

REDUCCIÓN DE COLIFORMES Y *Escherichia coli* EN UN SISTEMA RESIDUAL LÁCTEO MEDIANTE MICROORGANISMOS BENÉFICOS

REDUCTION COLIFORM AND *Escherichia coli* IN A DAIRY WASTE SYSTEM THROUGH BENEFICIAL MICROORGANISMS

REDUÇÃO DE COLIFORMES E *Escherichia coli* EM UM SISTEMA DE ÁGUAS RESIDUAIS DE LEITE POR MICROORGANISMOS BENÉFICOS

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

RESÚMEN

A pesar de la disponibilidad comercial de diversos sistemas para tratar aguas residuales, muchas empresas no poseen plantas, y otras poseen sistemas ineficientes, por lo cual, descargan a los cuerpos de agua cantidades significativas de materia orgánica y microorganismos afines al sustrato, como los coliformes, comprometiendo el equilibrio ambiental.

*El presente estudio evaluó la capacidad de una mezcla de microorganismos benéficos (MB) para remover coliformes y *E. coli* presentes en residuos líquidos generados en una planta de tratamiento lácteo, teniendo como factores controlados, la concentración del coctel de MB y el tipo de carga orgánica almacenada en el afluente. La reducción en la población de coliformes fluctuó entre 41,1 y 48% al utilizar las diferentes concentraciones de MB para las horas de toma establecidas.*

Recibido para evaluación: 19/03/2011. **Aprobado para publicación:** 18/3/2012

- 1 Bacteriólogo. 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
- 2 Ingeniero Químico. MsC. Ingeniería – Automatización Industrial. Docente Investigador del Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos y ambientales GIDTA. Universidad Católica de Manizales. Manizales – Colombia.

Correspondencia: eduardocorpas@hotmail.com

En cuanto a la eliminación de E. coli, se apreciaron reducciones notorias a partir de las muestras tomadas a las 10 a.m., con una reducción del 52% al utilizar el coctel al 2% y del 49,7% cuando la concentración de esta mezcla correspondió al 4%. Se recomendó mejorar la eficacia en la remoción de coliformes y E. coli a partir de la valoración de diversas proporciones entre las concentraciones de los microorganismos constituyentes de la mezcla.

ABSTRACT

Despite the commercial availability of several systems for wastewater treatment, many companies haven't plants, and others have inefficient systems, whereby, discharged into water bodies significant amounts of organic matter and microorganisms related to the substrate, as coliforms, endangering the environmental balance. This study evaluated the ability of a mixture of beneficial microorganisms (BM) to remove coliforms and E. coli present in liquid waste generated in a dairy wastewater treatment plant, having as variables, the concentration of BM cocktail and stored organic loading rate in influent. Reduction in coliform population fluctuated between 41.1 and 48% when using different concentrations of BM for hours making set. As for the elimination of E. coli, notable decreases were observed from samples taken at 10 o'clock, with a 52% reduction when using the cocktail to 2% and 49.7% when the concentration of that mixture corresponded to 4%. It is recommended to improve the efficacy in removing coliforms and E. coli from the evaluation of several ratios between the concentrations of the constituents of the mixture.

RESUMO

Apesar da disponibilidade comercial de vários sistemas de tratamento de esgoto, muitas empresas não têm instalações de esgoto, e outros ter sistemas ineficientes, assim, descarregados em massas de água grandes quantidades de matéria orgânica e microorganismos relacionados com o substrato, como o coliformes, comprometer o equilíbrio ambiental.

Este estudo avaliou a capacidade de uma mistura de microorganismos benéficos (MB) para remover coliformes e E. coli presente em resíduos líquidos gerações em uma estação de tratamento de efluente lácteo, tendo como variável, a concentração de cocktail de MB e tipo de carga orgânica armazenada no afluente. A redução na população de coliformes flutuou entre 41,1 e 48% usando diferentes concentrações da MB para tempos de amostragem estabelecido. Quanto à eliminação da E. coli, reduções visíveis foram observados a partir de amostras colhidas em 10, com uma redução de 52% quando se utiliza o coquetel de 2% e 49,7% quando a concentração desta mistura correspondeu a 4%. recomendado para melhorar a eficácia de remoção de coliformes y E. coli a partir da avaliação de várias proporções entre as concentrações de microorganismos componentes da mistura.

PALABRAS CLAVES:

Agua residual, Antagonismo microbiano, Contaminación ambiental, Remoción de coliformes.

KEYWORDS:

Environmental pollution, Microbial antagonism, Removal of coliforms, Wastewater.

PALAVRA CHAVE:

Água residual, Antagonismo microbiano, Poluição ambiental, Remoção de coliformes.

INTRODUCCIÓN

La concepción ineludible del instinto de preservación humano ha trascendido de un ente autónomo pero inconsciente, desvertebrado del quebranto de su entorno, hacia el apropiado prudente en torno a la responsabilidad y el compromiso frente al deterioro ambiental causado por la necesaria y poco planificada actividad de industrialización. El propósito actual gira en torno a la continuidad del desarrollo económico de los países mediante estrategias que permitan a la vez, el sostenimiento del medio ambiente. Colombia es un país que promueve su desarrollo y competitividad a partir de alianzas económicas como los tratados de libre comercio y los convenios que privilegian las exenciones arancelarias, sin embargo, en la actualidad se ha otorgado gran prioridad al sostenimiento ambiental, como estrategia de preservación de las condiciones de producción primaria, modelo de soporte de las actividades de transformación que tienen como protagonista al sector agroindustrial.

Una de las problemáticas más acuciantes en materia medioambiental es la generación de residuos líquidos con altos niveles de carga orgánica y patógenos, principalmente por parte de empresas del sector agroalimentario. A pesar de la disponibilidad comercial de diversos sistemas para el tratamiento de aguas residuales, muchas empresas no poseen plantas [1], y otras poseen sistemas ineficientes, por lo cual, en los efluentes son descargadas cantidades significativas de materia orgánica y microorganismos afines al sustrato, que posteriormente contaminarán los cuerpos de agua donde son vertidos.

En consonancia con la premisa prioritaria del sector lácteo que busca propiciar un mayor aprovechamiento productivo al tiempo de conservar el medio ambiente, principalmente en países como Colombia, que actualmente es el tercer productor de leche en Suramérica [2], han surgido los procesos de digestión anaerobia, ampliamente utilizados para el tratamiento de efluentes industriales con altas concentraciones de materia orgánica [3], que a pesar de ser apropiados, también son extremadamente sensibles a los cambios ambientales, tales como pH, temperatura, concentración de materia orgánica y metales pesados [4], algunos de los cuales, son generados por los procesos de limpieza efectuados, que generan más del 30% del volumen de

agua residual del proceso lácteo [5]. Estas variaciones pueden conducir a la ineficacia del sistema, por lo cual, se requieren estrategias complementarias para potenciar la reducción, tanto de la contaminación orgánica como microbiológica, que favorezcan la sostenibilidad ambiental.

Adicionalmente, el decreto 1594 de 1984, referente al uso de aguas y residuos líquidos, establece criterios microbiológicos para destinación del recurso [6]. De manera que las empresas deben establecer estrategias para favorecer la reducción de los coliformes y así poder destinar el agua, posterior a su tratamiento, para actividades como el riego, sin que constituyan un riesgo potencial para el deterioro de sembrados o se conviertan en una fuente contaminante de los productos del cultivo.

Una alternativa importante para potenciar el funcionamiento de las plantas residuales en las empresas lácteas es el uso de MB, una mezcla de bacterias, hongos y levaduras, los cuales favorecen principalmente la reducción de olores, manejo de aguas y residuos sólidos [7]. Algunas bacterias que integran el coctel de MB, como *Lactobacillus spp.*, producen ácido láctico, el cual es un compuesto esterilizante fuerte que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa [8]. Otro género de MB lo constituye *Saccharomyces spp.*, cuyas secreciones son sustratos útiles para bacterias ácido lácticas [9].

El presente estudio deriva del proyecto "Remoción de materia orgánica y coliformes mediante el uso de microorganismos benéficos en una planta de tratamiento anaeróbico residual lácteo", y tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad de una mezcla de MB para reducir las poblaciones de coliformes totales y *E. coli* en una planta de tratamiento anaeróbico residual lácteo, fundamentado en el principio la competencia y antagonismo que representa para las bacterias patógenas la producción de antioxidantes por parte de los MB, que evitan la putrefacción de la materia orgánica y disminuyen el pH, generando un medio inhóspito para estos patógenos [10]. 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 coliformes totales y *E. coli* con respecto al comportamiento de la planta sin MB,

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 corresponden primordialmente al lactosuero proveniente del proceso de elaboración de queso campesino, a manera de determinar la influencia del tipo de materia orgánica en las variables respuesta, remoción de coliformes totales y *E. coli*.

MÉTODO

Lugar de estudio. El proyecto se ejecutó en una planta de tratamiento anaerobio de residuos lácteos de una empresa ubicada en San Félix – Salamina (Caldas), mientras que la mezcla comercial de MB utilizada fue suministrada por la empresa de base biotecnológica Proamb LTDA de Manizales (Caldas).

Tipo de estudio. Esta investigación se enfocó en un estudio experimental, por medio del cual se estudió la incidencia de los MB, utilizados en concentraciones del 2 y 4%, sobre la remoción de coliformes totales y *E. coli* en una planta de tratamiento anaeróbico residual lácteo, teniendo en cuenta la procedencia de la materia orgánica (aguas provenientes del lavado y desinfección o aguas de producción constituidas principalmente de lactosuero).

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 el recuento de coliformes totales y *E. coli* /100ml se tomaron muestras en el tanque de homogenización (entrada) y a la salida del sistema. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis microbiológico en condiciones de refrigeración entre 4 y 6 °C para ser analizadas en el término de las siguientes 18 horas por medio de metodologías internacionalmente avaladas [11].

Desarrollo del trabajo de campo. La figura 1 muestra las condiciones aplicadas en la planta de tratamiento anaerobio residual lácteo para determinar la reducción en los recuentos de las poblaciones

de coliformes totales y *E. coli* al utilizar MB al 2 y 4%. Teniendo en cuenta el ciclo de funcionamiento del sistema, que durante las horas de la mañana recibe aguas de lavado y desinfección del material, y durante las horas de la tarde capta aguas de proceso, representadas en su mayoría por lactosuero, se establecieron dos horas de toma (10 a.m. y 3 p.m.), de manera que se pudiese inferir acerca de la influencia del tipo de materia orgánica captada en el afluente sobre la actividad del coctel de MB y consecuentemente, sobre la reducción de las poblaciones microbianas evaluadas.

Inicialmente se realizó mantenimiento de la planta y después de 48 horas se procedió a establecer una línea base de la reducción de coliformes fecales y *E. coli* en el sistema sin el uso de los MB, tomando dos muestras semanales de entrada y salida a las 10 a.m. y 3 p.m. Luego se efectuó mantenimiento del sistema y dos días después se realizó la siembra del coctel MB al 2% en el tanque anaerobio, para entonces realizar las mediciones de las poblaciones de coliformes fecales y *E. coli* semanalmente, lo que permitió determinar el lapso temporal en el cual la reducción microbiológica se estabilizaba. Posteriormente, se realizó análisis de muestra para entradas y salidas, durante las siguientes semanas con el objeto de obtener seis repeticiones y de esta manera lograr una valoración significativa de la reducción de las poblaciones establecidas como variable de respuesta. Posteriormente se realizó un mantenimiento al sistema, dos días después se procedió a sembrar el coctel MB a una concentración del 4% y se esperó un lapso de cuatro semanas, etapa preestablecida para la estabilización de reducción de los coliformes y *E. coli*, para entonces realizar los correspondientes análisis de estas poblaciones bajo condiciones idénticas a las tenidas en cuenta para evaluar la remoción microbiana al utilizar el coctel MB al 2%.

Método de análisis. El método utilizado en el análisis microbiológico para el recuento de coliformes fecales y *E. coli* se denomina **filtración por membrana**, basado en el paso de la muestra de agua a través de un filtro de membrana microporosa, en cuya superficie quedan retenidos los microorganismos [12]. Habitualmente se utilizan membranas con poro de 0,45 mm, ya que la mayoría de los microorganismos tienen un diámetro superior a 0,45 mm. Posteriormente, la membrana se incubó sobre un medio de cultivo adecuado, a la temperatura y durante el tiempo

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

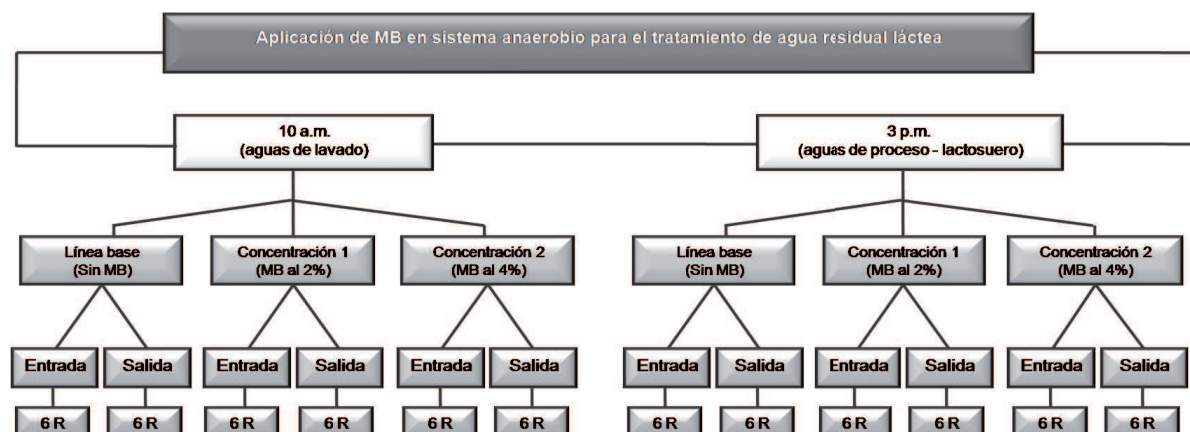
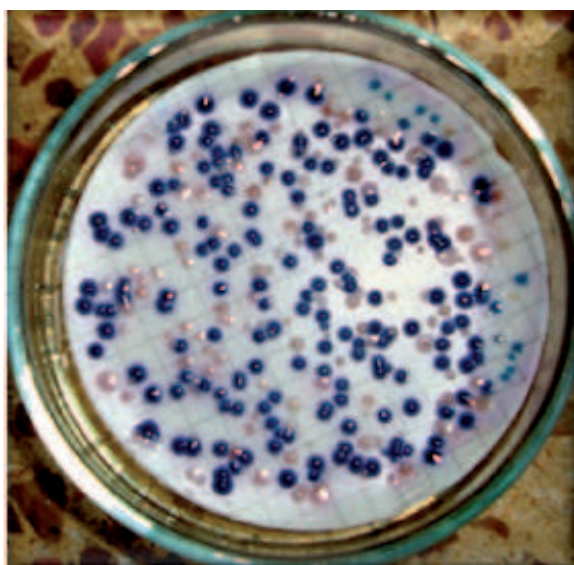


Figura 2. UFC de coliformes totales aisladas en agar chromocult.



color azul oscuro a violeta), tal como se puede observar en la figura 2.

RESULTADOS

La figura 3 muestra la remoción de las poblaciones de coliformes totales y *E. coli* después de adicionar el coctel de MB en una concentración del 2%. En referencia a los coliformes (arriba), se denota que para ambas horas de toma, las reducciones iniciales fueron menores y entre la tercera y cuarta semana se lograron estabilizar. A pesar de apreciarse una remoción inicial mayor en las muestras tomadas a las 10 a.m. (correspondientes a aguas de lavado y desinfección), la cual fue de 27,2%, mayor a la reducción inicial presentada en las muestras tomadas a las 3 p.m. (correspondientes a aguas de proceso, en su mayoría representadas por lactosuero), que correspondió a 18,6%, se aprecia una remoción ligeramente mayor en esta última durante la etapa en la cual el sistema se mantuvo estable. Es posible que el coctel de MB haya tenido mayor dificultad inicial de adaptación en las muestras con mayor contenido de lactosuero, que en su mayoría contiene lactosa (m. orgánica de origen animal) y como consecuencia se haya limitado inicialmente la reducción en este tipo de agua residual.

necesario para posteriormente contar directamente las colonias sobre la superficie de la membrana [13].

El medio de cultivo utilizado fue el **agar chromocult**, que contiene peptonas, piruvato, sorbitol y búfer fosfato para garantizar el rápido crecimiento de las colonias de coliformes, incluso dañados subletalmente, mientras, el crecimiento de bacterias Grampositivas y Gramnegativas diferentes a los coliformes es totalmente inhibido por el Tergitol contenido en el medio. Además, el medio contiene dos sustratos cromogénicos, los cuales permiten la detección simultánea de coliformes totales (colonias de color salmón a rojo) y *E. coli* (colonias de

Al igual que ocurrió para la reducción de coliformes totales, la eliminación de *E. coli* sufrió un proceso inicial

Figura 3. Remoción de coliformes totales (arriba) y *E. coli* (abajo) en función del tiempo MB al 2%.

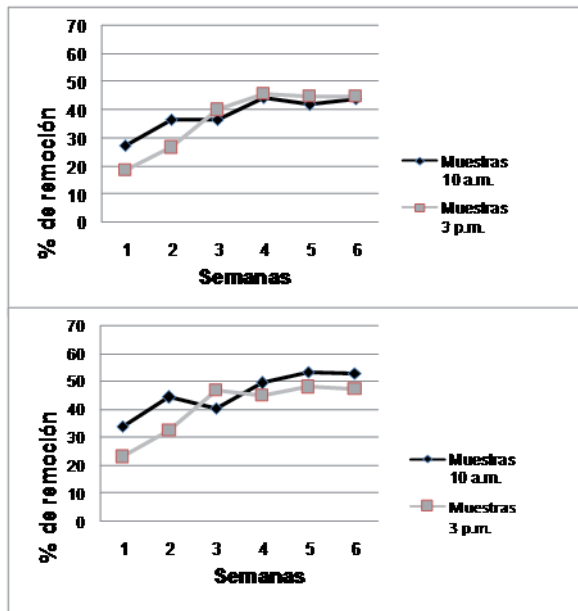
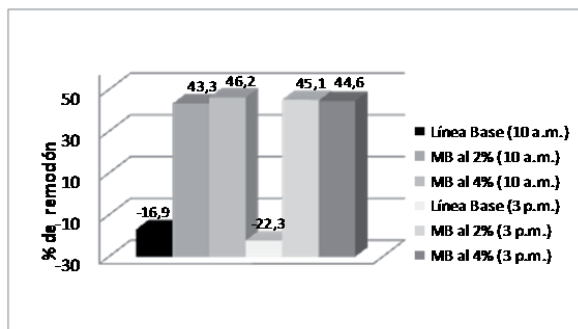


Figura 4. Reducción de coliformes totales al utilizar diferentes concentraciones de MB en diferentes horas de muestreo.

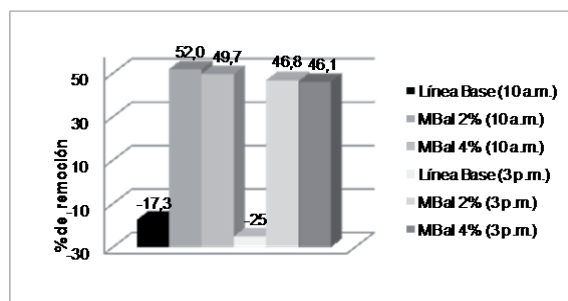


de adaptación en el que del mismo modo, las muestras tomadas a las 3 p.m. tuvieron reducciones iniciales menores que las tomadas a las 10 a.m. Así mismo, se observó una estabilidad en la reducción de *E. coli* entre la tercera y cuarta semana, después de la aplicación del coctel de MB, pero en contraste al proceso de reducción de coliformes totales, las reducciones mayores de *E. coli* se presentaron en las muestras tomadas a las 10 a.m. con una oscilación entre 49,5 y 52,9%, probablemente por la labilidad del microorganismo a las condiciones extremas del medio, generadas tras la

adición de MB, la competencia por espacio y nutrientes, así como la generación de compuestos antimicrobianos limitantes del desarrollo de *E. coli*. La potenciación de las reducciones de coliformes totales y *E. coli* a partir del coctel de MB ha sido fundamentada bajo la premisa en la cual, los inóculos de MB tienen altas poblaciones de bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus* y *Pedicoccus*), que producen ácido láctico y otros productos antimicrobianos como consecuencia del metabolismo de los carbohidratos [14].

Tal como se muestra en las figuras 4 y 5, no se presentó reducción de coliformes y *E. coli* en las muestras tomadas a las 10 a.m. y 3 p.m. sin el uso de MB (líneas base) y por el contrario, se aprecia en el sistema un incremento en los recuentos de coliformes del efluente, con relación a las muestras tomadas en la entrada (tanque de homogenización), de manera que estos microorganismos se multiplican a expensas de la degradación del sustrato presente en el medio residual lácteo. Al utilizar la mezcla de MB al 2%, el promedio para la reducción de coliformes fue del 43,3% y del 46,2% al utilizar MB al 4% en las muestras tomadas a las 10 a.m., mientras, la reducción del microorganismo se dio en un 45,1% al utilizar MB al 2% y del 44,6 al utilizar MB al 4%, a partir de los muestreos efectuados a las 3 p.m (figura 4). En relación a la reducción de coliformes al utilizar MB al 2 y 4% (figura 4), se puede destacar que las mayores reducciones se lograron al utilizar MB al 4% en las tomas de muestra realizada a las 10 a.m. En cuanto a la eliminación de *E. coli* al utilizar diferentes concentraciones de MB (figura 5), se apreciaron reducciones notorias a partir de las muestras tomadas a las 10 a.m. El promedio para la reducción de *E. coli* al utilizar el coctel MB al 2% fue del 52% en las muestras tomadas a las 10 a.m. y del 49,7% al utilizar MB al 4% a la misma hora de toma, mientras, la reducción del microorganismo se dio en un 46,8% al utilizar MB al 2% y del 46,1 al utilizar MB al 4%, a partir de los muestreos realizados a las 3 p.m. Las diferencias en las reducciones de *E. coli* al utilizar el coctel MB al 2% y al 4% solo fueron significativas al comparar los resultados de las reducciones en las dos horas de toma establecidas (cuadros 2 y 3), lo cual indica que el aumento de concentración de MB no tiene impacto sobre la eficacia en la reducción del microorganismo, mientras que los MB fueron más efectivos para degradar los residuos en su mayoría provenientes de aguas de limpieza y desinfección, que los provenientes del proceso lácteo.

Figura 5. Reducción de *E. coli* al utilizar diferentes concentraciones de MB en diferentes horas de muestreo.



Análisis de varianza (ANAVA) efectuado a las variables predeterminadas.

Teniendo como variables, las concentraciones utilizadas del coctel MB y el tipo de materia orgánica captada en el afluente sobre la reducción de coliformes totales y *E. coli* en la planta de tratamiento anaerobio residual lácteo, se aplicaron los respectivos ANAVA los datos obtenidos. Al realizar el análisis de comparaciones múltiples se encontraron diferencias significativas en cuanto a la reducción de coliformes en los tratamientos (cuadro 1), al igual que ocurrió con la reducción de *E. coli*, lo cual evidencia la capacidad antibacterial de la mezcla frente a estas poblaciones; no se observaron diferencias significativas en cuanto a las reducciones de las poblaciones de *E. coli* al utilizar MB al 2 y 4%, pero si se presentaron tales diferencias en la reducción de coliformes totales en las muestras tomadas a las 10 a.m. (cuadro 2), lo cual indica que al utilizar concentraciones de MB del 4%, se presenta una eliminación mayor de *E. coli*. Esta condición podría estar relacionada con la mayor competencia por espacio y nutrientes que habrían limitado el desarrollo de *E. coli*, y la generación de mayores concentraciones de productos restrictivos para la multiplicación de *E. coli* a cargo de las cepas del coctel de MB.

En cuanto al origen de la carga orgánica como variable, se encontraron diferencias en la reducción de *E. coli* cuando se utilizó la mezcla de MB, tanto al 2, como al 4% (cuadros 3 y 4), lo que indica que independiente de la concentración de MB utilizada, la reducción de *E. coli* significativamente mayor en las muestras tomadas a las 10 a.m. y cuyo tipo de materia orgánica esencialmente proviene de aguas de lavado. Este hallazgo puede estar relacionado con la condición en la cual *E. coli* encontró

menos favorabilidad de nutrientes como la lactosa en el sistema a la horas de toma señalada.

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% [15]; en contraste, los estudios que relacionan la reducción de patógenos son limitados. Las reducciones de coliformes totales y *E. coli* al utilizar MB fueron menores a la registrada por autores como Rashid & West, quienes, al evaluar la efectividad de los MB para el control de contaminantes y patógenos en un tratamiento de agua residual láctea, obtuvieron reducciones del 75% para coliformes totales y 70% para *E. coli* [14]. Igualmente, en un estudio tendiente a determinar la eficacia de MB en la estabilización de los lodos sépticos para la eliminación de patógenos y la reducción de su potencial putrescible, reporta la eliminación del 99% de los coliformes totales y fecales, a partir de la segunda semana utilizando concentraciones del 10 % de MB [8].

Entre las condiciones determinantes de la eficiencia de la mezcla de MB se encuentra la proporción de microorganismos utilizados, teniendo en cuenta que estos actúan en sustratos diversos e incluso, algunos, actúan en diferentes lapsos temporales, de manera que en ocasiones se requiere mayor concentración de una de las cepas integrantes del coctel y, por lo general esta cepa corresponde a la que efectúa la degradación inicial y cuyos productos son el sustrato de otra cepa integrante del coctel. Igualmente, se presentan en el medio, propiciados por microorganismos del coctel MB, cambios sustanciales en el pH, como en el caso concreto de algunas cepas de *Lactobacillus*, cuya eficiencia en la actividad futura depende en medida significativa de la resistencia a la acidez generada en el medio, o algunas cepas de *Saccharomyces*, 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 del coctel MB utilizado se relaciona con la pureza del inóculo, puesto que en los proceso de activación de los cocteles de MB, el inóculo de microorganismos se desarrolla en una fuente diluida glucídica durante un período de tiempo específico, de manera que algunos microorganismos indeseables, al estar presentes, podrían establecer competitividad por

Cuadro 1. Análisis de comparaciones múltiples aplicado a los tratamientos de aplicación de EM para la eliminación de coliformes totales.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculado	Valor crítico para F	Tuckey
Entre grupos	49759,80	2	24879,90	3544,26	3,41	2,13
Dentro de grupos	358,00	51	7,02			
Total	50117,81	53				

Cuadro 2. Análisis de varianza para determinar diferencias en la eliminación de coliformes totales, a partir de las concentraciones utilizadas de MB en las muestras tomadas a las 10 a.m.

FV	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	Valor P
Tratamientos	1	25,3	25,3	10,3	0.00934
Error Experimental	10	24,5	2,4		
Total	11				

Cuadro 3. Análisis de varianza para determinar diferencias entre las muestras tomadas a las 10 a.m. y las tomadas a las 3 p.m. al utilizar MB al 2% para eliminar *E. coli*.

FV	° de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	Valor P
Tratamientos	1	78,9	78,9	14,7	0.00934
Error Experimental	10	53,6	5,4		
Total	11				

Cuadro 4. Análisis de varianza para determinar diferencias entre las muestras tomadas a las 10 a.m. y las tomadas a las 3 p.m. al utilizar MB al 4% para eliminar *E. coli*.

FV	° de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	Valor P
Tratamientos	1	39,2	39,2	9,8	0.00934
Error Experimental	10	39,9	4,0		
Total	11				

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 coctel MB. Posiblemente estas condiciones contribuyeron a limitar la capacidad de la mezcla MB para desplegar su arsenal de inhibición de las poblaciones de coliformes totales y *E. coli* con una eficacia similar a las previamente referenciadas.

El decreto 1594 como legislación reguladora exige un NMP de coliformes totales de 20,000 mo/100 ml y un NMP de *E. coli* de 2,000 mo/100 ml, como criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico y, consecuentemente, base a partir de la cual, la potabilización requeriría solamente tratamiento convencional [6]. A pesar de no existir una restricción en la legislación en cuestión, acerca de las poblaciones de coliformes totales y *E. coli* expresada como UFC, se tiene como base comparativa el fundamento en el cual, cada unidad viable por mililitro de microorganismo corresponde a una UFC, por lo cual, las unidades formadoras de colonia aisladas son correspondientes a los mo/ml expresados. Es este orden de ideas se puede deducir que, a pesar de ser significativas las reducciones de coliformes totales y *E. coli* en las muestras correspondientes al uso de MB al 2 y 4% frente a las que representan la reducción en el sistema sin el uso de MB, los recuentos de dichas poblaciones en el efluente fueron superiores a los establecidos como límite en la norma.

La significatividad en la reducción de coliformes totales y *E. coli* no solo está relacionada con el cumplimiento de la normatividad y las capacidades de autodepuración del cuerpo receptor final, dado que si el destino final está relacionado con actividades como el riego de cultivos, la presencia, específicamente de *E. coli* en el efluente residual lácteo, supone un riesgo a la inocuidad de los productos generados a partir de estos cultivos.

CONCLUSIONES

La línea base establecida demostró que el sistema anaerobio residual lácteo de la empresa no redujo las poblaciones de coliformes totales y *E. coli*, y por el contrario, se apreció que durante los procesos unitarios, estas poblaciones continúan su multiplicación hasta generar un recuento mayor en el efluente.

La adición de MB al 2 y 4% generó una curva de estabilización en la reducción de coliformes y *E. coli*, la cual se estabilizó a partir de la cuarta semana, generando desde este lapso temporal fluctuaciones de remoción entre 41,1 y 48% para los coliformes y, entre 49,5 y 52,9% para las poblaciones de *E. coli* en la planta de tratamiento anaerobio residual láctea. Estas remociones demostraron la capacidad de la mezcla para limitar el desarrollo de las poblaciones tenidas como variables de respuesta, a partir del principio de competencia y antagonismo.

Los resultados indican que el uso de una mayor concentración de MB no deriva en reducciones significativamente diferentes de coliformes totales y *E. coli*, mientras que los MB redujeron con mayor eficacia las poblaciones de *E. coli*, en presencia de materia orgánica proveniente de aguas de lavado, que en presencia de aguas de proceso.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta el reporte de los autores mencionados sobre niveles de remoción de coliformes y *E. coli* mayores a los determinados en el presente estudio, se recomienda mejorar la eficiencia en la reducción de dichas poblaciones, a partir de la valoración de diversas proporciones entre las concentraciones de los microorganismos constituyentes de la mezcla de MB.

Sería importante comparar la influencia de la concentración de diferentes componentes orgánicos (presentes comúnmente en estas aguas) sobre la eficiencia del coctel MB para reducir coliformes y *E. coli*, de manera que la selección de cepas que integren el coctel se establezca con base en la capacidad degradativa de estos componentes.

Dado que el inóculo puede contener, además de los MB, otros microorganismos indeseables, es importante garantizar las condiciones para evitar la contaminación con microorganismos indeseables en el momento de la activación de la mezcla de MB, a manera de evitar el riesgo de competencia microbiana por espacio y nutrientes durante esta fase, lo cual podría limitar la posterior actividad del coctel en la planta de tratamiento residual.

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 emanado del consejo académico; 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] ALFARO O., JUANTORENA, A. & FONSECA, S. Alternativas para el tratamiento de los residuales del combinado lácteo Santiago. Parte II. Revista Tecnología química. 2002; 22(1): 10-18.
- [2] FEDEGAN. Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019. Bogotá, noviembre de 2006.
- [3] GONZÁLEZ, J., VALDÉS, P., NIEVES, G. & GUERRERO, B. Aplicación de la digestión anaerobia a los residuales de las industrias lácteas. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 1994; 10(1):37-41. Disponible: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/370/37010104.pdf>. [citado 21 de mayo de 2009].
- [4] CHÁVEZ, M., TAJADA, R. & MEJÍA, D. Actividad enzimática del lodo granular en reactor UASB tratando efluente lácteo. Revista del Centro Investigaciones Biológicas. 2005; 39(3): 293-299. Disponible: <http://www.revistas.luz.edu.ve/index.php/bcib/article/view/129/111> [citado 21 de mayo de 2009].
- [5] CHRISTOPHERSON, S., SCHMIDT, D. & JANNI, K. Evaluation of Aerobic Treatment Units in Treating High Strength Waste From Dairy Milk Houses. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2003. 172-177. Disponible: <http://www.pirana.biz/downloads/Minnesota%20Evaluation%20of%20Aerobic%20Treatment%20Units%20In%20Treating%20High%20Stren.doc> [citado 6 de abril de 2009].
- [6] Ministerio de salud. Decreto 1594 de 1984. Por medio del cual se regulan los usos del agua y residuos líquidos. Bogotá, 1984. Disponible: <http://www.fenavi.org/fenavi/admin/uploaded/file/Decreto-1594-1984.pdf> [citado 2 de junio de 2009].
- [7] LONDOÑO, M. Efecto de los microorganismos eficientes sobre la calidad del ensilaje de maíz y su utilización en lechería tropical. Universidad de Lasalle. Bogotá, 2008. Disponible: <http://tegra.lasalle.edu.co/dspace/bitstream/10185/1239/1/13012026.pdf> [citado 21 de mayo de 2009].
- [8] FIORAVANTI, M., VEGA, C., HERNÁNDEZ, C., YEOMANS, J., OKUMOTO, S. Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola. Revista Tierra Tropical. Edición 10, 2005; 1(09): 69-76.
- [9] MIYASHIRO, G. & 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. Universidad Heart. Costa Rica, 2007. 1- 65. Disponible: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/ColeccionVirtual/index.htm> [citado 29 de mayo de 2009].
- [10] GAVIRIA E. & MARTÍNEZ, L. Desarrollo de un producto para saneamiento ambiental basado en cocteles de microorganismos y diseño de su producción comercial. Universidad Earth. Costa Rica, 2004. Disponible: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/ColeccionVirtual/pdf/2001037.pdf> [citado 21 de mayo de 2009].
- [11] APHA – AWWA – WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos. Décimo séptima edición. p 5-11. Madrid, 1992.
- [12] ACODL. Asociación Colombiana de Ingenierías Sanitaria y Ambiental. Control de calidad del agua para consumo. Cali, 1993.
- [13] Millipore. Análisis de agua. Edición 1995-1996. Bogotá, 1996.
- [14] 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. 93–102. Available: <http://www.springerlink.com/content/94k2v5533lr88224/> [citado 21 de mayo de 2009].
- [15] CÓRDOBA A. Evaluación de los Microorganismos Eficaces (SCD EM™) en el Tratamiento de Aguas Residuales domesticas mejorando las características de vertimiento final. 2004. Disponible: <http://www.grupoprotech.net/scdem/publicaciones/informefinalptar.html> [citado 21 de mayo de 2009].