

Calidad microbiológica del agua de un sistema de lagunas de estabilización a ser empleada en irrigación¹

Microbial quality of wastewater in a system of stabilization lagoons to be employed in irrigation

L. Botero^{2,3}, J. L. Zambrano², C. Oliveros², D. León²,
M. Sarcos² y M. Martínez²

Resumen

El uso de aguas residuales en agricultura es una alternativa para incrementar la producción agrícola y controlar la contaminación ambiental, pero puede constituir un problema sanitario debido a los numerosos patógenos que pueden estar presentes en ellas. Los coliformes fecales han sido empleados como indicadores de contaminación pero hoy, es bien conocido la poca relación que existe entre su presencia y la de los patógenos. Por este motivo, en este trabajo se determinaron, en las lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia, además de los indicadores tradicionales, los siguientes microorganismos: enterobacterias (EB), estreptococos fecales (EF), enterococos (EC), heterótrofos (Het), colifagos de *E. coli* C y hongos, siguiendo las técnicas descritas en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, con el fin de evaluar el funcionamiento del sistema para su uso con fines agrícolas. En el efluente final las medias geométricas determinadas fueron: CT $1,2 \times 10^4$ NMP/100 ml, CTT $8,0 \times 10^3$ NMP/100 ml, EF $8,1 \times 10^1$ NMP/100 ml, EC $5,3 \times 10^1$ NMP/100 ml, Het $1,1 \times 10^4$ UFC/ml, *E. coli* C $5,7 \times 10^2$ UFP/ml y Hongos $6,2 \times 10^2$ UFC/ml. Se demostró que el 90% de las muestras no cumplían con el requisito establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para aguas residuales a ser empleadas con fines de irrigación. **Palabras clave:** estabilización, lagunas, hongos, remoción, virus, bacterias, agua.

Recibido el 20-6-2001 ● Aceptado el 26-6-2002

1 Proyecto subvencionado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES-LUZ N° 02785-97.)

2 Unidad de Investigaciones en Microbiología Ambiental. Facultad Experimental de Ciencias. La Universidad del Zulia. Apartado 526. Maracaibo, Venezuela. Teléfono +58-61-598109 ext. 216. Fax: +58-61-428184. e-mail: lbotero@luz.ve

3 Centro de Investigaciones del Agua. Facultad de Ingeniería. La Universidad del Zulia

Abstract

The use of the residual waters in agriculture is an alternative in facing the challenge of increasing agricultural production and in controlling environmental contamination, but it can constitute a sanitary problem due to the numerous pathogens that may be present in these waters. For many years, the fecal coliforms now denominated termotolerants (CTT), have been employed as indicators of contamination but today, it is well-known that there is little relation between the presence of these coliforms and the incidence of pathogens. For this reason, in this study was undertaken in the stabilization lagoons at the University of Zulia. Besides the traditional indicators, the following microorganisms: enterobacterias (EB), fecal estreptococcus (EF), enterococcus (EC), heterótrofos (Het), coliphages of *E. coli* C and fungi were determined, following standard techniques, for the purpose of evaluating the operation of the system and its use for agricultural purposes. In the final effluent, the geometric averages were: CT $1,2 \times 10^4$ MPN/100 ml, CTT $8,0 \times 10^3$ MPN/100 ml, EF $8,1 \times 10^1$ MPN/100 ml, EC $5,3 \times 10^1$ MPN/100 ml, Het $1,1 \times 10^4$ CFU/ml, *E. coli* C $5,7 \times 10^2$ PFU/ml and fungi $6,2 \times 10^2$ CFU/ml. It was demonstrated that despite high removal levels, 90% of the samples did not fulfill the requirement established by the OMS/OPS for residual waters to be used for irrigation purposes.

Key words: Stabilization, lagoons, fungus, removal, viruses, bacteria, water.

Introducción

El uso de aguas residuales en agricultura, es una de las herramientas más valiosas que tienen los países en vía de desarrollo para, por una parte, controlar la contaminación ambiental y por otra, hacer frente al reto de incrementar la producción agrícola, a pesar de la escasez del recurso hídrico (17). Las aguas residuales son, por lo tanto, un recurso muy preciado pero a su vez, pueden constituir un problema sanitario (9), ya que numerosos microorganismos patógenos, causantes de diversas enfermedades, pueden estar presentes en ellas (13).

Debido a que no todos los patógenos pueden ser investigados rutinariamente en el agua, entre otras causas, porque son muy numerosos y

cada uno requiere de métodos específicos para su detección (10), se ha venido empleando desde hace muchos años a las bacterias coliformes como organismos indicadores de su presencia (20). Sin embargo, se han presentado pruebas fehacientes de que los coliformes no reflejan la presencia de bacterias patógenas (6, 7), por lo que se ha sugerido el estudio de otros microorganismos como mejores indicadores de la presencia de ellos. Entre los organismos que se han sugerido como indicadores alternativos están: los estreptococos fecales (EF), enterococos (EC), colifagos y hongos (4, 8, 17, 18).

La remoción de los patógenos, que son endémicos en los países en vías de

desarrollo, debe ser el objetivo prioritario del tratamiento de las aguas residuales que van a ser empleadas para riego en nuestros países, y no la remoción de materia orgánica y nutrientes, que sí es el principal objetivo del tratamiento en los países desarrollados (16).

Dentro de los sistemas de tratamiento conocidos, uno de los más adecuados para el tratamiento de agua para reuso, en regiones donde hay disponibilidad de grandes extensiones de tierra a costos razonables, alta incidencia de luz solar y temperatura normalmente elevada son, sin duda, las lagunas de estabilización (12, 19). Las ventajas de este sistema de tratamiento son: inversión de poco capital, bajos costos de operación, simplicidad en la operación y mantenimiento, constante disponibilidad de tratamiento, y la no necesidad de energía externa diferente a la energía solar (16, 19).

Debido a las dificultades que se confrontan en los países en vías de desarrollo para realizar investigaciones, se tiende a aceptar los estándares numéricos establecidos en los países desarrollados como herramientas de

rutina y, rara vez, se cuestionan sus bases, no obstante que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que cada nación conozca su realidad y adecue a ella las normas existentes, ya que las condiciones poblacionales, económicas, geográficas y sanitarias son diferentes para cada país (14).

Considerando la importancia que tiene el reuso de las aguas residuales y la necesidad de conocer nuestra propia realidad en términos de efectividad de remoción de coliformes y otros organismos en nuestros sistemas de tratamiento, en este trabajo se evaluó en las lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia, construidas en el año 1991 con miras a reutilizar los efluentes para el riego de plantas del área interna de la universidad y con fines experimentales, la presencia de los indicadores tradicionales de contaminación fecal: coliformes totales (CT) y coliformes fecales hoy denominados coliformes termotolerantes (CTT) y otros diversos tipos de microorganismos, cuyo estudio ha sido recomendado como indicador alternativo de contaminación.

Materiales y métodos

Área de estudio: La investigación se efectuó en el sistema "C" de las lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia, durante el período comprendido entre noviembre de 1998 y mayo de 1999. Se analizaron un total de 40 muestras de agua una vez a la semana, de la entrada del sistema (E) y de las lagunas facultativa (LF), de maduración I (LMI) y de maduración II (LMII), en los sitios que

se señalan en la figura 1, para determinar la presencia de: coliformes totales (CT), coliformes termotolerantes (CTT), enterobacterias (EB), estreptococos fecales (EF), enterococos (EC), heterótrofos (Het), colifagos de *E. coli* C y hongos (H).

Análisis microbiológico: Los microorganismos fueron estudiados siguiendo técnicas estándares como se describe a continuación:

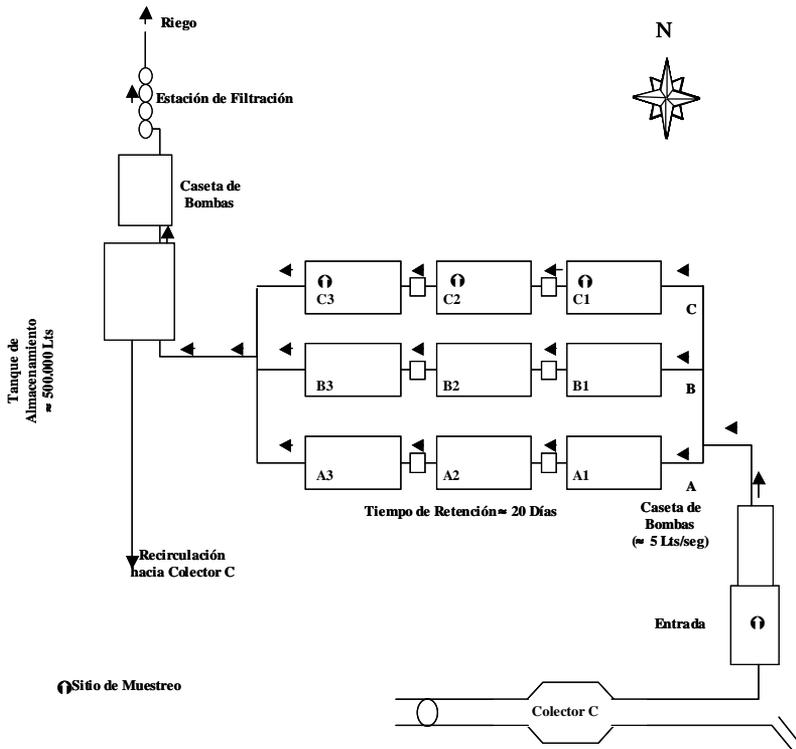


Figura 1. Esquema del sistema piloto de lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia

Los coliformes, estreptococos fecales y enterococos, se determinaron empleando la técnica del número más probable (NMP/100 ml) (1).

Los géneros de enterobacterias pertenecientes al grupo de los coliformes totales y termotolerantes, fueron determinados inoculando alícuotas de 0.1 ml de las diluciones 10^{-2} de las muestras provenientes de E y LF y de diluciones 10^{-1} de LMI y LMII, en los siguientes medios de cultivo selectivos: agar MacConkey (Hi Media Laboratories, Bombay, India), agar EMB (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) y agar *Salmonella-Shigella*

(Becton Dickinson and Company, Cockeysville, USA). Una vez inoculados, los medios fueron incubados por 24 horas a 35.5°C . Posteriormente, se seleccionó el 10% del número de colonias que crecieron en cada medio y se les realizó a cada una las siguientes pruebas bioquímicas que permitieron la identificación de los géneros bacterianos: oxidasa, fermentación de carbohidratos en agar triple azúcar hierro, producción de indol, rojo de metilo, producción de acetoina en la prueba voges-proskauer, utilización del citrato como única fuente de carbono, descarboxilación de

aminoácidos como: arginina, lisina y ornitina, desaminación de la fenilalanina, utilización del malonato, motilidad, e hidrólisis de la urea, de acuerdo con las recomendaciones del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1).

Los heterótrofos y hongos fueron cuantificados mediante el empleo de la técnica de vaciado en placas (1) inoculando 1 ml de las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} de las muestras de E y LF y de las diluciones 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} de LMI y LMII, en agar conteo, para el estudio de las bacterias y en agar extracto de malta-extracto de levadura-glucosa para los hongos (1).

Todos los medios una vez inoculados, fueron incubados a temperaturas recomendada, de acuerdo con los protocolos del Standard

Methods for the Examination of Water and Wastewater (1).

Los contajes de bacteriofagos de *E. coli* se realizaron después del pretratamiento y concentración de las muestras, siguiendo las técnicas descritas por Sinton y col., (17). La detección de los fagos de *E. coli* C, se hizo siguiendo las técnicas descritas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1).

En el momento de la toma de las muestras también se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura, empleando un termómetro ambiental, pH mediante la utilización de un pHmetro de campo (Cole-Parmer, Modelo 5938-00) y la turbidez con un turbidímetro de campo (Hach, Modelo 2100P).

Resultados y discusión

Los valores de la media geométrica del NMP/100 ml, de CT y CTT a la entrada del sistema (E), fueron de $6,5 \times 10^6$ y $8,7 \times 10^6$ respectivamente (cuadro 1). Valores similares fueron reportados en un estudio realizado por Botero y col. en 1997 (3).

Aunque se han propuesto otros organismos diferentes de los CT y CTT como indicadores mas adecuados de contaminación, entre ellos: EF, EC, colifagos y hongos (1), pocas investigaciones han sido publicadas sobre su presencia en lagunas de estabilización en otros países y este es el primer informe en Venezuela, por lo que prácticamente no existen datos para establecer comparaciones. Los valores de la media geométrica

obtenidos en este estudio fueron los siguientes: Para EF y para EC, el NMP/100ml fue de $2,9 \times 10^4$ y $2,3 \times 10^4$, para Het de $1,2 \times 10^7$ UFC/ml. En relación a los colifagos de *E. coli* C y los hongos, se detectaron valores de la media de $2,0 \times 10^5$ UFP/100ml y $2,10 \times 10^5$ UFC/ml.

A la salida del sistema C (LMII), los valores de la media geométrica de NMP/100ml de los organismos bacterianos fueron los siguientes: $1,2 \times 10^4$ para CT, 8×10^3 para CTT, $8,1 \times 10^1$ para EF y $5,3 \times 10^1$ para EC. Para Het, $1,1 \times 10^4$ UFC/ml y para los fagos de *E. coli* C y los hongos fue de $5,7 \times 10^2$ UFP/100ml y $6,0 \times 10^2$ UFC/ml, respectivamente (cuadro 1). Al analizar estos datos, se demuestra que el

Cuadro 1. Valores promedio, media geométrica, mínimos y máximos de los microorganismos encontrados en el sistema C de las lagunas de estabilización.

	CT	CTT	NMP/100 ml EF	EC	UFC/ml Het	UFP/100ml <i>E. coli</i> C	UFC/ml Hongos
E							
Promedio	4,1x10 ⁷	4,4x10 ⁷	2,5x10 ⁶	1,8x10 ⁶	1,7x10 ⁸	4,4x10 ⁵	4,9x10 ⁵
Media	6,5x10 ⁶	8,7x10 ⁶	2,9x10 ⁴	2,3x10 ⁴	1,2x10 ⁷	2,0x10 ⁵	2,1x10 ⁵
Mínimo	4,0x10 ⁵	2,0x10 ⁵	1,0x10 ⁰	1,0x10 ⁰	4,5x10 ⁵	1,0x10 ⁴	2,5x10 ⁴
Máximo	1,6x10 ⁸	1,6x10 ⁸	9,0x10 ⁶	8,0x10 ⁶	1,1x10 ⁹	2,0x10 ⁶	2,0x10 ⁶
Desv Sta	5,7x10 ⁷	5,6x10 ⁷	3,3x10 ⁶	2,4x10 ⁶	3,6x10 ⁸	6,1x10 ⁵	6,3x10 ⁵
LF							
Promedio	2,5x10 ⁵	1,5x10 ⁶	4,9x10 ⁵	9,2x10 ⁶	1,3x10 ⁷	4,0x10 ⁴	5,8x10 ⁴
Media	6,7x10 ⁵	5,0x10 ⁵	4,7x10 ³	2,6x10 ³	2,0x10 ⁶	1,2x10 ⁴	2,1x10 ⁴
Mínimo	8,0x10 ⁴	8,0x10 ⁴	1,0x10 ⁰	1,0x10 ⁰	1,0x10 ⁵	6,0x10 ³	1,0x10 ³
Máximo	1,6x10 ⁷	9,0x10 ⁶	4,0x10 ⁶	4,0x10 ⁵	8,0x10 ⁷	2,0x10 ⁵	2,0x10 ⁵
Desv Sta	4,8x10 ⁶	2,7x10 ⁶	1,2x10 ⁶	1,3x10 ⁵	2,6x10 ⁷	5,5x10 ⁴	7,4x10 ⁴
LMI							
Promedio	4,3x10 ⁵	1,2x10 ⁵	2,6x10 ⁴	2,0x10 ⁴	7,3x10 ⁵	1,1x10 ⁴	1,7x10 ⁴
Media	6,4x10 ⁴	3,8x10 ⁴	2,2x10 ²	2,0x10 ²	1,6x10 ⁵	5,0x10 ³	5,6x10 ³
Mínimo	2,0x10 ³	2,0x10 ³	1,0x10 ⁰	1,0x10 ⁰	1,4x10 ⁴	8,0x10 ²	1,8x10 ³
Máximo	3,0x10 ⁶	3,0x10 ⁵	2,3x10 ⁵	1,7x10 ⁵	3,5x10 ⁶	7,0x10 ⁴	6,8x10 ⁴
Desv Sta	9,1x10 ⁵	1,2x10 ⁵	7,1x10 ⁴	5,2x10 ⁴	1,1x10 ⁶	2,1x10 ⁴	2,6x10 ⁴
LMII							
Promedio	3,2x10 ⁴	2,7x10 ⁴	1,6x10 ⁴	5,5x10 ³	3,5x10 ⁴	1,7x10 ³	2,5x10 ³
Media	1,2x10 ⁴	8,0x10 ³	8,1x10 ¹	5,3x10 ¹	1,1x10 ⁴	5,7x10 ²	6,2x10 ²
Mínimo	8,0x10 ²	2,0x10 ²	1,0x10 ⁰	1,0x10 ⁰	8,0x10 ²	1,0x10 ²	1,0x10 ²
Máximo	1,6x10 ⁵	1,6x10 ⁵	8,0x10 ³	1,7x10 ³	9,9x10 ⁴	4,2x10 ³	2,0x10 ⁴
Desv Sta	4,8x10 ⁴	4,8x10 ⁴	2,5x10 ³	6,2x10 ²	4,1x10 ⁴	1,6x10 ³	6,1x10 ³

NMP: número mas probable; UFC: unidades formadoras de colonia; UFP: unidades formadoras de placa; CT: coliformes totales; CTT: coliformes termotolerantes; EF: estreptococos fecales; EC: enterococos; Het: heterótrofos; *E. coli* C: bacteriofagos de *E. coli* C; E: entrada del sistema; LF: laguna facultativa; LMI: laguna de maduración I; LMII: laguna de maduración II; Media: media geométrica; Desv. Sta: desviación estándar.

sistema alcanzó una eficiencia de 99,81% y 99,90% en la remoción de CT y CTT (cuadro 2). Esta eficiencia, si bien es alta, no es la óptima para un sistema de este tipo, que debería lograr una remoción del 99,99%. En relación a la remoción de los otros microorganismos estudiados, se observa que a excepción de los Het que fueron removidos en porcentaje igual al de CTT, los demás presentaron porcentajes menores, en el rango entre 99,76 y 99,70. Esto ratifica la necesidad de optimizar el funcionamiento del sistema.

Cuando se comparan los porcentajes de remoción de los siete microorganismos estudiados, en las tres lagunas (cuadro 2), se observa que en la laguna facultativa (LF) fueron removidos mas eficientemente los CTT, los fagos de *E. coli* C y los hongos, con porcentajes de 94,25, 94,0 y 90,0 respectivamente. Los demás

microorganismos (CT, EF, EC y Het), fueron mas eficientemente removidos en la Laguna de Maduración I (LMI). En esta misma laguna se presentó el porcentaje de remoción mas alto (95,31%) correspondiente a los EF.

En el cuadro 3 se presentan los géneros bacterianos aislados a la entrada y en cada una de las lagunas del sistema. Como puede observarse, a la entrada del sistema, en el agua negra, se encontraron siete géneros bacterianos diferentes: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Serratia*, *Leclercia*, *Proteus* y *Enterobacter*. De la laguna facultativa, se aislaron cuatro diferentes y tres de cada una de las lagunas de maduración LMI y LMII. La presencia de estas enterobacterias en el efluente final (LMII), significa un riesgo para el uso del agua. *Klebsiella*, es una bacteria que se encuentra distribuida en una gran variedad de hábitats entre ellos,

Cuadro 2. Porcentaje de remoción de los diferentes organismos indicadores evaluados en el sistema C de las lagunas de estabilización.

Parámetro	% de Remoción			
	LF	LMI	LMII	Total
CT	89,69	90,44	81,25	99,81
CTT	94,25	92,40	78,94	99,90
EF	83,79	95,31	63,18	99,72
EC	88,69	92,30	73,50	99,76
Het	83,33	92,00	93,12	99,90
<i>E. coli</i> C	94,00	58,33	88,60	99,71
Hongos	90,00	73,33	88,92	99,70

CT: coliformes totales; CTT: coliformes termotolerantes; EF: estreptococos fecales; EC: enterococos; Het: heterótrofos; *E. coli* C: bacteriofagos de *E. coli* C; LF: Laguna facultativa, LMI: Laguna de maduración I; LMII: Laguna de maduración II.

Cuadro 3. Géneros de enterobacterias recuperados en las lagunas del Sistema C de las Lagunas de Estabilización

Entrada	Facultativa	Maduración I	Maduración II
<i>Escherichia</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella</i>
<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Leclercia</i>	<i>Proteus</i>
<i>Citrobacter</i>	<i>Serratia</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Enterobacter</i>
<i>Serratia</i>	<i>Enterobacter</i>		
<i>Leclercia</i>			
<i>Proteus</i>			
<i>Enterobacter</i>			

el suelo y la vegetación. Esta bacteria, al igual que varias especies de *Proteus* y *Enterobacter*, son de interés clínico, ya que pueden ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto urinario, además de bacteremia, neumonía y otras enfermedades severas en el ser humano (1). Los resultados de esta investigación confirman la necesidad de evaluar constantemente la eficiencia de este sistema de tratamiento, debido a que no necesariamente se cumple, una de las principales propiedades de las lagunas de estabilización, la cual es su capacidad para eliminar microorganismos patógenos (5).

Cuando se analizan los valores de NMP/100ml de CTT en cada una de las muestras de la salida del sistema estudiado (cuadro 4), se observa que en nueve de las diez muestras estudiadas, (90%), el resultado estuvo por encima del valor establecido por la OMS (1000 CTT NMP/100ml) para aguas que van a ser empleadas para irrigación, lo que indica que sólo en una oportunidad (10%) cumplieron con esta normativa. Como consecuencia, las aguas del sistema durante el tiempo

que se realizó este trabajo, no estaban aptas para ser empleadas. Estos resultados ratifican la necesidad del monitoreo constante del agua que sale del sistema de tratamiento con el fin de aplicar a tiempo los correctivos necesarios para obtener un efluente de la calidad requerida evitándose problemas de salud.

En el cuadro 5 se presentan los valores de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, turbidez y pH) determinados en cada una de las lagunas del sistema. El valor de la media geométrica de la temperatura osciló menos de un grado, entre 30,5°C y 31,4°C. El pH entre 7,34 y 8,44. En la entrada, el valor de la media de la turbidez fue de 135,01 NTU y de 73,01 NTU a la salida.

Estudios recientes han demostrado que la inactivación de microorganismos en las aguas superficiales, incluyendo las lagunas, es un proceso complejo que envuelve la interacción de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema, tales como: factores físicos, químico y biológicos, la naturaleza y composición del efluente, así como también involucra

Cuadro 4. Valores de NMP/100ml de coliformes termotolerantes en la salida del sistema C de las lagunas de estabilización

Muestras									
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
2,3x10 ³	2,0x10 ²	5,0x10 ⁴	5,0x10 ³	2,3x10 ³	1,7x10 ⁴	1,6x10 ⁵	5,0x10 ³	1,3x10 ⁴	2,4x10 ⁴

Cuadro 5. Valores Promedio, Media Geométrica, Mínimos y Máximos de los Parámetros Físicoquímicos estudiados en el Sistema C de las Lagunas de Estabilización.

	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (NTU)
E			
Promedio	31,40	7,34	137,78
Media	31,38	7,33	135,01
Mínimo	30,00	6,66	113,00
Máximo	33,00	7,98	217,00
Desv Sta	01,07	0,41	32,19
LF			
Promedio	30,60	8,32	141,87
Media	30,55	8,30	137,46
Mínimo	29,00	7,33	70,30
Máximo	33,00	8,86	216,00
Desv Sta	01,77	0,49	35,35
LMI			
Promedio	31,10	8,44	93,02
Media	31,04	8,43	80,82
Mínimo	29,00	7,50	12,00
Máximo	34,00	8,80	121,70
Desv Sta	01,91	0,38	34,24
LMII			
Promedio	30,50	8,39	78,52
Media	30,44	8,38	73,01
Mínimo	29,00	7,39	39,90
Máximo	34,00	8,95	111,00
Desv Sta	02,01	0,49	28,51

Media: media geométrica; Desv. Sta: desviación estándar

las características geográficas y climatológicas. Esto evidencia que el establecimiento de modelos no puede ser extrapolado de un país a otro (11).

Los hongos, incluyendo las levaduras, las especies filamentosas y los mohos, están también ampliamente distribuidos en la naturaleza. Algunas especies presentan características de patogenicidad y otras son parasitarias. En aguas muy contaminadas, la densidad de los hongos se ve incrementada, ya que están en relación directa con la materia orgánica presente, por lo que se han sugerido también como indicadores de contaminación. Desafortunadamente, no se ha logrado establecer un grupo o especie que sirva como indicador adecuado para los diversos tipos de agua. Los valores de $6,2 \times 10^2$ UFC/ml encontrados en el efluente, significan que es necesario seguir en el futuro su estudio, ya que los indicadores bacterianos tradicionales no presentan relación directa con los hongos y se ha reportado en el ambiente la presencia de especies de hongos de importancia clínica como *Aspergillus*, *Trichophyton* y *Candida* (1).

Bacterias heterotróficas, mesófilas y aerobias, aportan información valiosa acerca del número total de bacterias viables, y constituyen un recurso de evaluación para determinar el grado de exposición del agua a contaminación por materia orgánica, respaldando el significado atribuido a los resultados de los análisis de los coliformes (1, 15).

Los EF y los EC forman parte de un gran número de especies de los géneros *Streptococcus* y *Enterococcus*. Su hábitat normal es el tracto intesti-

nal de los animales de sangre caliente, incluyendo al hombre, por lo que han sido considerados como indicadores de contaminación por materia fecal y han sido utilizados, junto con los coliformes, con el fin de determinar si el origen de la contaminación es animal o humana. La relación entre la presencia de ambos, ha sido cuestionado y ya no es recomendado su uso, ya que la tasa de sobrevivencia de los estreptococos fecales es muy variable: algunas especies mueren rápidamente y otras sobreviven un tiempo mayor. Los enterococos, sin embargo, se han propuesto como uno de los más eficientes indicadores de la calidad de las aguas ya que se ha relacionado su presencia con la aparición de casos de gastroenteritis (1).

El reuso de las aguas en la irrigación de áreas agrícolas ofrece grandes beneficios potenciales como son: el aumento en la producción al incrementarse las áreas de irrigación, la disminución del daño ambiental y la conservación del recurso agua para fines potables. Otro beneficio indirecto de la reutilización de las aguas en los países en desarrollo es el balance ambiental entre los centros urbanos y sus cercanías rurales, dando como resultado, mayores oportunidades de trabajo rural, establecimiento de comunidades y producción de alimentos cercanos a las ciudades. Algunos efectos negativos también pueden esperarse de la irrigación de áreas de cultivo con aguas de reuso, como son la transmisión de enfermedades a los trabajadores de las plantas de tratamiento, a los pobladores cercanos a éstas y a los consumidores de los productos

agrícolas obtenidos en los cultivos (2). Estos efectos negativos sin duda, podrían eliminarse o minimizarse

llevando un estricto control microbiológico de los efluentes que salen del sistema.

Conclusiones y recomendaciones

A pesar de presentar niveles de remoción de los indicadores bacterianos superiores al 99%; durante el periodo de toma de muestras en las lagunas de estabilización, el 90% de las mismas no cumplieron con la normativa establecida por la OMS/OPS.

Es evidente la necesidad del monitoreo periódico de las aguas residuales, con el fin obtener y

mantener los niveles de eficiencia en la remoción de patógenos en concordancia con las regulaciones establecidas para la calidad microbiológica de las aguas con fines de reuso agrícola. Esta sugerencia es pertinente debido a la presencia de bacterias potencialmente patógenas en el efluente final del sistema de lagunas de estabilización.

Agradecimiento

La realización de este trabajo fue posible gracias al financiamiento otorgado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de La Universidad del Zulia (CONDES-LUZ) y a la colaboración del Centro de

Investigaciones del Agua (CIA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, al facilitar sus instalaciones para la realización de los muestreos.

Literatura citada

1. American Public Health Association (APHA). 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. 19th Edition. Washington DC.
2. Bartone, C. R. y S. Arlosoroff. 1987. Irrigation Reuse of Pond Effluents in Developing Country. *Wat. Sci. Tech.* 19:289-297.
3. Botero, L., M. Montiel, P. Estrada, M. Villalobos y L. Herrera. 1997. Microorganism Removal in Wastewater Stabilisation Ponds in Maracaibo, Venezuela. *Wat. Sci. Tech.* 35: 205-209.
4. Derbartolomeis, J. y V. Cabelli. 1991. Evaluation of an *Escherichia coli* Host strain for Enumeration of Male-Specific Bacteriophage. *Appl. Environ. Microbiol.* 57:1301-1305.
5. Fernández, A., C. Tejedor y A. Chordi. 1992. Effect of different factors on the die-off of fecal bacteria in a stabilization pond purification plant. *Wat. Res.* 26: 1093-1098.
6. Gantzer, C., A. Maul, J. M. Audic y L. Schwartzbrod. 1998. Detection on infectious enteroviruses, enterovirus genomes, somatic coliphages, an *Bacterioides fragilis* phages in treated wastewater. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 4307-4312.

7. Griffin, D. W., C. J. Gibson, E. K. Lipp, K. Riley, J. H. Paul y J. B. Rose. 1999. Detection of viral pathogens by reverse transcriptase PCR y of microbial indicators by standard methods in the canals of the Florida keys. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 4118-4125.
8. Havelaar, A., H. van Olphen y Y. Prost. 1993. F-Specific RNA bacteriophages are adequate model organisms for enteric viruses in fresh water. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:2956-2962.
9. Hurst, C. J. 1997. Overview of water microbiology as it relates to public health. p. 133-135. En: Hurst, C. J., G. R. Knudsen, M. J. McInerney, L. D. Stetzenbach, y M. V. Walter (Eds.). *Manual of environmental microbiology*. ASM Press, Washington, D. C.
10. International Development Research Center (IDRC). 1997. Testing the Waters: Coliphage Field Kit. Chapter 1. URL: <http://www.idrc.org>.
11. Maynard, H., S. Ouki y C. Williams. 1999. Tertiary Lagoons: A Review of Removal Mechanisms y Performance. *Wat. Res.* 33: 1-13.
12. Mezrioui, N., K. Oufdou y B. Baleux. 1995. Dynamics of non-O1 *Vibrio cholerae* y fecal coliforms in experimental stabilization ponds in the arid region of Marrakesh, Morocco, and the effect of pH, temperature, y sunlight on their experimental survival. *Can. J. Microbiol.* 41:489-498.
13. Moe, C. L. 1997. Waterborne transmission of infectious agents. p. 136-152. En: Hurst, C. J., G. R. Knudsen, M. J. McInerney, L. D. Stetzenbach y M. V. Walter (Eds.). *Manual of environmental microbiology*. ASM Press, Washington, D. C.
14. OMS/OPS. 1989. Directrices sanitarias en el aprovechamiento de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Ginebra, Serie de informes técnicos, 778.
15. Rodier, J., Ch. Geoffray, G. Kovacsick, J. Laporte, M. Plissier y J. Scheidhaver. 1981. Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y aguas de mar. Barcelona, España: Ediciones Omega, S.A. p.1080
16. Saénz F., R. 1997. Introducción; y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima, Perú. <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/repind53/rys/ryscaual1.html>
17. Sinton, L., R. Finlay y P. Lynch. 1999. Sunlight inactivation fecal bacteriophages y bacteria in sewage-polluted seawater. *Appl. Environ. Microbiol.* 65:3605-3613.
18. Tartera, C. y J. Jofre. 1987. Bacteriophages active against *Bacteroides fragilis* in sewage polluted water. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 1632-1637.
19. Tebbutt, T. H. Y. 1993. Fundamentos de Control de la Calidad del Agua. 3ª Edición. Editorial Limusa. México. p. 166-168.
20. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1986. Ambient water quality criteria for bacteria EPA440/5-84-002, U.S. EPA, Washington, D.C. <http://www.epa.gov>.