

Evaluación de la remoción de colifagos y bacterias indicadoras de contaminación en la Planta de Tratamiento Sur de aguas servidas de la ciudad de Maracaibo

*Aura Morillo y Ligia Botero**

*Unidad de Investigaciones en Microbiología Ambiental. Facultad Experimental de Ciencias.
Universidad del Zulia. Apartado 526. Maracaibo, Venezuela.*

Recibido: 24-05-04 Aceptado: 15-04-05

Resumen

Las aguas residuales tienen gran valor para la irrigación de productos agrícolas y para la piscicultura, ya que los nutrientes que se encuentran en ella pueden ser utilizados como fertilizantes capaces de promover el crecimiento de plantas y animales. Sin embargo, el uso del agua residual que ha sido tratada inadecuadamente, puede traer consigo serios problemas sanitarios, ya que al estar presentes en ella microorganismos patógenos, puede provocar efectos graves en la salud humana. En vista de la importancia que tiene el reuso del agua y el peligro potencial que representa la presencia de microorganismos patógenos en ella, se realizó este trabajo con el fin de detectar, colifagos y bacterias indicadoras de contaminación: coliformes totales (CT) y coliformes termotolerantes (CTT) en el agua residual de la Planta de Tratamiento Sur de Maracaibo. Los colifagos somáticos y macho-específicos de F+ fueron cuantificados, mediante el método 1602 de la EPA y las bacterias indicadoras de contaminación, por métodos estándares. Al momento de la toma de muestra, se determinó el pH, la temperatura y la turbidez del agua. A la entrada de la planta, las Unidades Formadoras de Placas (UFP/100 mL) de los colifagos somáticos y específicos de F+ estuvieron entre 10^4 y 10^3 , en los módulos primarios y en la laguna facultativa entre 10^3 y 10^2 ; 10^2 y 10^1 respectivamente. A la salida la concentración de los dos bacteriófagos estuvo entre 10^1 y 10^0 . Las UFC/100 mL de CT y CTT a la entrada estuvieron entre 10^8 y 10^7 , en los módulos primarios y en la laguna facultativa estuvieron entre 10^7 y 10^5 ; 10^5 y 10^4 respectivamente. En la salida, la concentración de CT y CTT estuvo entre 10^4 y >2 . En base a los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que la planta funcionó removiendo el 96% de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+, 92,5% de los indicadores bacterianos y que la calidad microbiológica del efluente de estas lagunas era, de acuerdo con la normativa vigente, adecuado para el uso en riego.

Palabras clave: Bacterias; bacteriófagos; colifagos somáticos y macho-específicos F+; indicadores.

* Autor para la correspondencia. Teléfono fax: 0261-7428184. E-mail: ligiabotero@cantv.net; aura_21morillo@yahoo.com

Evaluation of the removal of coliphages and indicating bacteria of contamination in the Southern Plant of Treated water served in the city of Maracaibo

Abstract

The wastewaters are of great value for the agricultural product irrigation and for pisciculture because its nutrients can be used as fertilizers which can favor the growth of plants and animals. Nevertheless, the use of the wastewaters that have been treated inadequately can produce serious sanitary problems when pathogens microorganisms are present which may cause serious effects to human health, since the reuse of wastewaters can represent a potential danger if pathogens microorganisms are present. This study aims to determine whether coliphages and contamination bacteria are in wastewaters by means of the 1602 method of the EPA, coliphages and indicating bacteria of contamination in the wastewater. The somatic coliphages and male-specific (F+) were quantified in 40 samples of the plant, at the same time that the indicating bacteria of contamination: total coliforms (CT) and coliforms thermotolerant (CTT). To the moment of the taking of sample, it was determined pH, temperature and turbidities. To the entrance of the plant, the UFP/100 mL of the coliphages somatics and F+ specific presented values between 10^4 and 10^3 , in the primary modulus and the facultative lagoon were between 10^3 and 10^2 ; 10^2 and 10^1 respectively. In the exit the concentration of both bacteriophages was between 10^1 and 10^0 . The UFP/100 mL of CT and CTT to the entrance was between 10^8 and 10^7 , in the primary modulus and in the facultative lagoon they were 10^7 and 10^5 ; 10^5 and 10^4 respectively. In the exit the concentration of CT and CTT was between 10^4 and >2 . Based on the results obtained in this investigation, it is possible to be concluded that the plant worked removing 96% of the coliphages somatics and F+ specific, 92,5% of the bacterial indicators and the microbiological quality of the effluent of these lagoons was, according to the effective norm, adapted for the use in irrigation.

Key words: Bacterias; bacteriophages; indicators; male-specific (F+) and somatic coliphages.

Introducción

Las aguas residuales tienen gran valor para la irrigación de productos agrícolas y para la piscicultura, ya que los nutrientes que se encuentran en ella pueden ser utilizados como fertilizantes capaces de promover el crecimiento de plantas y animales. Sin embargo, el uso del agua residual que ha sido tratada inadecuadamente, puede traer consigo serios problemas sanitarios, ya que al estar presentes en ella microorganismos patógenos, puede provocar efectos graves en la salud humana (1-3).

Con el fin de eliminar la presencia de microorganismos en aguas residuales de origen doméstico, desde los años cincuenta en los países tropicales, se propuso el tratamiento de estas aguas (4). Diversos estudios realizados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CIEPE) y la Organización Panamericana de la Salud (5) recomendaron el sistema de tratamiento mediante lagunas de estabilización (6-8).

En Maracaibo se ha venido insistiendo en la necesidad de la descontaminación del Lago de Maracaibo, al cual se descargan alrededor de 10.000 L/s de aguas residuales.

Entre las medidas adoptadas, el Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM), ha puesto en funcionamiento un Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas denominado Planta de Tratamiento Sur. Esta planta de aguas servidas fue diseñada para tratar un caudal de 3.400 L/s, bajo la modalidad de lagunas de estabilización, en tres etapas consecutivas: Primaria (anaeróbica), Facultativa y Maduración, con el fin de ser reutilizada en el riego de cultivos de diferentes rubros y de esta manera impulsar el desarrollo agrícola de la zona y dar solución al problema de la disposición de las aguas servidas de la población de la zona sur de la ciudad de Maracaibo. Esta planta recibe las aguas residuales del municipio San Francisco y de una zona del municipio Maracaibo. Para el año 2000 recibía 1.200L/s de aguas servidas provenientes de dos de las cuatro estaciones de bombeo que componen el sistema (9).

Se ha demostrado la presencia de más de 100 tipos de virus entéricos en las heces humanas (10). Debido a que el estudio de estos virus es costoso, requiere de personal especializado y de tiempo, ha sido propuesto el estudio entre otros, de dos tipos de bacteriófagos como indicadores de presencia de virus (11 -14), y de eficiencia en el tratamiento del agua residual (15), los bacteriófagos somáticos (16) y los bacteriófagos específicos de F+ (17). Por su parte, los coliformes totales o termotolerantes se han empleado durante muchos años como indicadores de contaminación microbiológica (18). Sin embargo, se ha demostrado que el índice de coliformes termotolerantes no es indicativo de la presencia de virus entéricos humanos en el ambiente, ni de su resistencia a procesos de tratamiento (19, 20), debido a que los virus son más resistentes a la inactivación natural que los indicadores bacterianos (21).

Los bacteriófagos son relativamente fáciles de identificar y sus grupos son diferenciados generalmente por el uso de un hospedador específico. Los colifagos somáticos son bacteriófagos que infectan las células

hospedadoras vía membrana celular exterior. Este grupo heterogéneo de bacteriófagos son virus de ADN y presentan diferentes morfologías, atacan varios sitios en la pared celular de *E. coli* (11-22). Otro grupo más homogéneo de bacteriófagos son los colifagos macho-específicos (F+), que son virus de ARN o de ADN de doble cadena (11-23). Los bacteriófagos específicos de F+ atacan específicamente al pili, una estructura producida por la *E. coli* "macho". Donnison y Havelaar and Hogeboom reportaron que el pili sólo es producido cuando *E. coli* crece a una temperatura superior a los 30°C (22-24). En los países tropicales, las aguas naturales presentan esta temperatura, debido a esto, pudieran ser indicadores más confiables que los bacteriófagos somáticos.

Hasta hoy no existe un método único que sea considerado como el más eficiente para determinar la presencia de colifagos en aguas. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), ha venido realizando esfuerzos para lograr una metodología única que permita detectar la presencia de colifagos como posibles organismos indicadores de virus entéricos en aguas (14). En el año 2001, la USEPA (25), la cual supervisa y recoge los datos de los programas bajo el Acta de Seguridad del Agua Potable y el Acta de Agua Limpia, propuso el método 1602 "Colifagos macho-específicos (F+) y Somáticos en Aguas por el Procedimiento en una Sola Capa de Agar (SAL)", el cual, de acuerdo con ellos, es un método útil para la enumeración de colifagos macho-específico (F+) y somáticos en agua superficial y otros tipos de aguas.

La normativa Venezolana no incluye ninguna indicación sobre el estudio de colifagos. Sin embargo, en otros países se considera que su presencia indica riesgo potencial para la salud pública, ya que la existencia de estos es un indicativo de la presencia de virus entéricos en las aguas (14). Debido al peligro que representa la presencia de virus entéricos en el agua, por los peligros que ocasiona a la salud y debido también a las

dificultades que existen aún hoy en día para determinar la presencia de estos microorganismos en los diferentes tipos de agua y tomando en consideración que los bacteriófagos han sido propuestos como indicadores alternativos de polución en el agua y de eficiencia del tratamiento del agua residual, en este trabajo se utilizó la técnica EPA 1602, con el fin de evaluar la remoción de bacteriófagos somáticos y específicos de F+ en el agua residual de la ciudad de Maracaibo y relacionar los resultados obtenidos con la presencia de las bacterias indicadoras de contaminación.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Las muestras fueron tomadas en la Planta de Tratamiento Sur de aguas servidas, ubicada en el Km. 11 vía la Cañada de Urdaneta. Se realizaron diez (10) muestreos en los cuales se captaron muestras: a la entrada, módulos primarios, laguna facultativa y a la salida del depósito de efluente (Figura 1), durante los meses de julio y agosto del 2003.

Toma de muestra

Las muestras fueron tomadas en botellas estériles de 500 mL de capacidad y colocadas en una cava con hielo, fueron transportadas al laboratorio para su inmediato procesamiento. Al momento de la toma de la muestra se determinó el pH, la temperatura y la turbidez (NTU).

Procesamiento de la muestra para el estudio de bacteriófagos somáticos y específicos de F+

El Procesamiento de la muestra para el estudio de bacteriófagos somáticos y específicos de F+, se realizó mediante el Método 1602 (25). Previo al procesamiento se realizaron pruebas piloto para determinar la cantidad de muestra requerida para obtener una concentración que estuviera en-

tre 30 y 300 Unidades Formadoras de Placa (UFP/100mL). Posteriormente, para cada bacteriófago que iba a ser estudiado, se tomaron dos frascos que contenían 100 mL de Agar Tripticasa de Soya (ATS) al 8% de doble concentración 2X solidificado, los cuales se colocaron en una plancha de calentamiento a 100°C; una vez fundido el agar, los frascos se pasaron a un baño maría a 45-48°C. Adicionalmente, se tomaron dos frascos estériles, para cada bacteriófago: a uno se le agregó 100 mL de la muestra de agua y se marcó como muestra; a otro, marcado como blanco, se le agregó 100 mL de agua destilada y un tercer frasco, al cual se le agregó 100 mL de agua para registrar la temperatura. Se añadió luego 0,5 mL de un stock de cloruro de magnesio (4M) a los frascos marcados como muestra y blanco, estos dos frascos y el de temperatura, se colocaron en un baño maría a 36°C por 5 minutos. Los frascos que contenían ATS fundido recibieron: 0,5 mL de ácido nalidixico al 1% el marcado como CN-13 y 0,15 mL de la mezcla ampicilina/estreptomocina 0,15% el marcado como F+. Transcurrido 5 minutos, se agregó 10 mL del hospedador CN-13 y 10 mL del F+, ambos en fase logarítmica, a los frascos marcados como CN-13 y F+ que contenían la muestra de agua y el blanco. Posteriormente, se agregó 10 mL de agua destilada al frasco para controlar la temperatura, luego los frascos marcados como muestra, blanco de cada bacteriófago y el frasco de temperatura fueron transferidos al baño maría a 45-48°C. Seguidamente, se mezcló cada muestra de bacteriófago con los frascos que contenían ATS-2X fundido, lo mismo se realizó con los frascos marcados como blancos. A continuación se vació el contenido de los frascos dentro de las placas de petri previamente identificadas como CN-13 y F+. Finalmente, se dejó solidificar el agar, se invirtieron las placas de petri y se incubaron a 36°C durante 16 a 24 horas. Después del tiempo de incubación, se contaron las zonas de lisis o unidades formadoras de placa (UFP/100 mL) para ambos bacteriófagos.

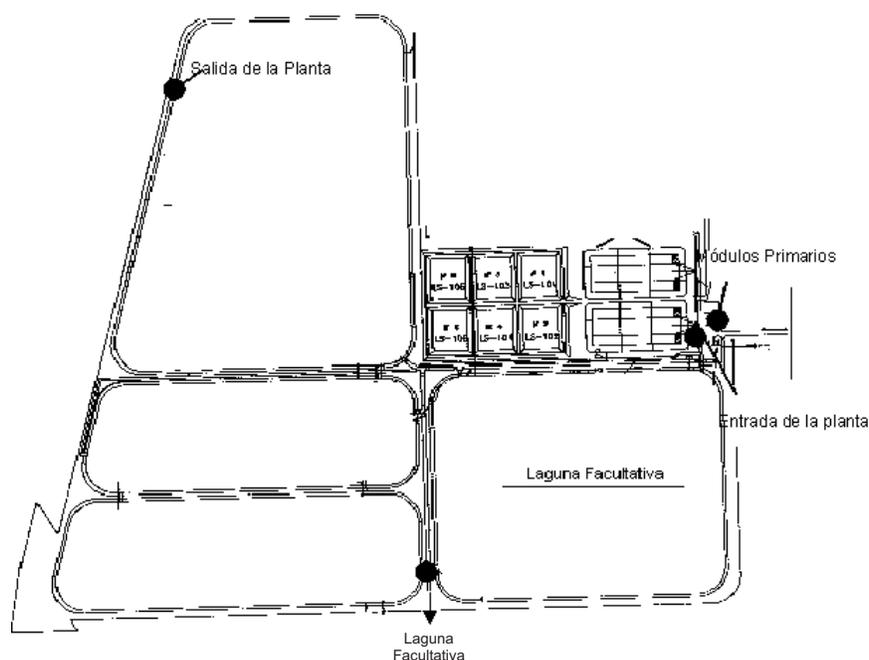


Figura 1. Sitios de muestreo en la planta de tratamiento Sur del ICLAM.

Preparación de los cultivos de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+

La preparación de los cultivos de los hospedadores bacterianos CN-13 y F+, se realizó de la siguiente manera: Se prepararon dos cultivos con 25 mL de Caldo Tripticasa de Soya (CTS) al 3%. A uno de ellos se le adicionó 0,5 mL de ácido nalidixico al 1% y 0,5 mL de un cultivo stock del hospedador CN-13. El otro recibió 0,15 mL de ampicilina/estreptomicina al 0,15% y 0,5 mL del cultivo de stock de 18 horas del hospedador F+. Ambos cultivos se incubaron a 36°C y 100-150 r.p.m. Se leyó la absorbancia de cada uno a 520 nm hasta alcanzar una absorbancia entre 0,1 y 0,5 leída a 520 nm. Una vez alcanzada la absorbancia, los hospedadores se colocaron en hielo a 4°C ± 1°C hasta el momento de su uso que no debió ser más de 2 horas.

Análisis Bacteriológico

Se determinó el número más probable (NMP/100mL) para coliformes totales y ter-

motolerantes mediante el procedimiento descrito por la American Public Health Association (15).

Resultados y Discusión

En todas las 30 muestras correspondientes a la entrada, módulos primarios y laguna facultativa, se determinó la presencia de ambos tipos de bacteriófagos. A la salida, los bacteriófagos somáticos y específicos de F+ se encontraron en 4 de los 10 muestreos realizados (Tabla 1).

Las Tablas 2 al 5 presentan los valores de: UFP/100mL de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+, el NMP/100mL de CT, CTT y los parámetros fisicoquímicos determinados en los sitios estudiados. A la entrada de la planta (Tabla 2), las UFP/100mL para el bacteriófago CN-13 estuvieron entre $3,8 \times 10^3$ y $1,2 \times 10^4$ y para el bacteriófago específico de F+ entre $5,0 \times 10^3$ y $1,2 \times 10^4$; la concentración de NMP/100mL de CT estuvo entre $1,7 \times 10^7$ y $9,0 \times 10^8$ y los CTT entre $1,0 \times 10^6$ y $9,0 \times 10^8$. El pH osciló entre 6,24 y

Tabla 1

Presencia (+) o ausencia (-) de bacteriófagos somáticos y específicos de F+ y Bacterias Indicadoras de Contaminación determinados en la Planta de Tratamiento Sur del ICLAM de la ciudad de Maracaibo

Nº Total de muestras	Tipo de agua	Lugar	Colifagos		Coliformes		
			CN-13	F+	CT	CTT	
40	Aguas Residuales	Plantas de Tratamiento Sur	Entrada de la Planta 1	+	+	+	+
			2	+	+	+	+
			3	+	+	+	+
			4	+	+	+	+
			5	+	+	+	+
			6	+	+	+	+
			7	+	+	+	+
			8	+	+	+	+
			9	+	+	+	+
			10	+	+	+	+
			Módulos Primarios	+	+	+	+
			1	+	+	+	+
			2	+	+	+	+
			3	+	+	+	+
			4	+	+	+	+
			5	+	+	+	+
			6	+	+	+	+
			7	+	+	+	+
			8	+	+	+	+
			9	+	+	+	+
			10	+	+	+	+
			Laguna Facultativa	+	+	+	+
			1	+	+	+	+
			2	+	+	+	+
			3	+	+	+	+
			4	+	+	+	+
			5	+	+	-	-
			6	+	+	+	+
			7	+	+	+	+
			8	+	+	+	+
9	+	+	+	+			
10	+	+	+	+			

Tabla 1
(Continuación)

N° Total de muestras	Tipo de agua	Lugar	Colifagos		Coliformes	
			CN-13	F+	CT	CTT
		Salida de la Planta	+	-	+	+
		1	-	+	-	-
		2	-	-	+	-
		3	-	-	+	+
		4	+	+	+	+
		5	+	-	-	-
		6	+	-	+	+
		7	-	+	+	+
		8	-	+	+	+
		9	-	+	+	+
		10	-+	-	+	+

Tabla 2

UFP/100mL de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+, NMP/100mL de CT, CTT y Parámetros Físicoquímicos determinados en la entrada de la Planta de Tratamiento Sur del ICLAM de la ciudad de Maracaibo

Muestra	Colifagos		Coliformes		pH	TURB.	T
	CN-13 UFP/100mL	F+ UFP/100mL	CT NMP/100mL	CTT NMP/100mL			
1	3,8x10 ³	1,1x10 ⁴	7,0x10 ⁷	7,0x10 ⁷	7,30	71	35
2	1,1x10 ⁴	1,2x10 ⁴	1,7x10 ⁷	1,0x10 ⁶	7,56	138	35
3	4,7x10 ³	5,1x10 ³	2,3x10 ⁷	2,0x10 ⁶	6,71	117	33
4	1,0x10 ⁴	1,0x10 ⁴	1,1x10 ⁸	2,7x10 ⁷	7,32	178	34
5	1,1x10 ⁴	1,0x10 ⁴	2,3x10 ⁷	1,7x10 ⁷	6,87	124	34
6	1,2x10 ⁴	1,2x10 ⁴	1,7x10 ⁸	1,7x10 ⁸	7,06	146	34
7	1,1x10 ⁴	6,2x10 ³	2,6x10 ⁷	2,6x10 ⁷	6,89	122	34
8	6,5x10 ³	8,3x10 ³	1,1x10 ⁸	8,0x10 ⁷	6,24	95	35
9	5,7x10 ³	6,5x10 ³	9,0x10 ⁸	9,0x10 ⁸	7,04	95	34
10	5,3x10 ³	5,0x10 ³	1,7x10 ⁸	9,0x10 ⁷	6,67	130	34
Min.	3,8x10 ³	5,0x10 ³	1,7x10 ⁷	1,0x10 ⁶	6,24	71	33
Máx.	1,2x10 ⁴	1,2x10 ⁴	9,0x10 ⁸	9,0x10 ⁸	7,56	178	35
Prom.	8,1x10 ³	8,6x10 ³	1,6x10 ⁸	1,3x10 ⁸	6,97	122	34,2

UFP= Unidad Formadora de Placa; CN-13= bacteriófago somático; F+= bacteriófago específico; NMP= Número Más Probable; CT= Coliformes Totales; CTT= Coliformes Termotolerantes; TURB.= Turbidez; T= Temperatura; Min.= Valor Mínimo; Máx.= Valor máximo; Prom.= Promedio.

Tabla 3
UFP/100mL de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+, NMP/100ml de CT, CTT y Parámetros Físicoquímicos determinados en los módulos primarios de la Planta de Tratamiento Sur del ICLAM de la ciudad de Maracaibo

Muestra	Colifagos		Coliformes		pH	TURB.	T
	CN-13 UFP/100mL	F+ UFP/100mL	CT NMP/100mL	CTT NMP/100mL			
1	1,3x10 ³	4,2x10 ³	5,0x10 ⁶	2,1x10 ⁴	7,40	105	33
2	9,2x10 ²	4,5x10 ³	1,0x10 ⁵	1,0x10 ⁵	7,36	118	33
3	1,0x10 ³	8,9x10 ²	1,1x10 ⁷	1,0x10 ⁵	6,64	104	32
4	2,7x10 ³	7,0x10 ²	5,0x10 ⁶	5,0x10 ⁶	7,04	97	33
5	3,1x10 ³	2,5x10 ³	2,7x10 ⁶	2,7x10 ⁶	6,74	102	33
6	3,5x10 ³	2,0x10 ³	2,3x10 ⁶	2,3x10 ⁶	6,89	106	32
7	2,0x10 ³	9,7x10 ²	2,3x10 ⁷	4,0x10 ⁶	7,05	103	33
8	1,0x10 ³	1,8x10 ³	8,0x10 ⁶	4,0x10 ⁵	7,15	103	33
9	1,3x10 ³	2,5x10 ³	2,7x10 ⁶	2,7x10 ⁶	7,11	105	32
10	2,0x10 ³	1,7x10 ³	9,0x10 ⁷	3,0x10 ⁷	6,98	105	31
Min.	9,2x10 ²	7,0x10 ²	1,0x10 ⁵	2,1x10 ⁴	6,64	97	31
Máx.	3,5x10 ³	4,5x10 ³	9x10 ⁷	5,0x10 ⁶	7,40	118	33
Prom.	1,8x10 ³	2,1x10 ³	1,4x10 ⁷	4,7x10 ⁶	7,04	105	33

UFP= Unidad Formadora de Placa; CN-13= bacteriófago somático; F+= bacteriófago específico; NMP= Número Más Probable; CT= Coliformes Totales; CTT= Coliformes Termotolerantes; TURB.= Turbidez; T= Temperatura; Min. = Valor Mínimo; Máx.= Valor máximo; Prom.= Promedio.

7,56; la turbidez entre 71 y 178 NTU y la temperatura entre 33 y 35°C.

En los módulos primarios (Tabla 3), la concentración de UFP/100mL para el bacteriófago somático estuvo entre 9,2x10² y 3,5x10³ y la del bacteriófago específico de F+ entre 7,0x10² y 4,5x10³; la concentración de NMP/100mL de CT estuvo entre 1,0x10⁵ y 9,0x10⁷ y los CTT entre 2,1x10⁴ y 5,0x10⁶. El pH osciló entre 6,64 y 7,40; la turbidez entre 97 y 118 NTU y la temperatura entre 31 y 33°C.

En la laguna facultativa (Tabla 4), la concentración de UFP/100mL para el bacteriófago somático estuvo entre 3,8x10¹ y 4,0x10³; la del bacteriófago específico F+ entre 2,4x10¹ y 9,2x10²; la concentración de NMP/100mL de CT y CTT estuvieron entre

<2 y 1,0x10⁴. El pH osciló entre 6,93 y 7,64; la turbidez entre 79 y 111 NTU y la temperatura entre 30 y 33°C.

A la salida de la planta (Tabla 5), la concentración de UFP/100mL para el bacteriófago somático estuvo entre 1,0x10⁰ y 1,3x10¹ y del bacteriófago específico de F+ entre 1,0x10⁰ y 6,0x10⁰; la concentración de NMP/100mL de CT estuvo entre <2 y 7,0x10⁴ y de CTT estuvo entre <2 y 3,4x10⁴. El pH osciló entre 7,10 y 8,20; la turbidez estuvo comprendida entre 85 y 125 NTU y la temperatura entre 30 y 33°C.

En el 85% de las muestras de agua residual correspondientes a la entrada, módulos primarios y laguna facultativa, se determinaron ambos bacteriófagos. En 6 de los 10 muestreos realizados a la salida de la

Tabla 4
 UFP/100mL de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+, NMP/100ml de CT, CTT y
 Parámetros Fisicoquímicos determinados en la Laguna Facultativa de la Planta de Tratamiento Sur
 del ICLAM de la ciudad de Maracaibo

Muestra	Colifagos		Coliformes		pH	TURB.	T
	CN-13 UFP/100mL	F+ UFP/100mL	CT NMP/100mL	CTT NMP/100mL			
1	5,2x10 ¹	1,9x10 ²	6,0x10 ⁵	6,0x10 ⁵	7,58	79	33
2	3,8x10 ¹	9,2x10 ²	1,7x10 ⁵	4,0x10 ⁴	7,63	79	32
3	2,0x10 ²	2,4x10 ¹	3,0x10 ⁵	2	7,10	85	30
4	5,2x10 ¹	5,8x10 ¹	1,0x10 ⁴	1,0x10 ⁴	7,64	88	33
5	1,5x10 ²	8,0x10 ⁰	2,3x10 ⁵	2,3x10 ⁵	7,30	111	31
6	9,4x10 ¹	1,5x10 ²	<2	<2	6,93	100	31
7	4,0x10 ³	1,1x10 ²	3,0x10 ⁵	2,0x10 ⁴	7,61	104	31
8	1,2x10 ²	2,0x10 ²	6,0x10 ⁵	9,0x10 ⁴	6,93	108	31
9	1,6x10 ²	2,7x10 ²	3,3x10 ⁵	3,3x10 ⁵	7,41	96	32
10	1,3x10 ²	8,4x10 ¹	4,0x10 ⁵	4,0x10 ⁵	7,32	95	31
Min.	3,8x10 ¹	2,4x10 ¹	<2	<2	6,93	79	30
Máx.	4,0x10 ³	9,2x10 ²	1,0x10 ⁴	1,0x10 ⁴	7,64	111	33
Prom.	499,6x10 ¹	201,4x10 ¹	2,9x10 ⁵	1,9x10 ⁵	7,35	95	32

UFP= Unidad Formadora de Placa; CN-13= bacteriófago somático; F+= bacteriófago específico; NMP= Número Más Probable; CT= Coliformes Totales; CTT= Coliformes Termotolerantes; TURB.= Turbidez; T = Temperatura; Min.= Valor Mínimo; Máx.= Valor máximo; Prom.= Promedio.

planta de tratamiento, los bacteriófagos somáticos y específicos de F+ no fueron detectados, mientras que en solo dos de las muestras no se detectaron CT ni CTT, no se conocen las causas y contrario a lo que se ha discutido, trabajos previos han demostrado que los colifagos son más resistentes a la inactivación natural que los indicadores bacterianos. A pesar de que la normativa Venezolana no incluye ninguna indicación sobre el estudio de colifagos, se considera que su presencia indica riesgo potencial para la salud pública, ya que la existencia de estos es un indicativo de la presencia de virus entéricos en las aguas (26, 27).

La variación en la concentración de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+ en la Planta de Tratamiento Sur se presenta en la Figura 2. Se observa en general mayor

cantidad de bacteriófagos específicos de F+ que de bacteriófagos somáticos a la entrada, en los módulos primarios y en la laguna facultativa, excepto en los muestreos 5 al 7 de la salida, en los cuales se observa en mayor proporción el bacteriófago somático (Figura 2). Donnison y Havelaar and Hogeboom (22-24) reportaron que el pili del bacteriófago específico de F+ solo es producido cuando *E. coli* crece a una temperatura superior a los 30°C y en los países tropicales, las aguas naturales presentan esta temperatura, debido a esto, pudieran ser indicadores más confiables que los bacteriófagos somáticos.

En la laguna facultativa, se observa en mayor concentración el bacteriófago específico de F+, excepto en los muestreos 6 al 8 en los cuales se observó en mayor proporción el bacteriófago somático (Figura 2). En la sali-

Tabla 5
UFP/100mL de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+, NMP/100ml de CT, CTT y Parámetros Físicoquímicos determinados en la salida de la Planta de Tratamiento Sur del ICLAM de la ciudad de Maracaibo

Muestra	Colifagos		Coliformes		pH	TURB.	T
	CN-13 UFP/100mL	F+ UFP/100mL	CT NMP/100mL	CTT NMP/100mL			
1	1,0x10 ⁰	0	1,7x10 ⁴	2,1x10 ⁴	7,76	104	33
2	0	1,0x10 ⁰	<2	<2	7,96	94	31
3	0	0	2,0x10 ⁴		7,10	85	30
4	0	0	1,7x10 ⁴	1,7x10 ⁴	8,20	121	33
5	2,0x10 ⁰	1,0x10 ⁰	1,4x10 ⁴	7,0x10 ³	7,50	106	31
6	1,3x10 ¹	0	<2	<2	7,60	140	31
7	2,0x10 ⁰	0	3,0x10 ⁴	8,0x10 ³	8,06	125	31
8	0	2,0x10 ⁰	1,7x10 ⁴	2,0x10 ³	7,90	101	30
9	0	6,0x10 ⁰	7,0x10 ⁴	3,0x10 ⁴	8,02	94	31
10	0	0	3,4x10 ⁴	3,4x10 ⁴	7,22	91	31
Min.	1,0x10 ⁰	1,0x10 ⁰	<2	<2	7,10	85	30
Máx.	1,3x10 ¹	6,0x10 ⁰	7,0x10 ⁴	3,4x10 ⁴	8,20	125	33
Prom.	1,8x10 ¹	1,0x10 ⁰	2,7x10 ⁴	1,7x10 ⁴	7,73	106	31

UFP= Unidad Formadora de Placa; CN-13= bacteriófago somático; F+= bacteriófago específico; NMP= Número Más Probable; CT= Coliformes Totales; CTT= Coliformes Termotolerantes; TURB.= Turbidez; T= Temperatura; Min.= Valor Mínimo; Máx.= Valor máximo; Prom.= Promedio.

da de la planta, el bacteriófago somático presentó concentraciones entre 10¹ y 10⁰, y mientras que el bacteriófago específico de F+ solo presentó concentración de 10⁰ y en 1 de 10 muestreos, los dos bacteriófagos presentaron igual concentración, encontrándose en mayor proporción el bacteriófago somático (Figura 2).

El porcentaje de remoción se observa en las Tablas 6 y 7. De los 10 muestreos realizados, los valores de remoción para el bacteriófago somático estuvieron entre 99,97% y 100% y para el bacteriófago específico de F+ entre 99,91% y 100%. Cuando se analiza la remoción por lagunas, se observa que la mayor remoción de ambos bacteriófagos ocurrió entre laguna facultativa y la salida, ya que seis de 10 muestreos realizados pre-

sentaron el 100%. Como puede observarse la planta de tratamiento removió eficientemente los bacteriófagos somáticos y específicos de F+.

El porcentaje de remoción de bacterias coliformes totales y termotolerantes, se observa en las Tablas 8 y 9. De los 10 muestreos realizados, los valores de remoción para CT estuvieron entre 93,90% y 99,99% y para CTT entre 99,60% y 99,99%. Cuando se analiza la remoción por lagunas, se observa que la remoción de bacterias CT y CTT fue similar entre módulos primarios y laguna facultativa y entre la laguna facultativa y la salida. En la remoción de bacterias CT entre módulos primarios y laguna facultativa, 7 de 10 muestreos estuvieron por encima del 91% y 3 estuvieron por encima del 70%,

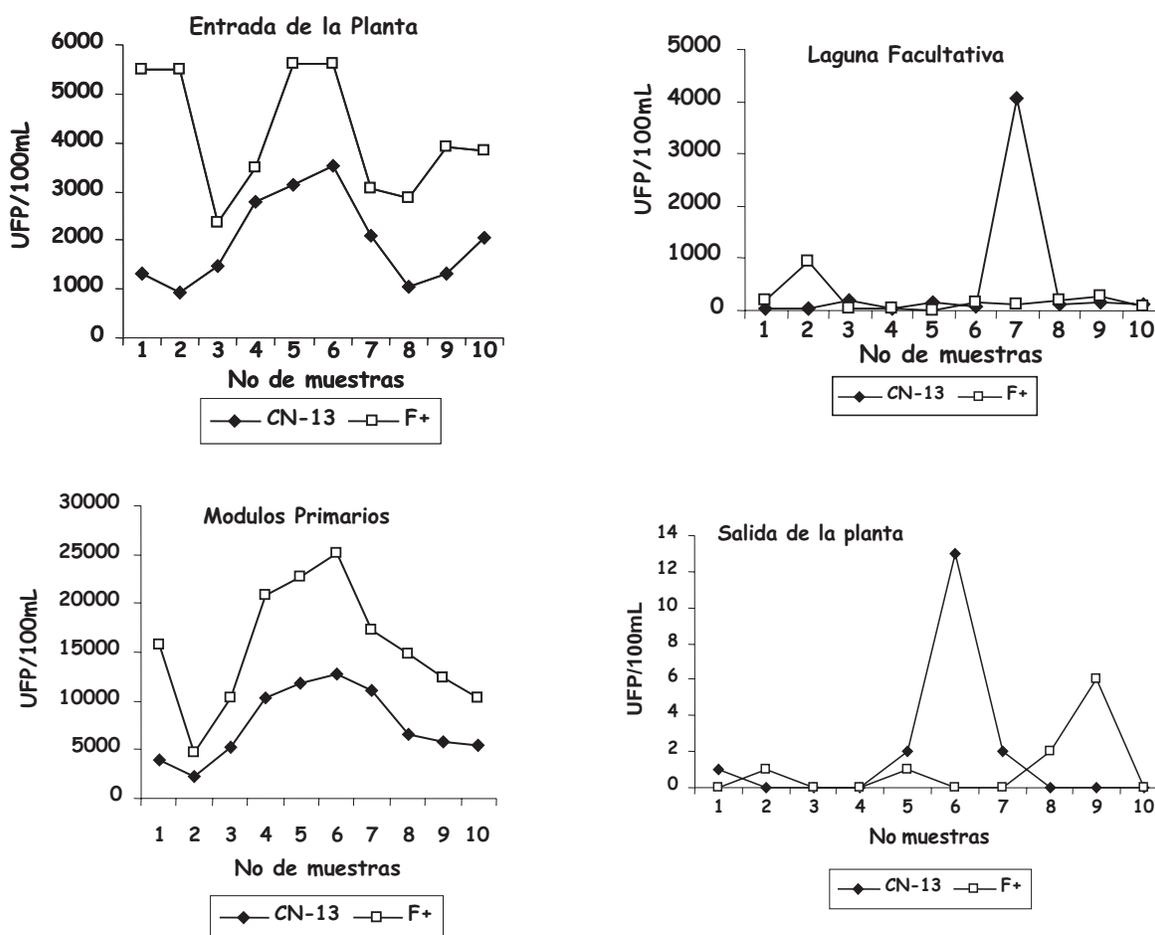


Figura 2. Variación en la concentración de los bacteriófagos somáticos y específicos de F+ en la Planta de Tratamiento Sur del ICALM.

entre la laguna facultativa y la salida, 1 de 10 muestreos presentó el 100%, 3 estuvieron por encima del 97%, 3 por encima del 90% y 3 estuvieron por encima del 70% de remoción. En la remoción de bacterias CTT, 2 de 10 muestreos presentaron el 100%, 4 estuvieron por encima del 96%, 2 por encima del 90% y 2 estuvieron por encima del 60% de remoción.

En Venezuela existen normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos o efluentes líquidos, donde se establece que las aguas tipo 2B, que son las aguas para el riego de cualquier tipo de cultivo diferentes a vegetales destinados al consumo humano y para

uso pecuario deben tener un promedio mensual de coliformes totales (CT) menor de 5.000 número más probable de agua (<5000 NMP/100mL); para los coliformes totales debe ser menor de 1.000 número más probable de agua (<1000 NMP/100mL). De acuerdo con esta normativa todas las muestras de la salida, cumplieron con los requisitos establecidos por la Gaceta Oficial de Venezuela, ya que los valores promedios de CT y CTT durante el mes de julio estuvieron entre $1,8 \times 10^4$ y $2,1 \times 10^4$ NMP/100mL respectivamente, $2,7 \times 10^4$ y $1,7 \times 10^4$ NMP/100mL para el mes de agosto. La calidad microbiológica del efluente de estas lagunas es buena, ya que removió el 96% de los bacteriófa-

Tabla 6
Porcentaje de remoción para el bacteriófago CN-13 en la Planta de Tratamiento Sur del ICLAM

Nº de Muestras	E -M	M - L. F	L. F - S	E -S
1	65,79	96,00	98,08	99,97
2	91,63	95,87	100	100
3	70,22	85,72	100	100
4	73,00	98,07	100	100
5	71,80	95,20	98,67	99,98
6	70,80	97,30	86,20	99,89
7	81,81	100	99,95	99,98
8	84,62	88,00	100	100
9	77,19	87,69	100	100
10	62,27	93,50	100	100
Min.	62,27	85,72	86,20	99,97
Máx.	91,63	100	100	100
Media	74,91	93,74	98,29	99,98

E= Entrada de la planta; M= Módulos primarios; L. F.= Laguna facultativa; S= Salida.

Tabla 7
Porcentaje de remoción para el bacteriófago F+ en la Planta de Tratamiento Sur del ICLAM

Nº de Muestras	E -M	M - L. F	L. F - S	E -S
1	61,82	95,48	100	100
2	62,50	79,55	99,89	99,99
3	82,50	97,30	100	100
4	93,00	91,70	100	100
5	75,00	99,68	88,00	99,99
6	83,30	92,50	100	100
7	84,35	88,66	100	100
8	78,32	88,88	99,00	99,97
9	61,54	89,20	97,78	99,91
10	66,00	95,06	100	100
Min.	61,54	79,55	88,00	99,91
Máx.	84,35	99,68	100	100
Media	74,83	91,80	98,47	99,99

E= Entrada de la planta; M= Módulos primarios; L. F.= Laguna facultativa; S= Salida

gos y 92,5% de los indicadores bacterianos y constata que el adecuado funcionamiento de este tipo de instalaciones constituye una herramienta muy valiosa en el reuso del agua para el riego de cultivos.

El agua es importante que se considere como lo que es: un producto básico, escaso, de gran valor económico y social y que no se puede y no se debe desperdiciar.

Tabla 8
Porcentaje de Remoción de Bacterias Coliformes Totales en la Planta de Tratamiento Sur del ICLAM

Nº de Muestras	E -M	M - L. F	L. F - S	E -S
1	92,80	88,00	97,40	99,98
2	99,42	70,00	99,99	99,99
3	52,20	97,30	93,40	99,92
4	95,50	99,80	70,00	99,98
5	79,30	91,50	96,96	93,90
6	98,60	99,99	100	99,99
7	11,54	98,70	90,00	99,89
8	92,73	92,50	97,17	99,98
9	99,70	87,78	78,79	99,99
10	99,98	99,56	78,79	99,98
Min.	11,54	70,00	70,00	93,90
Máx.	99,98	99,99	100	99,99
Media	82,17	92,51	90,25	99,36

E= Entrada de la planta; M= Módulos primarios; L. F.= Laguna facultativa; S= Salida.

Tabla 9
Porcentaje de Remoción de Bacterias Coliformes Termotolerantes en la Planta de Tratamiento Sur del ICLAM

Nº de Muestras	E -M	M - L. F	L. F - S	E -S
1	92,80	88,00	96,50	99,70
2	90,00	60,00	99,99	99,99
3	95,00	99,99	100	99,99
4	81,50	99,80	70,00	99,94
5	79,30	91,50	96,96	99,95
6	98,60	99,99	100	99,99
7	100	99,50	60,00	99,60
8	99,50	77,50	97,77	99,99
9	99,70	87,78	90,91	99,99
10	66,66	98,67	91,50	99,96
Min.	66,66	60,00	60,00	99,60
Máx.	100	99,99	100	99,99
Media	90,31	90,27	90,36	99,91

Conclusión

En base a los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir:

La planta de tratamiento sur del ICLAM, durante el tiempo de realización de este estudio, removi6 el 96% de los bacteriófagos y 92,5% de los indicadores bacteria-

nos, lo que indica que las muestras analizadas cumplieron con la normativa de la OMS, por lo que la calidad microbiológica del efluente de estas lagunas es muy buena.

Sin embargo, con el fin de garantizar el funcionamiento adecuado del sistema, es necesario su monitoreo constante.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES – LUZ), por otorgar el apoyo financiero necesario para la realización y culminación de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

- MOSCOSO J., LÉON G., GIL E. "Reuso en acuicultura de las aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan". Sección II: Tratamiento de las aguas residuales y Aspectos Sanitarios CEPIS/OPS. HDT 59: Uso de aguas residuales, Lima (Perú) pp 1-22, 1992.
- CASTRO R., REIFF F. **Water Quality in Latin America** ILSI Press, Washington D.C. (USA), 13-18, 1996.
- HURST C.J., KNUDSEN R., MCINERNEY J., STETZENBACH D., WALTER V. **Manual of Environmental Microbiology**. (Eds. HURST CH., KNUDSEN G., MCINERNEY M., STETZENBACH L., WALTER M.). ASM Press, Washington D.C. (USA), pp 176-183, 1997.
- SAENZ R. "Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales". CEPIS/PAHO/WHO. 1985.
- ESPARZA M.L., SÁENZ R. Evaluación Microbiológica y toxicológica sobre rehúso de aguas residuales en riego. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; 1989.
- CASTRO DE ESPARZA M.L., LEÓN G. "Estudio preliminar de la remoción de *Vibrio cholerae* en lagunas de estabilización". Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima (Perú), 1997.
- DE LEON R., COL. **Manual of Environmental Microbiology**. American Society for Microbiology. Washington. D.C. (USA), 1997.
- SÁENZ R. "Prediction de la calidad del efluente en lagunas de estabilización". Washington, D.C. Organización Panamericana de la Salud, Programa HPE, 1992.
- ICLAM. Gerencia de Ingeniería Ambiental. Resumen del Sistema de Tratamiento Sur. 5315/11 R-74, 1999.
- MELNICK L., GERBA. **Critical Rev Environmental** 10: 65-70, 1989.
- IAWPRC. **Water Research** 25:259-545, 1991.
- BRENNER K.P., RANKIN C.C., ROYBAL R. Y., STELMA N.G., SCARPINO P.V., DUFOUR A.P. **Applied Environmental Microbiology** 59:3534-3544, 1993.
- BRENNER K.P., RANKIN C.C., SIVAGANESAN M., SCARPINO P.V. **Applied and Environmental Microbiology** 62:203-208, 1996.
- BRION G.M., MESCHKE J.S., SOBSEY M.D. **Water Research** 36: 2419-2425, 2002.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA19 Edition. Washington D.C. (USA), 1995.
- MORIÑO M.A., WHEELER D., BERRY C., JONES C., MUÑOZ M.A., CORNAX R., BORREGO J. **Water Research** 26 (3):267-71, 1992.
- HAVELAARA.H., FURUSE K., HOGEBOM WH. **Applied Bacteriology** 60:255-62, 1986.
- O'KEEFE B., GREEN J. **Water Research** 23 (8):1027-1030, 1989.
- GELDENHUYS J.C., PRETORIUS P.D. **Water Science and Technology** 21(3):105-109, 1989.

-
20. HAVELAAR A.H., VAN OLPHEN M., DROST Y. **Applied Environmental Microbiology** 59: 29-62, 1993.
 21. LEE J.V., DAWSONS R., WARD S., SURMAN S.B., NEAL K.R. **Water Science and Technology** 35; 165-170, 1997.
 22. DONNISON A.M., ROSS C.M. **Water Research** 29 (49):1105-1110, 1995.
 23. DEBARTOLOMEIS J., CABELLI V.J. **Applied and Environmental Microbiology** 57: 1301-1305, 1991.
 24. HAVELAAR A.H., POT-HOGEBOOM W.M., FURUSE K., POT R. HORMANN MP. **Food Control** 5:145-152, 1994.
 25. USEPA-A, Method 1602: "Male-specific (F+) and Somatic Coliphages in Water by Single Agar Layer (SAL) Procedure" Office of Water. USEPA, Washington, D.C., EPA 821-R-01-030, 2001.
 26. HAZEN T.C., TORANZOS G.A. **Tropical source water**. 32-53, 1990.
 27. GELDREICH E., **Water Quality in Latin America**. PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. WORLD HEALTH ORGANIZATION. ILSI Press, Washington, D.C. (USA), 19-44, 1996.