxima corresponde al punto en la curva en que se da la mayor pendiente. En el cuadro 3 se observa el valor de la actividad metanogénica máxima del lodo analizado comparado con datos de este mismo parámetro encontrados en la literatura. Según los datos observados, el lodo tiene una excelente capacidad metanogénica en comparación con datos encontrados en la literatura.

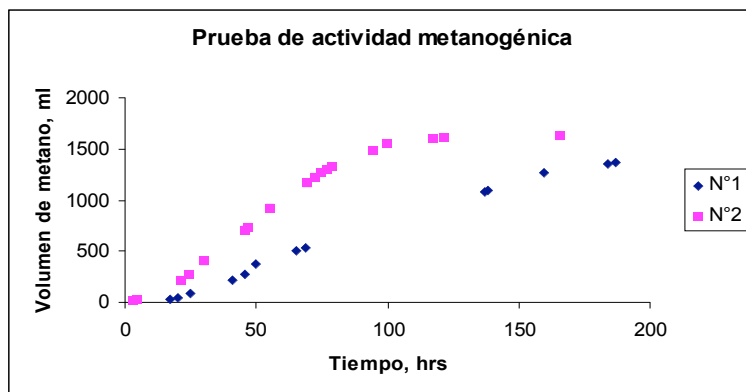


Figura 2 Prueba de actividad metanogénica.

Utilizando los datos de actividad metanogénica y de concentración de lodos en el reactor se puede obtener la cantidad máxima de DQO en forma de AGV que puede tratar el reactor. Bajo las condiciones actuales, el reactor puede asumir un máximo de 2430 kg DQO/ día en forma de AGV. Si se agrega una carga mayor, es seguro que parte de los AGV no van a poder ser metanogenizados por las bacterias y se puede presentar la acidificación del reactor. Según el caudal y la concentración de DQO del agua de las purgas, la cantidad máxima de DQO que se va a bombear al reactor es de 126 kg DQO / día, así que, suponiendo que todo el DQO es acidificable, no se espera que se presente sobrecarga de AGV.

Cuadro 2 Resultados de prueba de actividad metanogénica.

Origen del lodo granular	Actividad metanogénica máxima g DQO/ (g SSV · día)
Pipasa	2.1
Singapore [Yan, 1997]	1.72
Nedelco [Field, 1987]	0.954

Según lo expuesto en el párrafo anterior, la cantidad del lodo del reactor tiene la capacidad metanogénica suficiente para tratar la carga orgánica proveniente de las purgas, sin que se desestabilice su equilibrio.

Determinación de eficiencia de remoción del reactor UASB para las purgas del flotodecantador

Una vez determinado que el lodo se encuentra bien desarrollado y que no se van a presentar problemas de acidificación en el reactor, se midió la eficiencia de remoción en tres días distintos. En el cuadro 3 se presentan los valores obtenidos.

Cuadro 3 Eficiencia de remoción de DQO obtenida en reactor anaerobio

Medición	DQO de entrada DQO _o (mg/l)	Carga espacial orgánica CEO kg DQO / (m ³ · día)	Eficiencia de remoción de DQO η	Eficiencia de remoción de DQO filtrable η_f
1	2550	2.0	85%	---
2	2370	2.1	81%	94%
3	3400	2.3	85%	93%

La eficiencia de un sistema anaerobio depende de ciertas variables como la concentración de DQO de entrada, el tiempo de residencia, la degradabilidad anaerobia del agua residual, etc. Sin embargo, obtener una eficiencia de remoción por arriba de 80%, ya es un resultado que se puede valorar como exitoso para un proceso de tratamiento anaerobio. Además, es importante resaltar que parte de la DQO que sale con el agua residual va en forma de lodo anaerobio ya estabilizado. Al filtrar estos sólidos suspendidos, se obtiene una eficiencia de remoción promedio de 93%.

En el cuadro 4 se observan las concentraciones de DQO del agua residual de descarga. En el efluente del reactor, se tiene que más del 50% de la DQO se encuentra como sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos, que

dan lugar a esta DQO suspendida, provienen tanto de sólidos suspendidos que no fueron digeridos en el reactor, así como lodos anaeróbicos arrastrados por el efluente.

Cuadro 4 Concentraciones de DQO del agua residual de descarga del reactor anaerobio

Medición	Concentración de DQO DQO _s (mg/l)	Concentración de DQO filtrado DQO _{sf} (mg/l)	Concentración de DQO susp. DQO _{ss} (mg/l)
1	390	--	--
2	444	140	304
3	505	230	275

Eficiencia del reactor UASB para distintas CEO

Se procedió a aumentar progresivamente la carga espacial orgánica (CEO) para observar el comportamiento del reactor a CEO mayores.

Cuando el aumento en la CEO fue de un 50%, empezó a salir un sobrenadante por la tubería de salida del biogás. Además, por la parte superior del reactor en la zona donde se encuentran las canaletas de salida del efluente se observó una gran cantidad de burbujas. Como consecuencia de esto, el efluente del reactor empezó a salir con muchos sólidos, parte de ellos lodo, y parte de ellos material orgánico que viene adsorbido en las burbujas de gas.

Tal como se describió en la sección anterior el lodo del reactor UASB tiene la capacidad de tratar un máximo de 2430 kgDQO/día. Para la tasa de purgas normales, la carga de DQO es de 126 kgDQO/día, es decir un 5% del máximo total. Al aumentarse en un 50% la carga, se pasa de un 5% a un 7.5%, lo que indica que no va a haber problemas en el sentido de sobrepasar la capacidad del lodo para degradar el DQO que entre al reactor. En los casos en que se sobrepasa esa capacidad del lodo se presenta la acumulación de ácidos grasos volátiles. El problema que se presenta en el reactor es un problema de contacto, ya que al quedar los lodos en el fondo, y el sólidos en la parte superior, no hay contacto entre ellos y no hay degradación de los residuos.

Pruebas a escala laboratorio

Para poder observar el proceso que ocurrió en el reactor, se implementó un reactor en escala de laboratorio para simular el proceso. El objetivo de esta prueba es observar el mecanismo mediante el cual se produce el problema descrito en el apartado anterior. Al conocer el mecanismo por el cual se produce el problema, es más fácil encontrar una solución.

Se hizo ingresar al reactor a escala laboratorio agua residual de las purgas del flotodecantador con una CEO (carga espacial orgánica) de 12 kgDQO/(m³ día); ésta es una carga alta para un reactor anaerobio. Al empezar a ingresar la carga se logró observar la acumulación de sólidos por el siguiente mecanismo:

1. El agua residual con los sólidos suspendidos pasa a través del lodo.
2. El lodo empieza a producir biogás el cual comienza a arrastrar los sólidos suspendidos hacia la campana. Se observó como se acumula una capa de material orgánico en la parte superior del reactor, cubriendo toda la campana por dentro. Al ir pasando el agua, la cama de lodos permanece en fondo y los sólidos se quedan en la parte superior, por lo que el contacto entre la materia orgánica y el lodo anaerobio es muy pobre.
3. Luego de un día, ya existe una capa de sólidos cubriendo el espacio de la campana del biogás. Los sólidos suspendidos en la campana y el lodo en el fondo del reactor no tienen contacto, por lo que no hay digestión de los sólidos. La campana empieza a perder su función de separar el lodo arrastrado por el gas, ya que se encuentra llena de sólidos.

Se concluye que la acumulación de sólidos se presentó cuando se aumentó la carga espacial orgánica. El manto de lodos no está degradando los sólidos que suben y permanecen en la campana. Por esta razón, el reactor UASB tal como se encuentra no resulta adecuado para cargas espaciales orgánicas mayores de 2.3 kg DQO / (m³ día).

Uno de los elementos principales en la operación de un reactor UASB es la separación del lodo y el biogás en las campanas. Este es el proceso que permite que se logre mantener una concentración alta de bacterias en el reactor y el proceso sea eficiente. Si este mecanismo de separación del lodo del biogás que asciende se ve interrumpido, el reactor UASB pierde uno de sus elementos necesarios para poder operar, ya que se pierde la capacidad de mantener el lodo dentro del reactor. Por esta razón, se interrumpió el proceso, ya que el reactor perdió uno de sus características fundamentales.

Hidrólisis del agua residual de entrada al reactor

En el tanque de hidrólisis se realiza la degradación de grasas y sólidos suspendidos a compuestos más simples, y el tiempo de residencia es un parámetro muy importante en el proceso de hidrólisis. Para la tasa de purga normal del flotodecantador se tenía un tiempo de residencia de 28 horas. Al aumentarse la tasa de purga en un 50 % disminuye a 18 horas el tiempo de residencia del agua residual en el tanque de hidrólisis. De esta forma, al aumentarse la tasa de

purgas del flotodecantador no solo se aumenta el flujo másico de grasas y sólidos sino que disminuye la hidrólisis de estos en el tanque. El tiempo de residencia en el tanque de hidrólisis corresponde a una variable no controlada que pudo haber afectado el desempeño en el reactor a CEO mayores.

Se determinó que el reactor UASB puede tratar eficientemente el agua residual de las purgas hasta una carga de 2.3 kgDQO/(m³·d). Sin embargo, no se recomienda aumentar la carga más allá de este valor por la situación antes mencionadas. Ahora bien, si se logra mejorar la hidrólisis en el tanque, o para una cantidad de grasas y aceites menor, se puede explorar la capacidad del reactor para tratar una mayor carga espacial orgánica. Es importante mencionar que usualmente los reactores UASB se utilizan para aguas residuales con baja concentración en grasas y sólidos suspendidos por lo que no sorprende que el proceso de hidrólisis tenga importancia en este caso específico.

CONCLUSIONES

El agua residual de las purgas presenta una carga orgánica que la hace apta para ser tratada en forma anaerobia y contiene nutrientes en cantidades adecuadas para el desarrollo de las bacterias. La concentración de grasas y aceites de agua residual es alta, por lo que es importante utilizar un tanque de hidrólisis para disminuir sus concentración en el influente al reactor. El flujo de agua residual producido por las purgas del flotodecantador es de 2.54 m³/h.

El lodo del reactor se encuentra adaptado al agua residual a tratar, lo que llevó a un arranque del reactor sin problemas. El lodo del reactor tiene condiciones de actividad metanogénica y de sedimentación que lo hacen adecuado para tratar el agua residual de las purgas. La concentración de lodos en el reactor alcanzó 19 kgSSV/m³ y el manto de lodos es de 2 m de altura, ocupando el 74% de la altura efectiva.

El reactor UASB es una tecnología de tratamiento que permite tratar las purgas sedimentadores primarios de aguas avícolas para cargas espaciales orgánicas entre 2.1 y 2.3 kgDQO/(m³·día). Se obtuvieron eficiencias de remoción de DQO entre 81% y 85%.

Una vez que se aumenta la CEO por arriba de 2.3 kgDQO/(m³·día), se presentan problemas de acumulación de sólidos en las campanas. Este problema lleva a que el reactor UASB deje de operar adecuadamente, ya que los lodos arrastrados por el biogás ya no son retenidos en el reactor. Las campanas pierden su función de separar el sólido biológico que el biogás arrastra consigo.

El mecanismo por el que se lleva a cabo el proceso de atascamiento de las campanas es el siguiente: el biogás producido arrastra los sólidos suspendidos hacia la campana y estos permanecen en las campanas hasta llenarlas completamente. No hay contacto entre el lodo y los sólidos suspendidos, por lo que el proceso de digestión anaerobia se ve interrumpido.

Es conveniente analizar la factibilidad de operar un reactor anaerobio de flujo invertido para aguas residuales de grasas y sólidos los puede redisolverse de forma que no se acumulan para subir tasas

BIBLIOGRAFÍA

Harper, S.R., Ross, C.C., Valentine, G.E. y Pohland, F.G., Pretreatment of poultry processing wastewater in a pilot-scale anaerobic filter, Water Science and Technology, vol. 22, N° 9, Great Britain, (1990).

Pol, L.H., Arranque y operación de reactores UASB en Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodos, Santiago de Cali, (1987).

Sayed, S., Anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater using the UASB process, Thesis Wageningen Agricultural University, Holanda, (1987).

Yan, Y. y Tay, J., Characterization of the granulation process during UASB start-up, Water Research, vol. 31, n° 7, Gran Bretaña, (1997).

Zegers, Frank, Microbiología del proceso anaeróbico en Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodos, Santiago de Cali, (1987).