

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA EN FILTRO ANAEROBIO: INFLUENCIA DEL MEDIO DE SOPORTE

RESUMEN

El proceso de extracción de almidón de yuca genera residuos con una alta carga contaminante medida como DQO (Demanda Química de Oxígeno) y carácter ácido. La aplicación de la tecnología de filtro anaerobio con tres medios de soporte (cáscara de coco, anillos de guadua y lecho mixto compuesto por residuos de ladrillera y cáscara de coco) mostró que el medio que permitió encontrar las mejores condiciones operacionales y eficiencias de remoción de DQO y SST (70 y 90% respectivamente) fue la cáscara de coco, además de ser muy competitiva en precios y facilidad de acceso comparado con los otros medios evaluados.

PALABRAS CLAVES: agua residual; extracción de almidón de yuca; carga contaminante; DQO; filtro anaerobio; medio de soporte.

ABSTRACT

The cassava starch extraction produces wastewater with a high contamination level (COD: chemical oxygen demand) and acid character. The application of the anaerobic filter technology with three different supports medium showed that the best medium in terms of removal efficiencies COD and TSS (70 and 90% respectively) was the coconut shells. Additionally, this alternative is more competitive on prices and easy access as compared with another supports mediums.

KEYWORDS: anaerobic filter; cassava starch extraction; COD; contaminant load; support medium; wastewater

1. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente 80% del procesamiento de yuca del país, para la obtención de almidón, es realizado por la comunidad rallandera asentada en el Departamento del Cauca, a lo largo de la carretera panamericana [1]. Esta actividad causa impactos negativos sobre los cuerpos receptores de la zona, debido a la alta carga contaminante que poseen las aguas residuales generadas durante el proceso productivo.

Desde la década de los 80, en el país se han realizado estudios a escala de laboratorio y piloto, con énfasis en la aplicación de la tecnología de tratamiento biológico anaerobio de las aguas residuales generadas en el proceso de extracción de almidón de yuca, alcanzándose eficiencias de remoción de DQO superiores a 70% y siendo el filtro anaerobio uno de los sistemas más aplicados, entre otras razones, debido a que este tipo de sistemas no implica altos costos de construcción, operación y mantenimiento, no requiere equipos sofisticados y puede utilizar medios de soporte de bajo costo y fácil consecución en la región.

El objetivo general del estudio fue evaluar la influencia del tipo de medio de soporte sobre el desempeño de un filtro anaerobio para el tratamiento de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón agro de yuca, siendo la cáscara de coco, los anillos de guadua y un lecho mixto compuesto por residuos de ladrilleras

(ladrillo y teja de barro partidas) y cáscara de coco los medios estudiados.

2 EL FILTRO ANAEROBIO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.1 Generalidades

El tratamiento de las aguas residuales ha sido preocupación de la humanidad desde muchos años atrás; la aplicación de los procesos biológicos para tal fin, se remonta al siglo XVII cuando se empezaron a usar sistemas rústicos para el control de la contaminación y de los riesgos sanitarios y de salud pública asociados a la disposición de dichos desechos. Los procesos biológicos pueden ser aerobios o anaerobios, dependiendo del aceptor de electrones.

La digestión anaerobia es el proceso de transformación de la materia orgánica a dióxido de carbono y metano, bajo la acción de grupos específicos de bacterias las cuales transforman la materia orgánica en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

La calidad y cantidad de los residuos generados en el proceso de extracción de almidón de yuca varían significativamente, debido a factores como edad del tubérculo, tiempo de almacenamiento, tipo de proceso utilizado, etc. Las aguas residuales generadas, presentan una elevada carga orgánica medida como DQO y DBO, además de una elevada presencia de sólidos disueltos y compuestos cianurados de alta toxicidad.

PATRICIA TORRES
Ingeniera Sanitaria, PhD
Profesora Asociada
Universidad del Valle
patoloz@univalle.edu.co

JENNY A. RODRÍGUEZ
Ingeniera Sanitaria, MsC
Profesora Asociada
Universidad del Valle
yennyrod@univalle.edu.co

IRIS EUGENIA URIBE
Ingeniera Sanitaria, Esp.
Universidad del Valle
iriseuge@hotmail.com

La cantidad de agua utilizada en el proceso de extracción es variable y del orden de 20 m³/ton yuca procesada y se generan residuos con una DQO del orden 2500 – 5500 mg/l, representando una carga contaminante de 15.5 y 3.5 ton/día de DQO y DBO respectivamente [2].

El Filtro Anaerobio es un reactor en cuyo interior se dispone de un medio de soporte (lecho), con flujo ascendente o descendente y régimen de flujo básico de tipo pistón. Es una de las alternativas de mayor aplicación para aguas residuales industriales de concentración media y alta (superior a 1500 DQOmg/l) y con buen desempeño en el tratamiento de desechos del procesamiento de la carne, la leche, ácido láctico (presente en cantidades elevadas en residuos fácilmente acidificables como las del proceso de extracción de almidón de yuca [3]) y de otros productos agroindustriales como la caña de azúcar y el café.

En este tipo de reactor, la remoción de la materia orgánica ocurre a lo largo de toda la altura del medio de soporte; por tal razón, [4] recomienda que deben ser construidos preferiblemente con alturas superiores a 2.5 metros. En el tratamiento de efluentes más diluidos, la remoción de materia orgánica ocurre principalmente en la parte inferior del filtro anaerobio, pudiéndose usar alturas más reducidas de medio de soporte [5].

2.2 El medio de soporte

El uso de medio de soporte en los reactores biológicos permite la retención de sólidos al interior del mismo, a través del biofilme formado en su superficie y, principalmente, en los intersticios del lecho. Este material generalmente ocupa entre 50 a 70% de la altura total del reactor. Las principales finalidades del medio de soporte, son:

- Mejorar el contacto entre el sustrato y los sólidos biológicos contenidos en el reactor.
- Facilitar un flujo uniforme en el reactor.
- Permitir la acumulación de gran cantidad de biomasa.
- Actuar como una barrera física, evitando que los sólidos sean arrastrados por fuera del sistema de tratamiento.
- Actuar como un dispositivo para separar los sólidos de los gases.

REQUISITO	OBJETIVO
Ser estructuralmente resistente	Soportar el propio peso, adicionado al peso de los sólidos biológicos adheridos a su superficie.
Ser biológica y químicamente inerte.	Evitar reacción entre el lecho y los microorganismos.
Ser suficientemente liviano.	Evitar la necesidad de estructuras complejas, así como permitir la construcción de filtros más altos para reducir áreas de tratamiento.
Poseer superficie	Permitir la adherencia de

REQUISITO	OBJETIVO
específica y porosidad elevadas.	microorganismos y reducir la posibilidad de colmatación.
Permitir la rápida proliferación de microorganismos	Disminuir el tiempo de arranque del reactor.
No presentar superficie lisa	Garantizar una porosidad elevada
Precio reducido	Viabilizar económicamente el proceso

Fuente: [6]

Tabla 1. Requisitos de medios de soporte en filtros anaerobios

El medio de soporte puede estar constituido por materiales como piedras, bloques cerámicos, espumas, materiales plásticos, conchas de ostras y mejillones, bloques modulares de PVC, granito, esferas de polietileno y bambú. Las principales características de los medios de soporte estudiados son:

Cáscara de coco. El coco es un producto agrícola de diversas aplicaciones en la industria de aceites y grasas; sin embargo, su aprovechamiento no es completo, sobretodo si se tiene en cuenta que la estopa y la cáscara se pierden, ocasionando grandes volúmenes de desperdicio.

El cuesco de coco corresponde a la capa que se encuentra en la cubierta fibrosa (estopa) y que encierra la pulpa. Su forma es esférica, de gran dureza y con un espesor aproximado de 3 a 5 mm dependiendo de la variedad. [7] mencionan que el cuesco está compuesto principalmente por lignina, celulosa y pentosano, y representa entre un 15 y 19% del peso total del fruto.

Los desperdicios del coco (estopa y cáscara) pueden ser considerados como un medio de soporte apropiado para filtros anaerobios ya que, además de ser un material abundante y de muy bajo costo, posee condiciones óptimas como: *i.* gran superficie específica para adherencia de microorganismos; *ii.* alto porcentaje de vacíos (83%) que facilitan el flujo; *iii.* bajo peso específico que permite que las infraestructuras de contención sean menos complejas y, *iv.* vida útil prolongada. Hasta el momento, solo se tiene reporte de una experiencia en el pacífico colombiano, donde se utilizó la cáscara de coco como medio de soporte en el tratamiento de aguas residuales, en una industria camaronera, con resultados aceptables de remoción de materia orgánica.

Anillo de guadua [8] Después de varios siglos, por fin se está estudiando la guadua en Colombia. Ahora se sabe cómo reproducirla, manejarla. También se sabe que un guadua establecido, no se acaba fácilmente y que es necesario cosechar continuamente las guadas maduras para que los rebrotes puedan crecer.

La guadua, por ser perenne, de alto rendimiento de madera por hectárea, por alcanzar su madurez en un periodo relativamente corto (3 a 6 años), por su longitud, trabajabilidad y buena durabilidad, se ha convertido en una especie forestal nativa con mayores posibilidades

económicas, ya que su utilización en la construcción y la industria, permiten disminuir costos cuando se emplea como materia prima

El primer uso conocido de la guadua como material de soporte de filtros anaerobios es el reportado por [9] cuando se evaluó este sistema para el tratamiento de las aguas mieles del beneficio del café. Los buenos resultados obtenidos (altas eficiencias de remoción de materia orgánica, bajo costo y fácil operación, además de producir energía en forma de metano) permitieron la construcción de varios reactores en diferentes beneficiaderos, manejados por personas sin educación avanzada, en zonas alejadas y con recursos económicos escasos.

Teja de Barro Partida, como Medio de Soporte. La materia prima en la producción de la teja es la arcilla, que resulta de la descomposición de rocas silíceas y aluminosas, generalmente por acción atmosférica. En su fabricación se involucran 4 operaciones: preparación de la pasta, moldeo, desecación y cochura. En si, los materiales cerámicos son muy resistentes al ataque de agentes químicos, tienen una buena resistencia a la compresión y capacidad de absorción de agua.

La Teja de Barro es un producto de amplia utilización, principalmente en la industria de la construcción. Como las empresas que las fabrican manejan altos volúmenes de producción, se genera gran cantidad de desperdicios (material imperfecto), debido a la fragilidad en la textura del producto terminado; esto hace que la obtención de tejas partidas se facilite, y que al darle uso a este material se contribuya a solucionar el problema que tienen las empresas productoras en cuanto al almacenamiento y disposición final de los desperdicios. Generalmente este material es dispuesto en lagos o terrenos, deteriorando el entorno paisajístico y ambiental.

2.3. Ventajas y Limitaciones [10].

La presencia de material de soporte en el filtro anaerobio, ayuda a retener efectivamente el lodo activo, lo que contribuye a mejorar la eficiencia del sistema en términos de remoción de DQO y SST. Además de retener en su interior gran cantidad de sólidos biológicos, el sistema tiene gran capacidad de superar choques de carga y reponerse satisfactoriamente ante la exposición moderada a agentes tóxicos o inhibitorios.

Otra de sus ventajas, es la inmejorable respuesta del medio biológico ante las condiciones de parada del reactor por periodos largos de tiempo. Esta capacidad natural de superación del sistema, se debe a que únicamente se destruyen los microorganismos de las capas más exteriores, recobrándose inmediatamente con los que se encuentran latentes en las capas más interiores; por consiguiente, no requiere del vaciado inmediato y nueva puesta en marcha de la instalación, como ocurre en otros sistemas [10].

Algunas de las limitaciones del filtro anaerobio son: formación de cortocircuitos causados por la generación

de líneas preferenciales de flujo a través del medio de soporte; dependiendo del tipo de material de soporte, una pequeña o muy grande fracción de volumen del reactor se pierde debido al volumen de la biomasa retenida; si el agua residual a tratar tiene una alta concentración de sólidos suspendidos, el medio de soporte se colmata rápidamente; debido a la resistencia que ofrece el soporte al paso del agua residual, sólo una parte de la biomasa retenida, está realmente en contacto con el desecho; los costos de inversión inicial pueden ser significativamente más altos en comparación con otros procesos anaerobios debido a la adquisición del material de soporte.

2.4. El Filtro Anaerobio en el tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca.

Estudios realizados desde la década de los 80 por la CVC y la Universidad del Valle, mostraron la factibilidad de depuración de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón agrio de yuca, mediante procesos anaerobios.

En 1995, [11] y [12] estudiaron la biodegradabilidad anaerobia de la fracción soluble e insoluble de esta agua residual, observando que la mayor parte de la DQO se transformó en metano y hubo una producción baja de material celular, situación característica de la degradación anaerobia. El agua residual presentó valores de pH de 4.2 unidades, DQO de 4500 mg/l, concentraciones de cianuro de 6.6 mg/l y SST de 2500 mg/l. Al final de la investigación, se alcanzó el 78.4% de biodegradabilidad anaerobia para la muestra total y 92% para la fracción soluble. El cianuro presente en el agua residual, no causó efecto inhibitorio sobre los microorganismos.

Verificada la factibilidad de degradación biológica anaerobia de estas aguas residuales, se evaluaron en escala de laboratorio diversos sistemas: UASB, filtro anaerobio y fases separadas [2]. En general, los mejores resultados fueron alcanzados con el reactor de fases separadas y el del lecho fijo (filtro anaerobio), con eficiencias de remoción de DQO alrededor de 90%. Se observó que uno de los aspectos fundamentales del buen desempeño del sistema es la necesidad de controlar la capacidad buffer, adicionando alcalinizantes que garanticen alcalinidad de bicarbonatos suficiente para neutralizar los ácidos volátiles.

3. METODOLOGÍA

3.1 El sistema de tratamiento

El filtro anaerobio fue construido en una rallandería del norte del Departamento del Cauca y fue diseñado para tratar toda el agua residual generada en el proceso de extracción del almidón. Hidráulicamente, el sistema funciona totalmente a gravedad, con flujo ascendente. El agua residual es captada a la salida de los canales de sedimentación de la mancha y previo a la entrada del

filtro se cuenta con un sistema de dosificación de cal para ajuste de pH afluente.

3.2 El sustrato

El sustrato utilizado en esta investigación fue el agua residual del proceso de extracción de almidón agrio de yuca, colectada al final de los canales de sedimentación de la mancha.

3.3 El inóculo

Los medios de soporte fueron evaluados en períodos diferentes en el mismo reactor. La Tabla 2 muestra las 3 etapas de evaluación del filtro anaerobio, caracterizadas cada una de ellas, por el uso de un medio de soporte diferente.

Etapas de evaluación	Medio de soporte
1	Cáscara de coco
2	Anillos de guadua
3	Lecho mixto*

* residuos de ladrillera (teja y ladrillo partido) y cáscara de coco

Tabla 2. Etapas de evaluación del filtro anaerobio

Para inocular el filtro anaerobio en la etapa 1, en que el medio de soporte fue la cáscara de coco, se utilizaron 120 kilos de estiércol de vaca obtenidos en fincas aledañas al sitio de la investigación. Este estiércol se dispuso en el medio filtrante. Para aclimatar el inóculo, se llenó el reactor con agua residual y se mantuvo en batch durante 30 horas. Para las etapas 2 y 3, en que se evaluaron los otros medios de soporte, se utilizó como inóculo, el lodo que se recuperaba del filtro y había sido generado en la etapa anterior.

3.4 Arranque

El arranque se define como la fase en la cual, el sistema se adapta al agua residual que va a tratar, mejorando paulatinamente su eficiencia. Esto depende en gran parte de la alta o baja actividad microbiana que se logre en el reactor [13] y de la carga orgánica que se esté aplicando [14]. Al iniciar el arranque, se le aplican al reactor cargas orgánicas mucho más bajas que aquellas para las que fue diseñado, con el objetivo de que los microorganismos se vayan aclimatando y se produzca un aumento considerable de la biomasa.

Una vez puesto en marcha el reactor, se incrementó el caudal afluente, disminuyendo gradualmente el tiempo de retención desde 25 hasta 12 horas que es el TRH de diseño. El criterio para modificar la condición operacional fue la respuesta del sistema en términos de las variables de control (AGV, pH, Alcalinidad, IB) y de seguimiento (DQO, SST). Durante esta fase, es fundamental evitar la acidificación del reactor, ajustando el pH afluente y controlando las cargas aplicadas.

En la Tabla 3, se presentan el tipo y la frecuencia de medición de los parámetros, que se utilizaron para el seguimiento del estudio.

	Parámetro	Frecuencia	Determinación
AGUA RESIDUAL Afluente y Efluente	- pH	Diaria	Potenciométrica
	- IB Efluente	Diaria	Titulométrica
	- AGV	Diaria	Titulométrica
	- Alcalinidad Efl.	Diaria	Titulométrica
	- DQO total	2/semana	Colorimétrica.
	- DQO soluble	1/T.R.H.	Colorimétrica.
	- SST	2/semana	Gravimétrica
LODOS	- SST	Una vez	Gravimétrica
	- SSV	Una vez	Gravimétrica

Tabla 3. Parámetros y Frecuencia de análisis durante el arranque

Las técnicas de análisis son las establecidas en [15].

El procedimiento de arranque y operación del filtro anaerobio en cada etapa estudiada fue similar, iniciándose con tiempos de retención del orden de 25 horas y reduciendo gradativamente a medida que el sistema respondía satisfactoriamente a los criterios establecidos.

3.5 Acondicionamiento de pH

Debido a las características ácidas del agua residual y a la tendencia de fermentarse rápidamente, fue necesario adicionar alcalinidad al sistema. El alcalinizante evaluado fue cal apagada, por ser de bajo costo y de fácil consecución en el mercado regional.

4 RESULTADOS

4.1 El sustrato

El agua residual generada en la rallandería evaluada presentó color grisáceo y alta turbiedad debido a que el sistema de separación del almidón y de la mancha no es completamente eficiente, perdiéndose parte de estos materiales junto con el agua residual.

La mancha es un subproducto del proceso de extracción que contiene almidón de baja densidad y baja calidad, con un nivel de proteína alto (materia orgánica). La Tabla 4 presenta las características promedio del agua residual.

PARÁMETROS	Unidades	Valor
pH	(Unidades)	4,7
Temperatura	° C	21
DQO Total	mg O ₂ /l	3.947
DQO soluble	mg O ₂ /l	2589
DBO ₅ 20 °C	mg O ₂ /l	3.300
Fósforo Total	mg P/l	21,2
Nitrógeno Total	mg /l	191
Cianuros	mg CN ⁻ /l	1,2
Sól. Suspendidos Tot.	mg /l	1.190
Sol. Totales	mg /l	3030

Tabla 4. Caracterización Promedio del Agua Residual

La tabla muestra que, de acuerdo con la relación entre la DBO y la DQO próxima de 1.0, esta agua residual es altamente biodegradable; además de presentar suficientes niveles de nitrógeno y fósforo; sin embargo, se observa un elevado nivel de sólidos suspendidos y bajo valor de pH, factores que deben controlarse en el proceso.

La concentración de cianuros del agua residual, como evidenciados en trabajos anteriores en la zona, no llegan a ser inhibitorios del proceso biológico anaerobio.

Un aspecto de gran importancia que se debe controlar en el proceso de extracción del almidón agrio de yuca, es el paso directo de mancha hacia el Filtro Anaerobio, pues su presencia causa múltiples interferencias, como el aumento significativo de sólidos suspendidos, la formación de material flotante que dificulta la recolección del efluente y la salida del biogás, además del incremento en la carga orgánica.

4.2 El inóculo

En la tabla 5 se muestran las características típicas de estiércol vacuno utilizado como inóculo para el arranque del reactor en la etapa 1, en la cual se utilizó como medio de soporte la cáscara de coco.

Características	Comportamiento
Actividad metanogénica (kg DQO/kg SSV.d)	0.12
Sedimentabilidad	+/-
Flotación	problema
Arrastre	sí
Disponibilidad	buena
SSV (g/l)	30-100

Fuente: [9]

Tabla 5. Caracterización del inóculo

Diez días antes de iniciar el arranque, se realizaron actividades para acondicionar el sistema. Estas actividades fueron la disposición al interior del reactor de los materiales componentes del lecho filtrante incluido el estiércol de vaca usado como inóculo, limpieza de tuberías y demás accesorios, adaptación de la manguera de dosificación de alcalinizante, prueba de estanqueidad y llenado del filtro con agua residual para aclimatación en batch del inóculo.

4.3 El filtro anaerobio

La Tabla 6 muestra las principales características del filtro anaerobio cuando fue operado con los tres medios de soporte evaluados.

Etapa	Altura (m)	Costo por m ³ (\$/m ³)	Porcent. de vacíos estimado	Volumen utilizado (m ³)	Total Medio Soporte (\$)	Eficiencia de remoción	
						DQO (%)	SST (%)
1	1.15	37.314	0.6	15.6	582.100	70	90
2	0.8	68.957	0.7	8.1	558.550	65	85
3	0.3	82.163	0.3	7.12	787.615	60	75
	0.4	37.314	0.6	5.43			

Tabla 6. Características del Filtro Anaerobio con diferentes medios de soporte

En ella se observa que, independiente del tipo de medio de soporte, se consiguen eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO) y de sólidos suspendidos, superiores a 60 y 75%, lo que representa una reducción

significativa de la carga contaminante descargada a los cuerpos receptores de la zona.

Comparando los tres medios evaluados, la cáscara de coco permitió alcanzar los mejores resultados de remoción de la DQO y los SS. Adicionalmente, ofrece muchas ventajas al ser utilizada como medio de soporte: amplia superficie específica que favorece la adherencia de microorganismos; bajo peso específico que permite utilizar estructuras de contención sencillas; vida útil prolongada y bajo costo por metro cúbico, lo que reduce notablemente la inversión inicial total del sistema de tratamiento.

Con relación al material de soporte basado en residuos de ladrilleras, se observó que la consecución en la zona no fue tan fácil como se esperaba, presentándose costos de adquisición y transporte elevados comparados con la cáscara de coco y la guadua. La limitación fue tan significativa que debió combinarse el medio de soporte con cáscara de coco.

Desde el punto de vista de la Carga Orgánica Volumétrica - COV máxima aplicada, se alcanzaron valores de 5.7 kgDQO/m³.d, con un TRH óptimo de 15 horas. Para estas condiciones, las eficiencias de remoción fueron 75 y 88% para DQO y SST respectivamente.

Para mantener el pH del sustrato afluente al sistema en el rango óptimo que favorezca el crecimiento de bacterias anaerobias y especialmente metanogénicas (6.9-7.5 unidades), es absolutamente necesario disponer de un sistema de aplicación constante de alcalinizante, que permita flexibilidad para variar las dosificaciones de acuerdo a los TRH y COV que se estén manejando.

Las continuas interrupciones en la producción de agua residual afectan negativamente el arranque del reactor pues en cada reinicio de la alimentación, ocurre un fenómeno similar al de una sobrecarga, lo que dificulta el proceso de adaptación de las bacterias al sustrato y por lo tanto prologa el período de arranque.

La utilización de estiércol como inóculo, fue favorable para el arranque del sistema, puesto que desde el inicio se obtuvo remoción de materia orgánica. Pese a esto, el lodo generado al interior del reactor fue de mala calidad, con poca tendencia a la granulación y una actividad metanogénica muy baja.

El sistema evaluado presenta múltiples ventajas que favorecen sustancialmente el proceso de transferencia de tecnología a los pequeños y medianos industriales del beneficio de la yuca, a la vez que facilita el cumplimiento de la legislación vigente en cuanto a vertimientos industriales y pago de tasas retributivas y se disminuye el impacto ambiental sobre las fuentes receptoras. Estas ventajas, son básicamente la sencillez en las labores de operación y mantenimiento favorecida por la ausencia de aditamentos eléctricos o mecánicos, la posibilidad de reducir costos de implementación al requerir infraestructuras sencillas, áreas de tratamiento mínimas

ajustables a la topografía local y aprovechamiento de materiales existentes en la zona; además, la obtención de una fuente alterna de energía a través del biogás generado en el reactor.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que las eficiencias de remoción de DQO y sólidos suspendidos obtenidas, no superan el 70% y el 80% respectivamente.

El TRH óptimo para operar el reactor fue de 15 horas.

Se evidenció una significativa inestabilidad en el pH efluente, indicando la poca capacidad buffer que el sistema adquirió y que generaron constantes problemas de acidificación.

Los anillos de guadua pueden ser un material de relleno para ser utilizado en el filtro anaerobio; sin embargo, es probable que sea conveniente garantizar una profundidad mínima de 1.0 m, ya que la usada en el estudio (0.80 m) mostró que era insuficiente, lo que puede desfavorecer la estabilización del reactor. Uno de los indicativos de la inestabilidad del sistema fue el comportamiento variable del pH efluente a pesar de que el suministro de alcalinizante en el afluente proporcionaba un pH relativamente constante y próximo a 10 unidades.

La mancha presente en el agua residual afectó significativamente el funcionamiento del sistema de tratamiento ya que formó una capa flotante que fácilmente se rompía y era arrastrada con el efluente.

Debido a la inestabilidad presentada en el comportamiento del pH, AGV y dadas las eficiencias de remoción menores, comparadas con los resultados observados cuando fue usada cáscara de coco como material de relleno, se considera que el filtro anaerobio con este último material es hasta el momento la mejor opción para el tratamiento de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón agrio de yuca.

6. RECOMENDACIONES

Como recomendaciones generadas del estudio se plantea:

La necesidad de confinar el medio de soporte ya sea a través de una malla o una capa de piedra, para evitar su levantamiento. Esto es debido a que las microburbujas del biogás que se genera dentro del reactor, por la dificultad de ser liberadas se van acumulando hasta ejercer una presión tal sobre el relleno que provoca su flotación.

El TRH usado para operar el reactor debe ser lo más bajo posible, pues la naturaleza ácida del sustrato hace que este tienda rápidamente a la fermentación y por tanto, cuando se prolonga la permanencia del agua residual en

el sistema de tratamiento se favorece la acumulación de AGV y la consecuente acidificación del mismo, lo que muestra una dificultad en mantener la capacidad buffer necesaria para evitar esta situación

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RIVIER, M et al. Almidón agrio de yuca en Colombia. CIAT – CIRAD – CETEC – UNIVALLE. Cali. 2001.
- [2] ROJAS, O. (1999). Evaluación del comportamiento de tres sistemas de tratamiento anaerobio para la depuración de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Tesis de Maestría. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- [3] ARROYAVE, G; ROJAS, O.; TORRES, P. Depuración anaerobia de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en sistema de fases separadas. *XI SINAFERM*. Simposio Nacional de Fermentaciones. Universidade Federal de Sao Carlos. Brasil. 1996.
- [4] YOUNG, J.C. Factor affecting the design and performance of upflow anaerobic filters. University of Arkansas – Fayetteville. 2000
- [5] CHERNICHARO, C.A. Principios do tratamento biológico de águas residuárias. Reatores anaeróbios, volumen 5. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, Brasil. 1996
- [6] PINTO, J.D; CHERNICHARO, C. A. Escória de alto-forno. Una nova alternativa de meio suporte para filtros anaeróbios. In: Anais do III simposio Ítalo – Brasileiro de Engenharia Sanitaria e ambiental. 1996.
- [7] SILVA, J., RODRÍGUEZ, C. Carbón activado. Estudio de las condiciones apropiadas para su obtención a partir de cáscara de coco. Tesis. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. 1990.
- [8] Federación nacional de cafeteros. 1990.
- [9] OSORIO, P. Reactores anaerobios de alta tasa usados para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café. CVC. Cali, Colombia. 1992.
- [10] CORDOBA, A., SALAS, D. Tratamiento de las aguas residuales de la pequeña industria de extracción de almidón de yuca utilizando un biofiltro anaerobio con lecho de paja. Tesis, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Cali, Colombia. 1996.
- [11] ALTAMIRANO, C.P. Biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales provenientes del proceso de extracción de almidón de yuca. Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería, Cali, Colombia. 1995.
- [12] OVIEDO, A. Biodegradabilidad anaerobia del material soluble de aguas residuales provenientes del proceso de extracción de almidón de yuca. Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería, Cali, Colombia. 1995.
- [13] YAN, Y. TAY, J. Influence of substrate concentration on microbial selection and granulation during start – up of upflow anaerobic swdgc blanket reactors. *Water Environment Research*. Vol 68, No. 7. 1997.
- [14] GIJZEN H.J., KANSIIME, F. Comparison of start up of an upflow anaerobic sludge blanket reactor and a polyurethane carrier reactor. *In press*. Aceptado en *Water Science and Technology*.
- [15] APHA, AWWA Y WPCF. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 16th edition. USA 1985.