

Artículo científico

Capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II**Andrea Rocío Vásquez Ruballos**

Ingeniera civil, M.Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC.

Dirección para recibir correspondencia: rociovasquezruballos@gmail.com

Recibido 21.11.2017 Aceptado 28.11.2017

Resumen

La capacidad del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II es significativa en la remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales, así como el cumplimiento de la relación de coliformes fecales/estreptococos fecales (CF/EF) de las aguas crudas. El valor promedio a la salida de estreptococos fecales fue $2,78 \times 10^7$ NMP/100 cm³ que representa el 58 % de remoción, de coliformes fecales fue $5,78 \times 10^{10}$ NMP/100cm³ que representa el 98% de remoción y de coliformes totales fue $7,15 \times 10^{11}$ NMP/100cm³ que representa el 71 % de remoción, por lo tanto, es necesario implementar un tratamiento terciario para cumplir con el límite máximo permisible de coliformes fecales que se establece en el Acuerdo Gubernativo 236 – 2006. Para este caso, se recomienda continuar con la reutilización del efluente para riego agrícola en general como tratamiento terciario, según la clasificación, Tipo I, establecida en el artículo 35 de dicho acuerdo. La relación CF/EF obtenida fue de 11 000:1, lo cual difiere del valor típico de 4,4:1 obtenido de otras investigaciones similares.

PALABRAS CLAVE: agua residual, relación coliformes fecales/estreptococos fecales (CF/EF), efluente, límite máximo permisible, número más probable, tratamiento.

Abstract

The capacity of the artificial surface flow wetland of the Aurora II pilot plant is significant in the removal of fecal streptococcus, fecal and total coliforms, as well as compliance with the fecal coliforms/fecal streptococcus (FC/FS) ratio of the affluent water. The average value at the exit of fecal streptococcus was $2,78 \times 10^7$ MLN/100cm³ representing 58 % of removal, $5,78 \times 10^{10}$ MLN/100cm³ for fecal coliforms representing 98 % of removal and $7,15 \times 10^{11}$ MLN/100cm³ for total coliforms which represents the 71% of removal, therefore, it's necessary to implement a tertiary treatment to comply with the maximum permissible limit of fecal coliforms established by the "Acuerdo Gubernativo 236 – 2006" which is the Guatemalan regulation. For this case, it is recommended to continue with the reuse of the effluent for agricultural irrigation in general as a tertiary treatment, according to the classification, Type I, established in article 35 of the same regulation. The FC/FS ratio obtained was of 11 000:1, which differs from the typical value of 4,4:1 obtained from the literature.

KEYWORDS: wastewater, fecal coliforms/fecal streptococcus (FC/FS) ratio, effluent, maximum permissible limit, most likely number, treatment.

Introducción

Los humedales proveen sumideros efectivos de nutrientes y sitios amortiguadores para contaminantes orgánicos e inorgánicos, a través de la sedimentación, absorción, metabolismo bacterial y su interactuar con la atmósfera. En respuesta a lo anterior, la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS – cuenta con una unidad experimental de este tipo, que ha servido para la investigación de procesos de tratamiento de aguas residuales.

Se encontró la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II, y la relación existente de coliformes fecales/estreptococos fecales (CF/EF) del agua cruda. Se recolectó un total de 11 muestras en cada uno de

los puntos, entrada y salida del humedal, para los cuales se analizaron los parámetros antes mencionados, utilizando el método de tubos múltiples de fermentación para determinación de coliformes totales y fecales y el método de Enterolert para determinación de estreptococos fecales.

La remoción promedio de coliformes fecales fue del 98 %, con un valor de salida de $5,78 \times 10^{10}$ NMP/100 cm³, con lo que se concluye que es necesario la implementación de un tratamiento terciario para que dicho parámetro cumpla con límite máximo permisible de 1×10^4 NMP/100cm³ establecido en el Acuerdo Gubernativo 236 – 2006.

La eficiencia de remoción promedio de coliformes totales fue de 71 % equivalente a $7,15 \times 10^{11}$ NMP/100cm³, sin embargo, en Guatemala no existe una normativa que regule la descarga de los mismos.

La relación de CF/EF encontrada difiere de lo consultado con otras investigaciones, consecuencia de que las muestras no fueron tomadas directamente en el punto de origen, sino de una derivación del caudal que ingresa al humedal, y al pasar por determinada distancia y tiempo se pierden sólidos suspendidos en el trayecto afectando la concentración original de microorganismos.

Antecedentes

La importancia de los humedales ha variado con el tiempo. En el periodo carbonífero, es decir, hace más de 350 millones de años, cuando predominaban los ambientes pantanosos, los humedales produjeron y conservaron muchos combustibles fósiles (carbón y petróleo) de los que hoy se depende. El progreso del conocimiento científico de los humedales ha puesto en evidencia bienes y servicios más sutiles y han sido descritos a la vez como los riñones del medio natural, a causa de las funciones que pueden desempeñar para el tratamiento del agua.

En Guatemala existen dos investigaciones sobre la evaluación de humedales artificiales realizadas por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Una en la planta San Miguel de la empresa Cementos Progreso S.A. localizada en el km 46,5 carretera al Atlántico, Sanarate, El Progreso, (ALVARADO, Cinthya, 2010), y la otra en la planta piloto Aurora II, localizada en la zona 13 de la ciudad capital (MIRANDA CASTAÑON, Jeovany, 2012).

En el humedal artificial en estudio, ubicado en la planta piloto Aurora II se determinó la capacidad de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno (N) y fósforo (P) del flujo sub-superficial; sin embargo, no se cuenta con un análisis de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales de flujo superficial.

Estudios realizados a 27 sistemas de humedales artificiales de flujo superficial ubicados en los Estados Unidos, indican que tienen la capacidad de remover en promedio el 98% de coliformes fecales, valor que resulta confiable tomando en cuenta que las concentraciones de entrada resultan de magnitud 1x10⁴ NMP/100cm³, dado a que toda descarga a humedales debe cumplir con los requisitos del permiso de descargas del Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes, del país mencionado, por lo que normalmente se usan para tratamientos terciarios.

En España, la Gestión de Aguas del Levante Almeriense, S.A. (GALASA), desarrolló en 1997 el proyecto de investigación denominado: El uso de humedales artificiales en la depuración de aguas residuales. Para dicho proyecto se analizaron varios parámetros, entre ellos los coliformes fecales, obteniendo reducciones de coliformes fecales del 97% (dos órdenes logarítmicos).

Ubicación del proyecto

El humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II, figura 1, se encuentra localizada en la parte final de la diagonal 26, No. 20 – 56, colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad capital y sus coordenadas geodésicas son: 14°34'43,55N 90°32'10,73”O, entre las cotas 1520 y 1550 msnm.

Figura 1: Ubicación del área de estudio

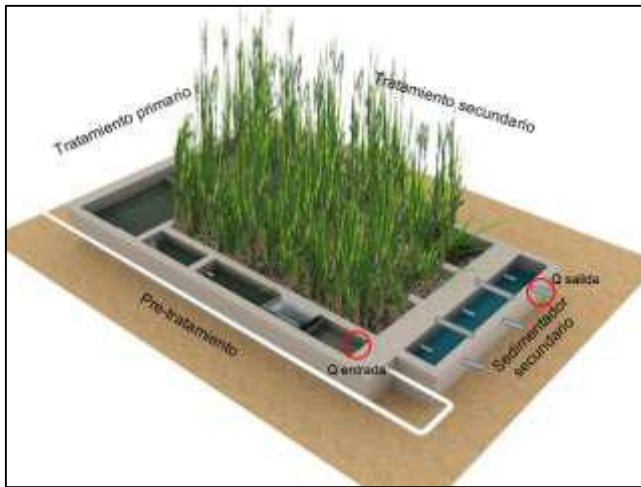


Fuente: google maps.

Metodología

Los puntos de muestreo se realizaron en la entrada y salida del humedal, recolectando un total de 11 muestras en cada uno de ellos, para los cuales se analizaron los parámetros de estreptococos fecales y coliformes totales y fecales.

Figura 2: Esquema de humedal artificial



Fuente: MIRANDA CASTAÑÓN, Jeovany. Diseño y construcción de humedales de flujo sub-superficial en la planta piloto Aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domésticas. p. 23

Análisis de coliformes totales y fecales

Los parámetros de coliformes totales y coliformes fecales se determinaron por medio de tubos múltiples de fermentación llevando a cabo la prueba presuntiva y luego la confirmativa.

Prueba presuntiva

En la prueba presuntiva se dejó incubar la muestra por 48 horas a 35 °C. Debido a que era evidente que el agua se encontraba muy contaminada, se analizaron porciones de 1 x 10⁻⁸ ml, 1 x 10⁻⁹ ml y 1 x 10⁻¹⁰ ml para diluir las muestras y obtener resultados que pudieran ser interpretados más adecuadamente. Todos los tubos dieron resultado positivo. Luego se procedió a confirmar sembrando en medio nutritivo verde brillante para determinar coliformes totales y medio nutritivo EC para determinar E. Coli.

Prueba confirmativa

Se repitió el procedimiento para los tubos que resultaron positivos de la prueba presuntiva, incubando durante 24 horas a 44,5 °C para determinación de E. Coli y para coliformes totales se incubó durante 48 horas a 35 °C. Los tubos en ambos medios de cultivo resultaron positivos.

Análisis de estreptococos fecales

Se utilizó el método de Enterolert, agregando un sobre del medio de cultivo a un recipiente de 100 ml de muestra, luego al verterlo directamente en el dispositivo Quanti – Tray se incubó de 24 a 48 horas a una temperatura de 35 °C, y finalmente el indicador contenido en el reactivo emitió fluorescencia cuando fue metabolizado por el estreptococo. Todo el dispositivo presentó fluorescencia.

Luego de determinar la cantidad de estreptococos fecales resultantes, se comparó la relación entre coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (EF) obtenida con la establecida en la literatura (4,4:1).

En la tabla 1 se muestran los valores típicos de la relación CF/EF tanto para los desechos humanos como para los diferentes animales.

Tabla 1. Contribución per cápita estimada de microorganismos indicadores procedentes de seres humanos y algunos animales.

Animal	Densidad de indicador media/g de heces		Contribución media/cápita – 24 h		
	Coliformes fecales 10 ⁶	Estreptococos fecales 10 ⁶	Coliformes fecales 10 ⁶	Estreptococos fecales 10 ⁶	Relación CF/EF
Gallina	1,3	3,4	240	620	0,4
Vaca	0,23	1,3	5.400	31.000	0,2
Pato	33,0	54,0	11.000	18.000	0,6
Humano	13,0	3,0	2.000	450	4,4
Cerdo	3,3	84,0	8.900	230.000	0,04
Oveja	16,0	38,0	18.000	43.000	0,4
Pavo	0,29	2,8	130	1.300	0,1

Fuente: METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. p. 115.

Resultados

En las tablas 2, 3, 4 y 5 se pueden observar los resultados de estreptococos fecales, coliformes totales

y fecales del humedal artificial de flujo superficial, así como la relación obtenida de CF/EF. En dichas tablas se detallan los valores de entrada y salida del humedal, porcentaje de remoción de cada parámetro y valores

estadísticos como el promedio, máximo, mínimo y desviación estándar.

Tabla 2. Resultados de remoción de coliformes totales

Remoción de coliformes totales				
No. Muestra	Dimensional	Entrada	Salida superficial	Porcentaje de remoción
1	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,21E+11	90,79
2	NMP/100cm ³	2,40E+12	3,30E+10	98,63
3	NMP/100cm ³	2,40E+12	1,60E+12	33,33
4	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,00E+10	99,17
5	NMP/100cm ³	2,40E+12	1,40E+10	99,42
6	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,40E+12	0,00
7	NMP/100cm ³	1,60E+12	2,40E+12	*---
8	NMP/100cm ³	2,40E+10	1,48E+11	*---
9	NMP/100cm ³	1,60E+12	3,45E+11	78,44
10	NMP/100cm ³	2,40E+12	1,40E+10	99,42
11	NMP/100cm ³	3,45E+11	2,40E+12	*---
Indicadores estadísticos				
Promedio	NMP/100cm ³	2,40E+12	7,15E+11	70,22
Máximo	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,40E+12	99,42
Mínimo	NMP/100cm ³	2,40E+12	1,40E+10	0,00
Desviación estándar	NMP/100cm ³	0,00E+00	1,03E+12	42,92

Fuente: VASQUEZ RUBALLOS, Andrea Rocío. Evaluación de la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II. p. 28.

Tabla 3. Resultados de remoción de coliformes fecales

Remoción de coliformes fecales				
No. Muestra	Dimensional	Entrada	Salida superficial	Porcentaje de remoción
1	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,21E+11	90,79
2	NMP/100cm ³	2,40E+12	6,00E+09	99,75
3	NMP/100cm ³	2,40E+12	8,40E+10	96,50
4	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,00E+09	99,92
5	NMP/100cm ³	2,40E+12	1,00E+10	99,58
6	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,40E+10	99,00
7	NMP/100cm ³	1,75E+11	5,42E+11	*---
8	NMP/100cm ³	2,40E+10	8,40E+10	*---
9	NMP/100cm ³	1,75E+11	4,00E+10	77,14
10	NMP/100cm ³	4,00E+10	1,20E+10	70,00
11	NMP/100cm ³	3,20E+10	2,40E+12	*---
Indicadores estadísticos				
Promedio	NMP/100cm ³	2,40E+12	5,78E+10	97,59
Máximo	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,21E+11	99,92
Mínimo	NMP/100cm ³	2,40E+12	2,00E+09	90,79
Desviación estándar	NMP/100cm ³	0,00E+00	8,55E+10	3,56

Fuente: VASQUEZ RUBALLOS, Andrea Rocío. Evaluación de la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II. p. 29.

NOTA: (*---) El agua sale con más coliformes fecales que con las que entra.

Para efectos de obtener resultados representativos, no se tomaron en cuenta los resultados a partir de la muestra 6.

Tabla 4. Resultados de remoción de estreptococos fecales

Remoción de estreptococos fecales				
No. Muestra	DIMENSIONAL	ENTRADA	SALIDA SUPERFICIAL	PORCENTAJE DE REMOCIÓN
1	NMP/100cm ³	7,95E+07	2,78E+07	65,03
2	NMP/100cm ³	9,21E+08	2,81E+07	96,95
3	NMP/100cm ³	4,27E+07	3,59E+07	15,93
4	NMP/100cm ³	4,60E+07	1,87E+07	59,35
5	NMP/100cm ³	1,34E+08	3,59E+07	73,17
6	NMP/100cm ³	3,22E+07	2,02E+07	37,27
7	NMP/100cm ³	6,05E+07	4,46E+07	26,28
8	NMP/100cm ³	4,25E+07	2,31E+07	45,65
9	NMP/100cm ³	3,59E+07	2,81E+07	21,73
10	NMP/100cm ³	6,35E+07	1,58E+07	75,12
11	NMP/100cm ³	3,05E+07	1,81E+07	40,66
Indicadores estadísticos				
Promedio	NMP/100cm ³	2,09E+08	2,78E+07	57,95
Máximo	NMP/100cm ³	9,21E+08	3,59E+07	96,95
Mínimo	NMP/100cm ³	3,22E+07	1,87E+07	15,93
Desviación estándar	NMP/100cm ³	3,51E+08	7,37E+06	28,28

Fuente: VASQUEZ RUBALLOS, Andrea Rocío. Evaluación de la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II. p. 30

NOTA: (*---) El agua sale con más coliformes fecales que con las que entra.

Para efectos de obtener resultados representativos, no se tomaron en cuenta los resultados a partir de la muestra 6.

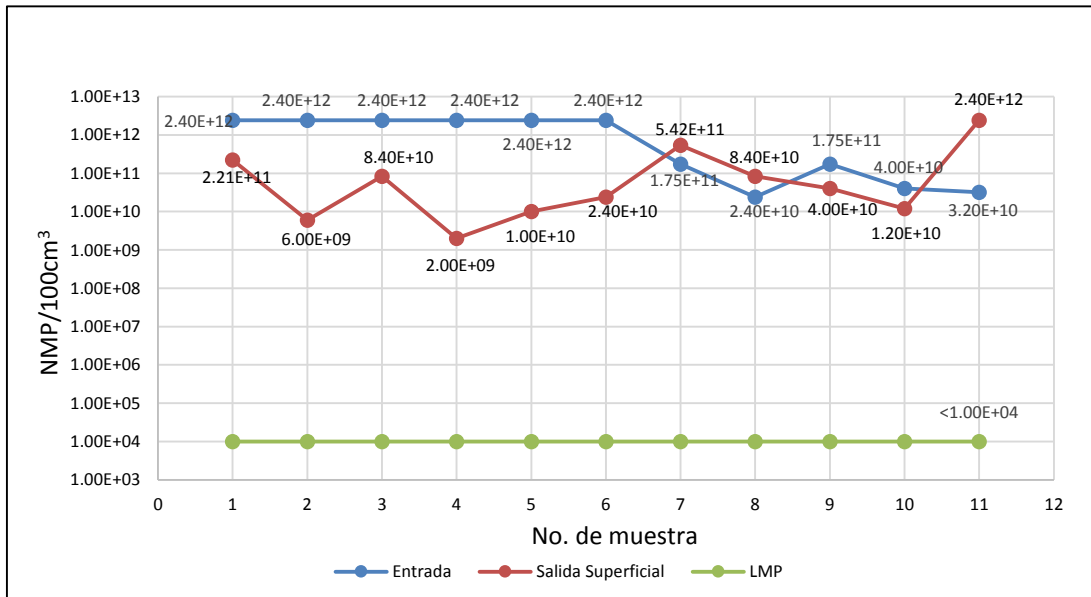
Tabla 5. Relación de CF/EF

Relación de coliformes fecales/estreptococos fecales			
No. Muestra	COLIFORMES FECALES	ESTREPTOCOCOS FECALES	CF/EF
1	2,40E+12	7,95E+07	30 188,68
2	2,40E+12	9,21E+08	2 606,43
3	2,40E+12	4,27E+07	56 206,09
4	2,40E+12	4,60E+07	52 173,91
5	2,40E+12	1,34E+08	17 937,22
6	2,40E+12	3,22E+07	74 534,16
7	1,75E+11	6,05E+07	2 892,56
8	2,40E+10	4,25E+07	564,71
9	1,75E+11	3,59E+07	4 874,65
10	4,00E+10	6,35E+07	629,92
11	3,20E+10	3,05E+07	1 049,18
Promedio	2,40E+12	2,09E+08	11 474,10

Fuente: VASQUEZ RUBALLOS, Andrea Rocío. Evaluación de la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II. p. 31.

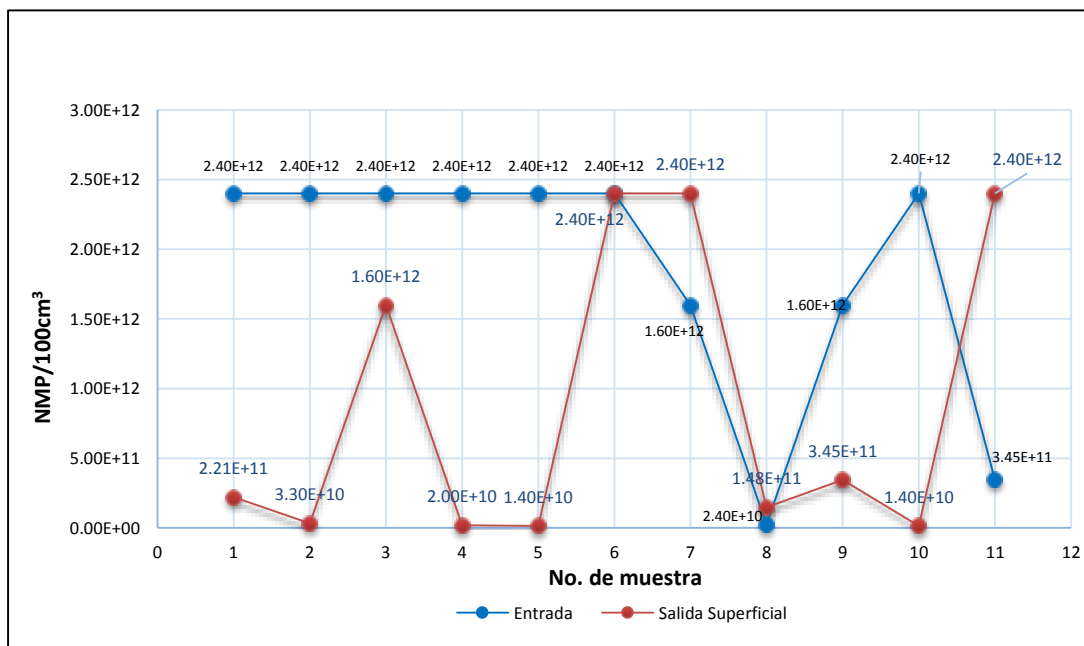
En la figura 3 a figura 5, se muestran los resultados de remoción de cada uno de los parámetros analizados.

Figura 3. Entrada vs. salida de coliformes fecales



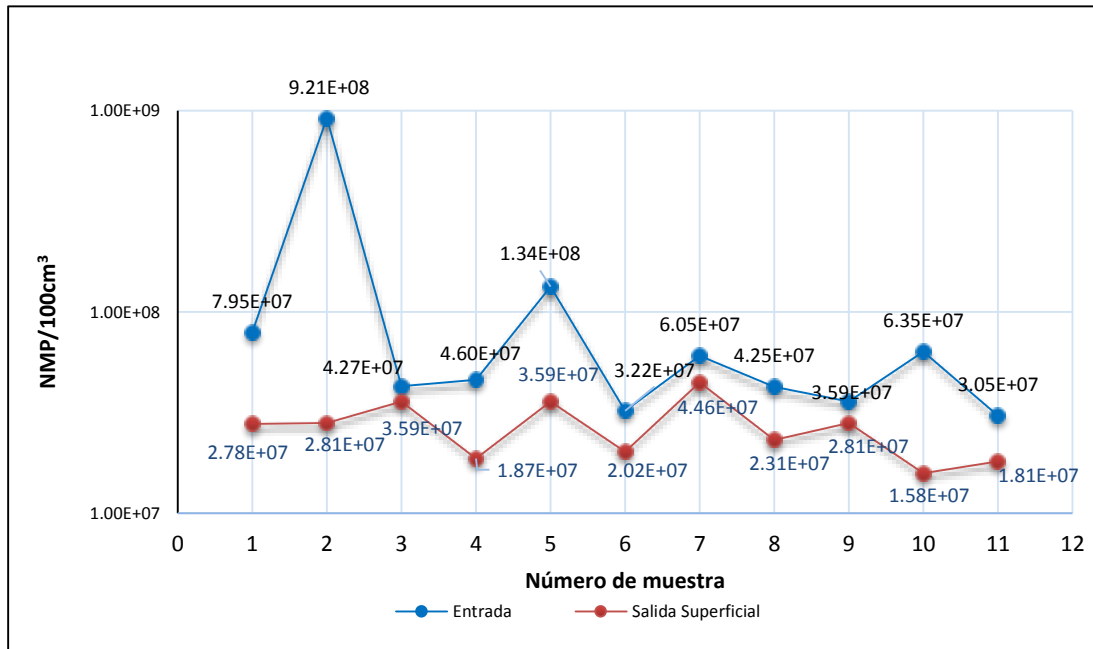
Fuente: VASQUEZ RUBALLOS, Andrea Rocío. Evaluación de la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II. p. 34.

Figura 4. Entrada vs. salida de coliformes totales



Fuente: VASQUEZ RUBALLOS, Andrea Rocío. Evaluación de la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II. p. 35.

Figura 5. Entrada vrs. salida de estreptococos fecales



Fuente: VASQUEZ RUBALLOS, Andrea Rocío. Evaluación de la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II. p. 36.

Análisis de resultados

Coliformes fecales

En los resultados obtenidos de la muestra número 1 a la 6, figura 3, se logran reducciones de 1 a 3 logaritmos, los cuales representan valores de porcentaje de remoción arriba del 90 %, tabla 1, mientras que los resultados obtenidos de la muestra número 7 a la 11 se encuentran aún más contaminadas y con valores de porcentaje de remoción inferiores, tabla 1, reduciendo solamente 1 logaritmo y bajando la eficiencia de remoción en un 25 % promedio, al ser afectadas directamente por el vaciado del humedal por parte del operador para darle mantenimiento a la planta. Esto impactó en la eficiencia del sistema, debido a la desestabilización del ambiente de los microorganismos, pues si bien es necesario al menos unos meses para que la vegetación y los microorganismos del sustrato alcancen nuevamente un desarrollo óptimo. El valor de porcentaje de remoción promedio de 98 % equivalente a $5,78 \times 10^{10}$ NMP/100cm³ se encuentra fuera del límite máximo permisible $< 1 \times 10^4$ NMP/100cm³ establecido

en el Acuerdo Gubernativo No. 236 – 2006, por lo que es necesario implementar un tratamiento terciario para cumplir con lo antes indicado.

Coliformes totales

Los resultados muestran que todos los valores de salida, en general, no fueron constantes, figura 4, mostrando un comportamiento similar a los coliformes fecales en las muestras iniciales de la 1 a la 5 donde se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción, tabla 2, a excepción de la muestra 6 donde no se obtuvo ninguna remoción. Esto como consecuencia de haber sido tomada en horas pico, tomando en cuenta que el agua que recibe el humedal proviene de un conjunto de viviendas, la cultura de los usuarios, el día y hora en que se tomó la muestra, la probabilidad de que fuera una hora pico es alta, factor que influyó negativamente en la eficiencia de remoción. Las muestras de la 7 a la 11, figura 4, también se afectaron por el vaciado realizado por el operador para su mantenimiento. Las muestras 7, 8 y 11 salieron más contaminadas que a la entrada y las muestras 9 y 10 obtuvieron porcentajes de remoción del 70 %

aproximadamente. Se obtuvo una desviación estándar de $\pm 42,92$ %, la cual no es representativa para efectos del control de este parámetro ya que los valores resultantes son bastante altos.

Estreptococos fecales

Los valores a la salida del humedal se mantuvieron en un rango de $1,87 \times 10^7$ a $3,59 \times 10^7$ NMP/100 cm³, figura 5, con un promedio de porcentaje de remoción de 57,95 %, un valor máximo de remoción de 96,95 % y un mínimo de 15,93 %. Tomando en cuenta que el agua que recibe el humedal proviene de un conjunto de viviendas, la cultura de los usuarios, el día y la hora en que se tomaron las muestras 2 y 5, la probabilidad de que fuera una hora pico es alta.

Por ello, muestra los valores más altos a la entrada del humedal; sin embargo, todos los valores de salida son constantes, indicando que el humedal es eficiente en cuanto a su remoción, pues no importando la cantidad que ingrese de estreptococos, finalmente el sistema se colmata dejando pasar siempre la misma cantidad a la salida.

Relación CF/EF

Con base en otras investigaciones consultadas, la relación CF/EF, tabla 1, es de 4,4:1; sin embargo, para la presente investigación, la relación obtenida fue de 11 000:1, la cual fue afectada por varios factores, entre ellos que las muestras no fueron tomadas directamente en el punto de origen, ya que la derivación del caudal que ingresa al humedal es solo una fracción del caudal total generado, al pasar por determinada distancia y tiempo se pierden sólidos suspendidos en el trayecto afectando la concentración original de microorganismos. Además, los estreptococos son menos abundantes que los coliformes fecales ya que mueren rápidamente fuera del huésped.

Conclusiones

El valor de coliformes totales obtenido del agua tratada por el humedal artificial de flujo superficial fue de $7,15 \times 10^{11}$ NMP/100cm³ que representa el 71 % de remoción, de coliformes fecales fue $5,78 \times 10^{10}$ NMP/100cm³ que representa el 98% de remoción y de estreptococos fecales fue $2,78 \times 10^7$ NMP/100cm³ que representa el 58 % de remoción.

La remoción de estreptococos fecales oscila en el rango de 16 % a 97 % de acuerdo a los resultados obtenidos, encontrándose un valor promedio de 58 %,

indicando que el humedal es eficiente en cuanto a la remoción de dicho parámetro.

Los coliformes fecales presentan una eficiencia de remoción mayor de 90 % en la mayoría de las muestras analizadas, los valores a la salida se mantienen en un rango de $2,00 \times 10^9$ a $2,21 \times 10^{11}$ NMP/100 cm³, por lo que se hace necesario la implementación de un tratamiento terciario para que se cumpla con el valor permisible de $< 1 \times 10^4$ NMP/100cm³ establecido en el Acuerdo Gubernativo No. 236 – 2006.

Los coliformes totales presentan una eficiencia de remoción promedio de 71 % equivalente a $7,15 \times 10^{11}$ NMP/100cm³, una desviación estándar de ± 43 % no representativa debido a la alta cantidad de coliformes presentes, un porcentaje máximo de remoción de 99,42 % y un mínimo de 0,00 % debido a que el agua sale más contaminada que a la entrada, sin embargo, en Guatemala no existe una normativa que regule la descarga de coliformes totales.

La relación CF/EF obtenida en la presente investigación fue de 11 000:1, la cual difiere del valor típico de 4,4:1 obtenido de investigaciones similares, este resultado se afectó principalmente debido a que las muestras no fueron tomadas directamente en el punto de origen, sino de una derivación del caudal que ingresa al humedal.

La eficiencia de remoción de coliformes fecales y totales en las muestras 7 a la 11 se vieron afectadas por el vaciado total del humedal, realizado por el operador para darle mantenimiento al sistema, debido a que no se cuenta con equipo de bombeo para remover los lodos.

Referencias

- Alvarado Pagoaga, Cinthya Odeth. Evaluación y sistematización del humedal artificial de la planta San Miguel de Cementos Progreso. Estudio Especial. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. 13 p.
- Arias I., Carlos A. / BRIX, Hans. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá Colombia, 2003. 24 p.

Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Humedal Artificial de flujo superficial libre. [en línea]:

<<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t5.html>> [consulta: enero 2017].

Lahora, Agustín. Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la Edar de los gallardos (Almería). Vera, Almería, España. 112 p.

Lara Borrero, Jaime Andrés. Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España, 1999. 114 p.

Llagas Chafloque, Wilmer Alberto, & GUADALUPE GÓMEZ, Enrique. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. 86 p.

Miranda Castañón, Jeovany Rudaman. Diseño y construcción de humedales de flujo sub-superficial en la Planta Piloto Aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Estudio Especial. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 50 p.

Much, Santos, Zenón. Manual de Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Material de apoyo para el laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 55 p.

Romero Rojas, Jairo Alberto. Calidad del Agua. 3ª. ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. 485 p.

Vasquez Ruballos, Andrea Rocío. "Evaluación de la capacidad de remoción de estreptococos fecales, coliformes fecales y totales del humedal artificial de flujo superficial de la planta piloto Aurora II". Estudio Especial. USAC, ERIS. Guatemala 2017.

de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) en el año 2011.

M.Sc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.

Información del Autor

Ingeniera civil, Andrea Rocío Vásquez Ruballos, graduada de ingeniera civil en la Facultad de Ingeniería