

REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL LÁCTEA UTILIZANDO MICROORGANISMOS BENÉFICOS

TREATMENT OF DAIRY INDUSTRY WASTEWATER USING BENEFICIAL MICROORGANISMS

REDUÇÃO DA POLUIÇÃO INDUSTRIAL DAS ÁGUAS RESIDUAIS EM LEITE USANDO MICROORGANISMOS BENÉFICOS

OSCAR FERNANDO HERRERA A.¹, EDUARDO JAVID CORPAS I.²

RESÚMEN

El agua residual generada en la industria láctea posee altas cargas contaminantes que evidencian impactos en los cuerpos receptores y por tanto hacen necesarios técnicas más potentes para alcanzar las reducciones impuestas por la normatividad ambiental vigente. Los resultados aquí expuestos muestran la capacidad de una mezcla de microorganismos benéficos (MB) para reducir cargas contaminantes en agua residual generados en una planta de producción en la industria láctea, teniendo como indicadores, demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos Totales (ST) para dos tipos de residuos, aguas de lavado (mañana) y aguas de proceso (tarde), se encontraron reducciones en la DQO de 71,65 % (tarde) y 66,96 % (mañana), en la DBO de 68,58 % (tarde) y 61,22 % (mañana), en los ST de 70,45 % (tarde) y 70,34 % (mañana) y para los SST se alcanzaron reducciones de 78,77 % (tarde) y 71,48 % (mañana). Los resultados obtenidos experimentalmente fueron analizados mediante un Análisis de varianza (ANOVA) permitiendo encontrar niveles de interacción entre las variables de respuesta seleccionadas. Finalmente se hacen re-

Recibido para evaluación: 19/03/2011. **Aprobado para publicación:** 18/03/2012

1 MSc. Ingeniería. Docente Investigador del Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos y ambientales GIDTA. Universidad Católica de Manizales. Manizales – Colombia.

2 Esp. Microbiología Industrial. Docente Investigador del Grupo de Investigación y desarrollo tecnológico para el Sector Agroindustrial y Agroalimentario INDETSA. Universidad Católica de Manizales. Manizales – Colombia

Correspondencia: oscarherrera10@gmail.com

comendaciones necesarias para alcanzar el cumplimiento de la Legislación Ambiental vigente en cuanto a calidad y uso del recurso hídrico.

ABSTRACT

The wastewater generated in the dairy industry has high pollutant loads show impacts on receiving hydrological systems, so, more powerful techniques are necessary to achieve the reductions imposed by environmental Colombian regulations. The research process leading to the results presented here evaluated the ability of a mixture of beneficial microorganisms (MB) to reduce contaminants in waste loads generated at a plant in industrial wastewater treatment dairy, with the indicators, biological oxygen demand (BOD5), chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS) and total solids (TS) for two different types of waste, wash water (morning) and process water (afternoon), there were reductions in COD of 71,65% (afternoon) and 66,96% (morning) in the BOD5 of 68,58% (afternoon) and 61,22% (morning) in the ST of 70,45% (afternoon) and 70,34% (morning) and for SST reductions were achieved 78,77% (afternoon) and 71,48% (morning). Experimental results were analyzed through an analysis of variance (ANOVA) allowing find some level of interaction between selected response variables. Finally, some recommendations are necessary to achieve compliance with environmental Colombian regulations regarding quality and uses of water resources.

RESUMO

Os efluentes gerados na indústria de laticínios tem elevadas cargas poluentes de impactos em corpos receptores e, portanto, as técnicas mais poderosas são necessárias para atingir as reduções impostas pelos regulamentos nacionais. O processo de pesquisa que conduziu ao resultado apresentado aqui avaliou a capacidade de uma mistura de microrganismos benéficos (MB) para reduzir os contaminantes em cargas de resíduos produzidos em uma planta industrial em produtos lácteos tratamento de águas residuais, com os indicadores, a demanda biológica demanda de oxigênio (DBO5), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos totais (ST) por dois diferentes tipos de resíduos, água de lavagem (amanhã) e água de processo (à tarde), houve redução nos valores DQO de 71,65% (à tarde) e 66,96% (amanhã) na DBO5 de 68,58% (à tarde) e 61,22% (amanhã) no ST de 70,45% (à tarde) e 70,34% (amanhã) e TSM para reduções foram alcançados 78,77% (à tarde) e 71,48% (amanhã). Os resultados experimentais foram analisados através da análise de variância (ANOVA) permitindo que você encontre algum nível de interação entre as variáveis de resposta selecionada. Finalmente recomendações são necessárias para atingir a conformidade com os regulamentos colombiana em matéria de qualidade e usos dos recursos hídricos.

INTRODUCCIÓN

Las industrias relacionadas con el sector lácteo son muy variadas, tanto como los productos lácteos presentes en el mercado. Debido a su complejidad, no es posible generalizar sobre la contaminación generada, que es

PALABRAS CLAVES:

Contaminación industrial, Sistemas sépticos, Microorganismos benéficos, Residuos lácteos.

KEYWORDS:

Industrial pollution, Septic systems, Dairy waste, Beneficial microorganisms.

PALAVRAS CHAVE:

Águas residuais de leite, Poluição Industrial, Sistemas sépticos Microorganismos benéficos.

muy específica del tipo de industria que se considere. Por lo general, la leche es recibida en las primeras horas de la mañana, y se procesa en las horas siguientes [1]. Así pues, los residuos líquidos se producen de manera no continua a través del día permitiendo grandes variaciones en la carga contaminante durante el proceso de producción.

Cuando la leche llega a la planta, ésta es procesada y durante esta secuencia de operaciones unitarias se utilizan varios equipos, de esta manera, la variedad de productos y los métodos de producción, hacen que las aguas residuales de la industria láctea, tengan características muy variables, pues de acuerdo al producto que se elabore se afecta considerablemente la carga contaminante. Entre los residuos más importantes se encuentran leche diluida, grasas, sólidos suspendidos, nitrógeno y lactosuero y en aguas de lavado se encuentran residuos alcalinos y químicos. En la producción de queso, por ejemplo, se produce un suero rico en lactosa pero pobre en proteínas que origina altas cargas orgánicas en los efluentes de proceso.

De conformidad con las prioridades del sector lácteo, la conservación del medio ambiente y la reducción del impacto sobre éste, es necesario que en países productores de leche, como Colombia que actualmente ocupa el tercer lugar en Suramérica [3], la inclusión de tecnologías eficientes para el tratamiento de las aguas residuales producto de esta actividad sea inmediata. El objetivo de los diferentes tipos de tratamiento es, reducir la carga de contaminantes del vertido (o agua residual) y convertirlo en inocuo para el medio ambiente y la salud humana. Uno de los principales tipos de tratamientos son los sistemas biológicos, una revisión más específica sobre estas técnicas puede ser consultada en [4], estos métodos son desarrollados principalmente por bacterias que digieren la materia orgánica presente en las aguas residuales. Las sustancias presentes en dichas aguas, se utilizan como nutrientes para los microorganismos, convirtiéndose éstos en tejido celular y diversos gases, sin embargo, estos procesos a pesar de ser eficientes, también son extremadamente sensibles a cambios tales como pH, temperatura, concentración de materia orgánica y metales pesados [6]. Estas variaciones pueden conducir a la ineficiencia del sistema, por lo cual, se requieren estrategias complementarias para potenciar la reducción de la contaminación orgánica [7].

Adicionalmente, la legislación colombiana en los decretos 1594 de 1984 [8], 3930 de 2010 y 3100 de

2003 establecen los criterios de calidad de agua para vertimientos industriales y el cobro de tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales, obligando a que las empresas establezcan estrategias para favorecer la reducción de la carga contaminante (DBO5, DQO, SST) y así poder reducir el pago de impuestos y destinar el agua, posterior a su tratamiento, para actividades agrícolas y pecuarias, sin que constituyan un riesgo significativo para el deterioro de cultivos y animales.

En el caso particular de aguas residuales de industrias lácteas se reportan importantes trabajos que consideran distintas alternativas de tratamiento en función de las características específicas del efluente [9].

Una opción importante para mejorar el funcionamiento de las plantas de agua residual en las empresas lácteas es el uso de Microorganismos Benéficos (MB), una mezcla de bacterias, hongos y levaduras, los cuales favorecen principalmente la reducción de olores, manejo de aguas y residuos sólidos [10,13]. Los microorganismos benéficos (MB) han sido reportados como una alternativa frente al problema ambiental de la contaminación hídrica, puesto que esta mezcla puede utilizar los compuestos contaminantes presentes en el agua residual como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, reduciendo así sus concentraciones en el agua.

Algunas bacterias que integran la mezcla de MB, como *Lactobacillus spp.*, producen ácido láctico, que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa [11]. Otro género de MB lo constituye *Saccharomyces spp.*, cuyas secreciones son sustratos útiles para bacterias ácido lácticas [12]. MB es una tecnología desarrollada en la década de los ochenta en Okinagua, Japón como resultado de algunas investigaciones sobre la eficacia de microorganismos que actuaban de forma individual en procesos de degradación y transformación de componentes. La mezcla de estos microorganismos producía una relación de sinergia entre ellos encontrando efectos positivos; de esta manera nació el desarrollo de la tecnología de MB y su uso en diversos campos y aplicaciones es actualmente un tema de investigación en auge [11,12,18,19,20,21,22].

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad de una mezcla de MB para reducir la carga contaminante representada principalmente por DBO5, DQO, ST y SST en una planta de tratamiento de aguas

provenientes del procesos productivos en la industria láctea. Se tuvieron como variables, la concentración de la mezcla de MB, utilizándose dos concentraciones (2% y 4%), sembradas en el tanque séptico para establecer la existencia de diferencias significativas en la reducción de DBO₅, DQO, ST y SST con respecto al comportamiento de la planta sin MB (concentración 0%), e igualmente el tipo de carga orgánica almacenada en el afluente, (teniendo en cuenta que la planta almacena en la mañana esencialmente aguas de lavado y en la tarde los residuos correspondientes primordialmente al lactosuero proveniente del proceso de elaboración de queso campesino), para determinar la influencia del tipo de materia orgánica en los porcentajes de remoción de las cargas contaminantes como variables de respuesta.

MÉTODO

Lugar de estudio

El proyecto se ejecutó en la planta de tratamiento de agua residual industrial láctea de una empresa ubicada en San Félix – Salamina (Caldas-Colombia).

Tipo de estudio

Esta investigación se enfocó en un estudio descriptivo, por medio del cual se caracterizó el comportamiento de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) industrial láctea en cuanto a la remoción de DBO₅, DQO, ST y SST al utilizar MB en concentraciones del 0, 2 y 4% y, teniendo en cuenta la procedencia de la materia orgánica (aguas provenientes del lavado y desin-

fección (mañana) o aguas de producción constituidas principalmente de lactosuero (tarde)).

Características de la planta residual

Se utilizó un sistema diseñado para un tiempo de residencia de 24 horas, compuesto por dos tanques homogenizadores de 2000 L, una trampa de grasa de 250 L, un tanque séptico de 1000 L (en el cual se realizó la siembra de la mezcla de MB) y un filtro anaerobio de 1000 L.

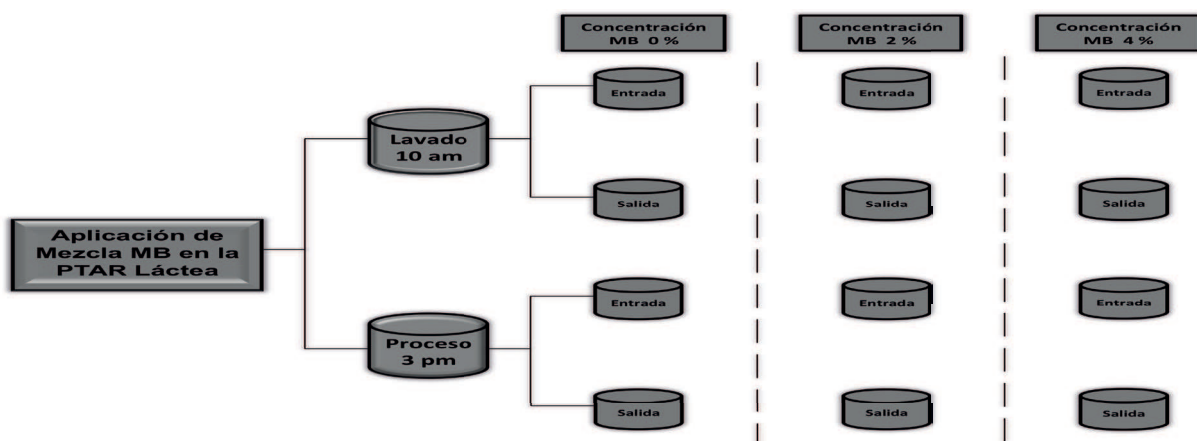
Toma de muestras

Para determinar las concentraciones de DBO₅, DQO, ST y SST se tomaron muestras puntuales durante 9 semanas, de acuerdo al diseño experimental establecido previamente, en el tanque de homogenización (entrada) y a la salida del sistema (filtro anaerobio). Las muestras fueron tomadas y enviadas al laboratorio de calidad de agua, para ser analizadas en el término de las siguientes 18 horas por medio de metodologías internacionalmente avaladas [14].

Desarrollo del trabajo de campo

La figura 1 muestra las condiciones aplicadas, de acuerdo al diseño experimental realizado, en la PTAR industrial láctea para determinar la reducción en la concentración de DBO₅, DQO, ST y SST al utilizar MB al 0, 2 y 4%. Teniendo en cuenta el ciclo de funcionamiento del sistema, se establecieron dos horas de muestreo (10 a.m. y 3 p.m.), de manera que se pudiera inferir acerca de la influencia del tipo de materia orgánica contenida en el afluente sobre la actividad de

Figura 1. Condiciones específicas aplicadas en la fase práctica del estudio



la mezcla de MB y consecuentemente, sobre los porcentajes de reducción de las variables indicadoras de contaminación evaluadas.

Inicialmente se realizó mantenimiento de la planta y después de 48 horas se procedió a establecer una línea base (0% MB) de los porcentajes de remoción de DBO5, DQO, ST y SST, tomando dos muestras semanales. Luego se efectuó mantenimiento del sistema y dos días después se realizó la siembra de la solución de MB al 2% en el tanque séptico, para entonces realizar las mediciones de las cuatro variables fisicoquímicas de interés, lo que permitió determinar el lapso temporal en el cual la reducción de la carga contaminante se estabilizaba. Posteriormente, se realizó análisis fisicoquímico respectivo de las muestras de entradas y salidas, durante las siguientes 8 semanas con el objeto de obtener seis repeticiones y de esta manera lograr una valoración significativa de la reducción de las variables de respuesta. A continuación se realizó un mantenimiento al sistema, dos días después se procedió a sembrar la mezcla MB a una concentración del 4% y se esperó un lapso de cuatro semanas, etapa preestablecida para la estabilización de la reducción de DBO5, DQO, ST y SST de acuerdo a ensayos y muestreos fisicoquímicos preliminares, para entonces realizar los correspondientes análisis de interés.

Método de análisis

Los métodos utilizados en los análisis fisicoquímicos de la DBO5, DQO, ST y SST especifican en el cuadro 1

RESULTADOS

El resultado de las remociones de DQO es mostrada en las figuras 2 y 3 respectivamente, es claro que el mayor porcentaje de remoción se presentó para una concentración de MB de 2 % y éste equivale a 71,65% y sucede cuando la planta está operando para tratar aguas de proceso productivo, las cuales son fácilmente biodegradables por su alto contenido en proteínas, sales minerales y carbohidratos (lactosa); en ausencia de microorganismos eficientes (MB 0%) se alcanzan resultados cercanos a 58,35% lo que indica un incremento significativo en la eficiencia de la planta tras la siembra de los MB, sin embargo estos resultados no son tan representativos cuando se procesan aguas de lavado ya que principalmente contienen componentes alcalinos, ácidos y desinfectantes

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos monitoreados durante el estudio

Parámetro	Método	Equipo
Demanda química de oxígeno (DQO)	Reflujo cerrado por método colorimétrico 5220 D. (Merck y APHA,AWWA,WPCF, 1989 [14,16,17])	Tubos de digestión Termoreactor y espectofotómetro (PHARO 300)
Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	Método - 5210 B APHA,AWWA,WPCF, 1989 [14,16,17]	Botellas de incubación winkler-incubadora de aire controlado a 20 °C
Sólidos totales (ST)	Método gravimétrico 2540 B a 103-105°C. (APHA,AWWA,WPCF, 1989 [14,16,17]).	Horno de secado (103-105 °C) Desecador Balanza analítica (METLER EA-200)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Método gravimétrico 2540 D a 103-105°C. (APHA,AWWA, WPCF,1989 [14,16,17]).	Horno de secado (103-105 °C) Desecador Balanza analítica (METLER EA-200)

que para los sistemas biológicos anaerobios no son fáciles de degradar[1,2,15,19].

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado [18,20] ya que a medida que se van agotando los compuestos de fácil degradación, los microorganismos empiezan a consumir otras sustancias más complejas, y llega cierto punto en el cual los microorganismos presentes no cuentan con las enzimas o los nutrientes requeridos para continuar con el proceso [15] que permita la disminución de la DQO, lo anterior, sumado a la falta de oxígeno, limita claramente la degradación esperada.

Las figuras 4 y 5 muestran la remoción de la DBO para los 2 tipos de aguas resultantes en el procesamiento lácteo, la concentración de MB al 2 % para las muestras de la tarde muestran el mayor porcentaje de degradación del 68,58 % mientras que para la mezcla MB al 0% y al 4% son del 54,9% y 62,01% respectivamente. En el tanque séptico donde se inoculó existen

Figura 2. Remoción DQO aguas de lavado

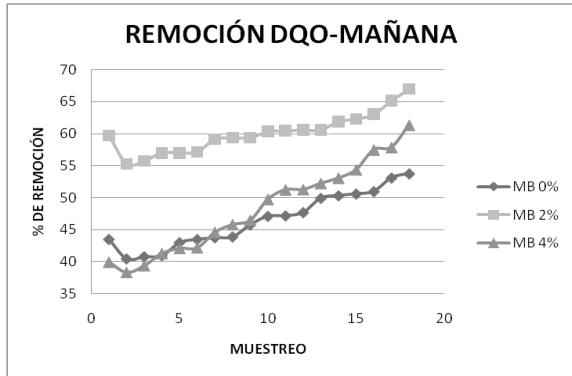


Figura 4. Remoción DBO aguas de lavado

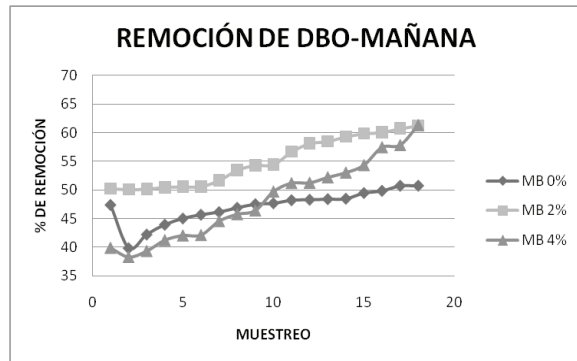


Figura 3. Remoción DQO aguas de proceso

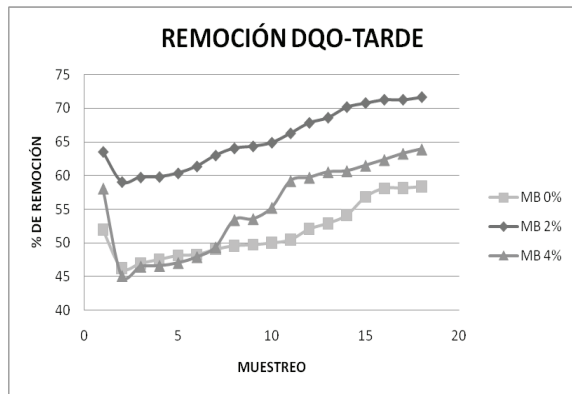
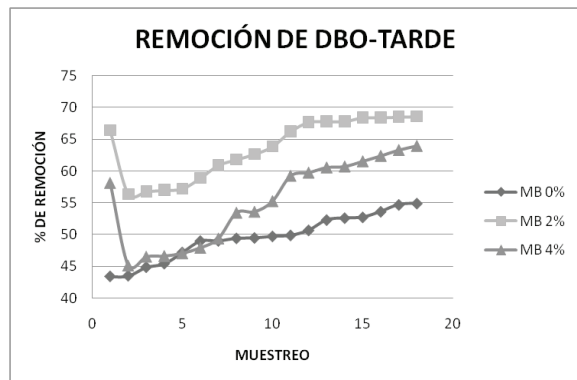


Figura 5. Remoción DBO aguas de proceso



condiciones de baja disponibilidad de oxígeno donde los procesos anaerobios de transformaciones de nitrógeno, como la nitrificación, son limitados, pero donde pueden ocurrir los procesos que no necesitan oxígeno, como mineralización y desnitrificación. Esto permite entender que las reducciones para la DBO5 son significativas pero no suficientes de acuerdo a la normativa nacional [8].

La mezcla de MB contribuye de gran manera en la degradación de los componentes orgánicos ya que según [5] la principal limitación para tratar el residuo de la producción de queso radica en su gran facilidad de acidificar el medio, conduciendo a una interacción de las fases acidogénica y metanogénica ocasionando inestabilidades del proceso, principalmente cuando se utilizan cargas orgánicas elevadas, por tanto durante el tratamiento anaerobio es posible que se obtengan grandes cantidades de compuestos ácidos por la fermentación de la lactosa[6]. La presencia y acumula-

ción de estos ácidos producen un descenso en el pH, promoviendo el crecimiento de bacterias acetogénicas y generando condiciones indispensables para la sinergia de los microorganismos que componen la mezcla de MB [5, 18, 20, 22].

El patrón de comportamiento de los ST mostró que el mejor resultado se encuentra en para una concentración de MB al 2 % y porcentaje de remoción de 70,45 % (figura 7), los SST señalan un comportamiento más significativo cuando se utiliza MB al 4 % con una remoción del 78,77 % (figura 9), estos resultados evidencian una diferencia importante con respecto a la línea base del proceso de reducción (MB al 0 %). Las muestras tomadas en la mañana no presentan resultados con alguna tendencia marcada (figuras 6 y 8) afirmando que la efectividad del uso de MB es mucho más fuerte en el tratamiento de residuos del proceso productivo, sin embargo estos análisis solo podrían ser validados a partir de análisis estadístico de va-

Figura 6. Remoción ST aguas de lavado

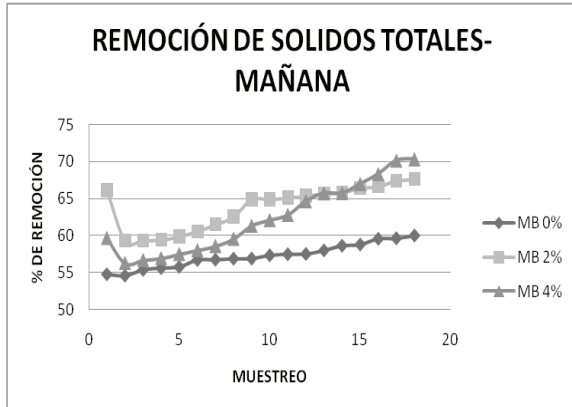


Figura 7. Remoción ST aguas de proceso

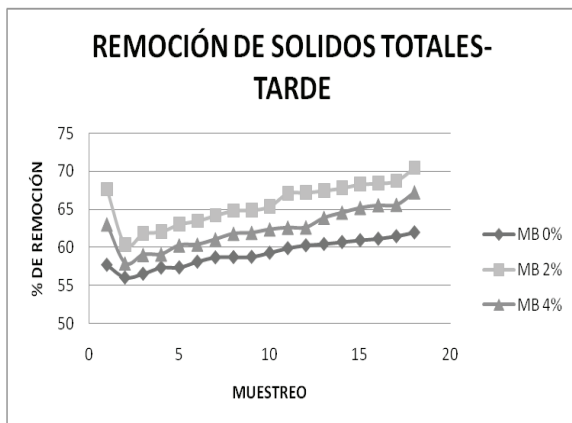
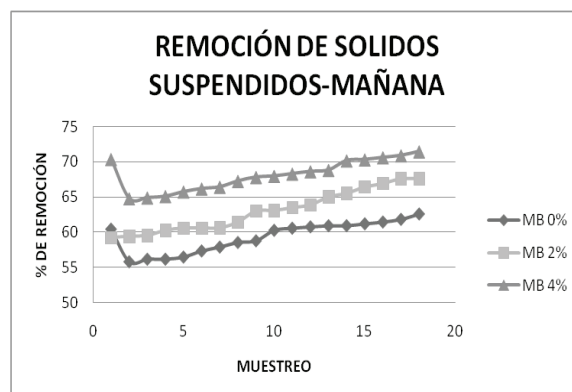
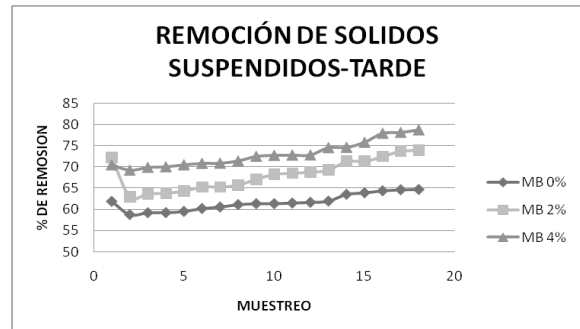


Figura 8. Remoción SST aguas de lavado



rianzas (ANOVA). La reducción de los SST y por tanto de los ST se debe principalmente a procesos de sedimentación y biodegradación de materia orgánica pues gracias a la mezcla microbiológica (MB), en este caso las levaduras, se transformaron moléculas orgánicas

Figura 9. Remoción SST aguas de proceso



complejas en moléculas más simples susceptibles de ser arrastradas y degradadas en el filtro anaerobio.

Análisis de varianza (ANOVA) efectuado a las variables de interés

Los ANOVAs realizados fueron Análisis de varianza de dos factores (concentraciones de MB y tipo de agua a tratar) con varias muestras por grupo, de manera que se pudiera medir si la variable dependiente (% de remoción) depende de los factores o de la interacción entre ambos, es decir, las diferencias significativas entre grupos y la posible interacción de las concentraciones y el tipo de agua a tratar con las remociones para cada parámetro; estos análisis permiten establecer una relación más precisa y suficiente de las variables de respuesta.

Los resultados obtenidos se encuentran en los cuadros 2, 3, 4 y 5 referidos cada uno a un parámetro diferente. La primera columna de interés hace referencia al origen de las variaciones, y son las diferentes fuentes de variación o interferencia en las variables que se quiere estudiar (% remoción DQO, DBO5, ST Y SST). El primer origen es la muestra que corresponde al factor tipo de agua a tratar con dos niveles. El siguiente origen de las variaciones son las columnas que corresponden al factor concentración de MB que tendrá tres niveles (0, 2 Y 4 %). La siguiente fuente de variación es la interacción, la cual muestra un comportamiento diferencial de un factor según los niveles del otro. El valor F (valor del estadístico de prueba) para las muestras en el caso de los porcentajes de remoción de DQO Y ST (cuadros 2 y 4) indica que existe una diferencia significativa de los datos entre los dos tipos de agua a tratar y las concentraciones de MB utilizadas, sin embargo el valor de F no significativo para la interacción nos indica que no hay un efecto de

Cuadro 2. Análisis de varianza de los % de remoción de DQO y su posible interrelación e influencia

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra (mañana y tarde)	919,21	1	919,21	35,13	4,22E-08	3,93
Columnas (concentraciones MB)	3813,89	2	1906,94	72,89	2,20E-20	3,09
Interacción	18,06	2	9,03	0,35	7,09E-01	3,09
Dentro del grupo	2668,60	102	26,16			
Total	7419,76	107				

Cuadro 3. Análisis de varianza de los % de remoción de DBO₅ y su posible interrelación e influencia

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra (mañana y tarde)	990,59	1	990,59	38,33	1,26E-08	3,93
Columnas (concentraciones MB)	2294,52	2	1147,26	44,40	1,35E-14	3,09
Interacción	174,91	2	87,45	3,38	3,78E-02	3,09
Dentro del grupo	2635,79	102	25,84			
Total	6095,81	107				

interacción entre las variables, es decir no existe una influencia directa entre las concentraciones de MB y el tipo de agua a tratar.

En el caso de los cuadros 3 y 5, correspondientes a las remociones de DBO₅ y SST, el comportamiento es completamente diferente en el momento de medir la interacción, es decir, que si existe una diferencia significativa entre usar concentraciones distintas de MB y el tipo de agua a tratar (lavado o proceso) y esto se debe probablemente a que la DBO₅ y los SST tienen una relación directa ya que son una medida de la biodegradación, por lo tanto los microorganismos serán más sensibles y la variable de respuesta (DBO₅ Y SST) cambiará gracias a la composición química de cada una de los residuos a tratar

Los MB han sido destacados principalmente en diferentes estudios, como potenciadores de la eficiencia en la reducción de materia orgánica, algunas de

los cuales, reportan remociones superiores al 80% [18,19,20]; sin

embargo hemos visto en los resultados del presente estudio que estos porcentajes no han sido alcanzados lo que se debe principalmente a la alta variabilidad en la calidad de las aguas residuales tratadas, pues como se dijo anteriormente, la industria láctea se caracteriza por producir diferentes tipos de productos los cuales generan las variaciones halladas, y por tanto sería necesario un rediseño de la planta de tratamiento de agua residual láctea que puede soportar dichas variaciones de manera satisfactoria.

Igualmente, se presentan en el medio, propiciados por microorganismos eficientes, cambios sustanciales en el pH, como en el caso concreto de algunas cepas de *Lactobacillus*, cuya eficiencia en la actividad futura depende en forma significativa de la resistencia a la acidez generada en el medio, o algunas cepas de *Saccharomyces*,

Cuadro 4. Análisis de varianza de los % de remoción de ST y su posible interrelación e influencia

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra (mañana y tarde)	50,23	1	50,23	5,80	0,018	3,93
Columnas (concentraciones MB)	793,80	2	396,90	45,80	6,40E-15	3,09
Interacción	19,22	2	9,61	1,11	0,334	3,09
Dentro del grupo	883,93	102	8,67			
Total	1747,18	107				

Cuadro 5. Análisis de varianza de los % de remoción de SST y su posible interrelación e influencia

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra (mañana y tarde)	464,16	1	464,16	62,23	3,56E-12	3,93
Columnas (concentraciones MB)	1822,08	2	911,04	122,14	8,47E-28	3,09
Interacción	46,88	2	23,44	3,14	4,74E-02	3,09
Dentro del grupo	760,83	102	7,46			
Total	3093,96	107				

que producen altas concentraciones de alcohol y posteriormente, dependiendo de la cepa, pueden resultar inhibidas por tales niveles del producto generado.

Otra de las condiciones que pudieron haber dificultado la efectividad de la mezcla de MB utilizado se relaciona con la pureza de éste, pues teniendo en cuenta que durante el proceso de activación de la mezcla de MB, los microorganismos se desarrollan en una fuente diluida glucídica durante una semana, algunos microorganismos indeseables, podrían establecer competitividad por espacio y nutrientes, así como generar variaciones en el pH del medio y producir componentes antibióticos u otros de carácter inhibitorio, afectándose el desarrollo y actividad de los microorganismos pertenecientes al consorcio de MB y por tanto, posiblemente estas condiciones contribuyeron a limitar la capacidad de la mezcla para desplegar su potencial de reducción de los parámetros fisicoquímicos analizados.

CONCLUSIONES

La implementación de mejoras en las PTAR industrial provenientes de la industria láctea, como los MB mejorara la capacidad de depuración y reducción de los factores indicadores de la contaminación como la DBO5, DQO, ST y SST.

La adición de MB al 2 y 4% generó una curva de adaptación en la reducción de DBO5, DQO, ST y SST, produciendo en el lapso temporal de la toma de muestras remociones cercanas al 71,65 % para la DQO, 68,58 % para la DBO5, 70,45 % para los sólidos totales y 78,77% para los sólidos suspendidos, sin embargo estos valores aún no son suficientes para cumplir con lo indicado por la normatividad colombiana en cuanto calidad y usos del recurso hídrico, la cual enfatiza en remociones iguales o superiores al 80 % respecto a los parámetros de interés.

Los análisis de varianza muestran que existe una fuerte interrelación entre el tipo de agua a tratar (lavado o proceso) y las concentraciones de MB, cuando se trata de la reducción de DBO5 Y SST, gracias a la fuerte interrelación de estos 2 parámetros como indicadores de biodegradación.

La concentración que brindó el mejor comportamiento en el proceso de reducción es la de MB 2 % en cuanto DQO, DBO5 y ST.

RECOMENDACIONES

La revisión del diseño de la PTAR es necesaria debido a que la variabilidad de productos procesados por la industria láctea genera altas variaciones en la composición de los residuos a tratar, por tanto se hace necesario la implementación de sistemas más eficientes y el uso de mejores tecnologías dada la alta incertidumbre de las variables debido a las condiciones *in situ*.

Una estrategia importante como la implementación de programas de producción más limpia (PML), específicamente aprovechamiento del lactosuero generado en el procesamiento, conduciría a una reducción significativa en las cargas contaminantes y por tanto al cumplimiento de la normativa nacional de calidad de agua así como la reducción en los cobros de tasas retributivas.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Institucional de Investigación, Proyección y Desarrollo de la Universidad Católica de Manizales por la financiación brindada mediante el acuerdo N. 23 de junio de 2010; a las empresas privadas Proamb Ltda y Multilacteos San Félix S.A. por los aportes económicos para el desarrollo de la investigación y al Mgr. Omar Tapasco Alzate por su valiosa contribución académica.

REFERENCIAS

- [1] AYMERICH, S. Conceptos para el tratamiento de residuos lácteos. San José (Costa Rica). Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2000, p.12-23
- [2] ALFARO, O., JUANTORENA, A. y FONSECA, S. Alternativas para el tratamiento de los residuales del combinado lácteo Santiago. Parte II. Revista Tecnología química, 22 (1), 2002, p. 10-18.
- [3] FEDEGAN. Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019. Bogotá (Colombia): 2006, 294 p.
- [4] ROSA, M.A., PERALTA, J.M., GILLI, D. A. y BOSCO, D.M. Cinética de la Biodegradación de un Efluente Lácteo: Aplicación de Técnicas de Análisis de Datos para la Comparación de Modelos. Información tecnológica, 19 (4), 2008, p. 11-18.
- [5] GONZÁLEZ, J., VALDÉS, P., NIEVES, G. y GUERRERO, B. Aplicación de la digestión anaerobia a los residuales de las industrias lácteas. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 10 (1), 1994, p. 37-41.
- [6] CHÁVEZ, M., TAJADA, R. y MEJÍA, D. Actividad enzimática del lodo granular en reactor UASB tratando efluente lácteo. Revista del Centro Investigaciones Biológicas, 39 (3), 2005, p. 293-299.
- [7] CHRISTOPHERSON, S., SCHMIDT, D. and JANNI, K. Evaluation of Aerobic Treatment Units in Treating High Strength Waste From Dairy Milk Houses. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2003, p. 172-177.
- [8] COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1594 de 1984: Usos del agua y residuos líquidos. Bogotá (Colombia): 1984, 45 p.
- [9] WANG, L., HUNG, Y., and LO, H. Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment. 2 ed. New York (United States of America): Marcel Dekker, 2004, 1345 p.
- [10] LONDOÑO, M. Efecto de los microorganismos eficientes sobre la calidad del ensilaje de maíz y su utilización en lechería tropical [Tesis de pregrado]. Bogotá (Colombia): Universidad de La Salle, Facultad de Zootecnia, 2008, 123 p.
- [11] FIORAVATI, M., VEGA, C., HERNÁNDEZ, C., YEOMANS, J. y OKUMOTO, S. Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola. Revista Tierra Tropical, 1(09), 2005, p. 69-76.
- [12] MIYASHIRO, G. y MEGGS, J. Medición del efecto de la aplicación de Microorganismos Eficaces (EM) en la generación de gas metano (CH₄) en los sistemas biodigestores a escala [Tesis de licenciatura]. San José (Costa Rica): Universidad Earth, 2007, 59 p.
- [13] GAVIRIA, E. y MARTÍNEZ, L. Desarrollo de un producto para saneamiento ambiental basado en cocteles de microorganismos y diseño de su producción comercial [Tesis de licenciatura]. San José (Costa Rica): Universidad Earth, 2004, 48 p.
- [14] APHA – AWWA – WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17 e. Madrid (España): Díaz de Santos, 1992, p. 5-11

- [15] ATLAS, R., y BARTHA, R. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 3 ed. Madrid (España): Addison Wesley, 1998, 677 p.
- [16] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍAS SANITARIA Y AMBIENTAL (ACODAL). Control de calidad del agua para consumo. Cali (Colombia): 1993, 29 p.
- [17] MILLIPORE. Análisis de agua. Ed 1995-1996. Bogotá (Colombia): 1996, 258 p.
- [18] RASHID, M. and WEST, J. Dairy wastewater treatment with effective microorganisms and duckweed for pollutants and pathogen control. Wastewater Reuse –Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security, 2007, p. 93–102.
- [19] CÓRDOBA, A. Evaluación de los Microorganismos Eficientes (SCD EM™) en el Tratamiento de Aguas Residuales domesticas mejorando las características de vertimiento final [online]. Available:<http://www.grupoprotech.net/scdem/publicaciones/informefinalptar.html> [citado 21 de mayo de 2009].
- [20] LIAO, L., SHAO, X., XU, J.Z. and WALTER, M. Effects of Different EM Solution Addition Ratios and Incubation Methods on Dairy Effluents Treatment. 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. Shangai (China): 2008, p. 3466-3468
- [21] GUIZHONG, Z. and JING, S. Study on Effective Microorganisms Bacteria for Acrylonitrile Wastewater Treatment. 4th international conference Bioinformatics and biomedical engineering (iCBBE). Chengdu (China): 2010 p. 1,4, 18-20
- [22] GUIZHONG, Z., JIA, L., HUIJU, F., JING, S. and XIAOQING, Z. Starch Wastewater Treatment with Effective Microorganisms Bacteria. 4th international conference Bioinformatics and biomedical engineering (iCBBE). Chengdu (China): 2010, p.1,4, 18-20