

ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS EN PLANTAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.

*Ma. T. Orta de Velásquez, Ma. N. Rojas-Valencia, I. Yañez, I. Monje y W de J. Londoño

Instituto de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-472, Coyoacán 04510, México D.F., México. Tel: (52) (55) 56233600 ext. 8663. Fax: (52) (55) 56 16 21 64 *Email: tol@pumas.iingen.unam.mx

ABSTRACT

In this study an alternative is presented for the disposal and treatment of leachates generated in stage IV of the Bordo Poniente Landfill. The alternative treatment involves facultative lagoons located in Texcoco Lake, which is 1.5 km from the site of leachate generation. Because such systems function with the help of algae, the growth and evolution of the microorganisms responsible for the treatment such as the algae *Microsistis sp.*, *Merismopedia sp.*, *Euglena sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Chlorella* and *Diatomeas*, were tracked, as were levels of fecal coliform matter and heavy metals. The results show that it is viable to incorporate 10% leachate mixed with wastewater into facultative lagoons, and the result is a 71% removal efficiency of Biological Oxygen Demand (BOD). It was demonstrated that mixing stable leachates with young leachates increases the wastewater plant's removal efficiency by raising the level of organic material in the leachate-wastewater mixture. This was done through the treatment of 90 mg/L without altering the algal population.

RESUMEN

En este trabajo se presenta la alternativa de disponer y tratar los lixiviados generados en la etapa IV del relleno de Bordo Poniente por medio de lagunas facultativas (LFR) ubicadas en el Lago de Texcoco a 1.5 Km de distancia, de donde se generan los lixiviados. Puesto que el sistema lagunar funciona con ayuda de las algas, se llevo un seguimiento del crecimiento y evolución de los microorganismos responsables del tratamiento como las algas *Microsistis sp.*, *Merismopedia sp.*, *Euglena sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Chlorella* y *Diatomeas*, también se hicieron determinaciones de coliformes fecales y metales pesados. Los resultados muestran que es viable incorporar un gasto de 10% de lixiviados con respecto al gasto de agua residual dando una eficiencia de 71% con respecto a DBO. Se demostró que al juntar los lixiviados estabilizados con los jóvenes, se favorecen la eficiencia de remoción de la planta al incrementar la materia orgánica en la mezcla de agua residual- lixiviado a tratar a 90 mg/L sin alterar la población algal.

Palabras claves: Lixiviados de rellenos sanitarios (jóvenes, estabilizados), lagunas de estabilización.

INTRODUCCIÓN

Algunos reportes bibliográficos indican que lixiviados con una DQO de 10,000 mg/L pueden ser tratados en una proporción lixiviado-agua residual del 5% en volumen sin causar afectos negativos en los procesos de tratamiento y en la calidad del efluente (Qasin y Chiang, 1994).

En otro estudio, los lixiviados con una DQO de 37,667 mg/L y DBO₅ de 13,821 mg/L, fueron incorporados y tratados en un sistema de lodos activados en una relación lixiviado-agua residual del 1.5% (v/v) sin causar efectos negativos. Logrando una alta eficiencia en la remoción de materia orgánica biodegradable y nitrógeno amoniacal (Orta *et al*; 1999).

La incorporación de lixiviados de rellenos sanitarios, en instalaciones de plantas de aguas residuales con procesos biológicos, como una medida de tratamiento y/o disposición, es una alternativa atractiva tanto desde el punto de vista técnico como económico.

En el relleno sanitario Bordo Poniente se reciben diariamente alrededor de 12, 000 toneladas de residuos urbanos provenientes de la Ciudad de México, los lixiviados viejos (más de 5 años) presentan características fisicoquímicas de relación DBO/DQO menor a 0.1, que lo clasifican como un lixiviado estabilizado. El lixiviado joven (celdas de menos de 1 año) presenta una relación de DBO/DQO de 0.35, que indica la capacidad de tratamiento biológico con características de un lixiviado biodegradable (Orta *et al.*, 2004). Basados en estos trabajos los objetivos de este estudio fueron: 1) determinar la capacidad del tratamiento biológico de las Lagunas Facultativas con Recirculación (LFR) ubicadas en la zona federal del lago de Texcoco, Estado de México, para recibir una aportación de lixiviados del relleno sanitario Bordo Poniente Etapa IV y 2) determinar los intervalos de aportación aceptables en que se podrá realizar el vertido directo de lixiviados crudos, sin causar alteraciones sensibles al sistema de tratamiento biológico de la planta.

METODOLOGÍA

Se construyó una planta modelo experimental a escala con el fin de reproducir las condiciones que prevalecen en las instalaciones reales. El diseño del modelo se basó en el control del régimen el flujo, con el objeto de garantizar un flujo laminar, cada tanque fue diseñado con vertedores que permitieron la entrada y salida del agua sin provocar turbulencia. A la salida se

adaptó una mampara para impedir que las algas salieran del tanque y fluyera únicamente el agua por debajo de dicha mampara. El modelo se construyó por duplicado, de tal forma que uno sirvió como testigo (modelo 2) y el otro (modelo 1) para evaluar la incorporación de lixiviados. Con esto se controlaron los cambios en el sistema por efectos naturales. Dicha alimentación se realizó a partir de un tanque reservorio de 200 L de capacidad con un sistema de agitación que funcionó de forma continua. La figura 1 Muestra las características del modelo físico a escala que fue utilizado en el estudio.

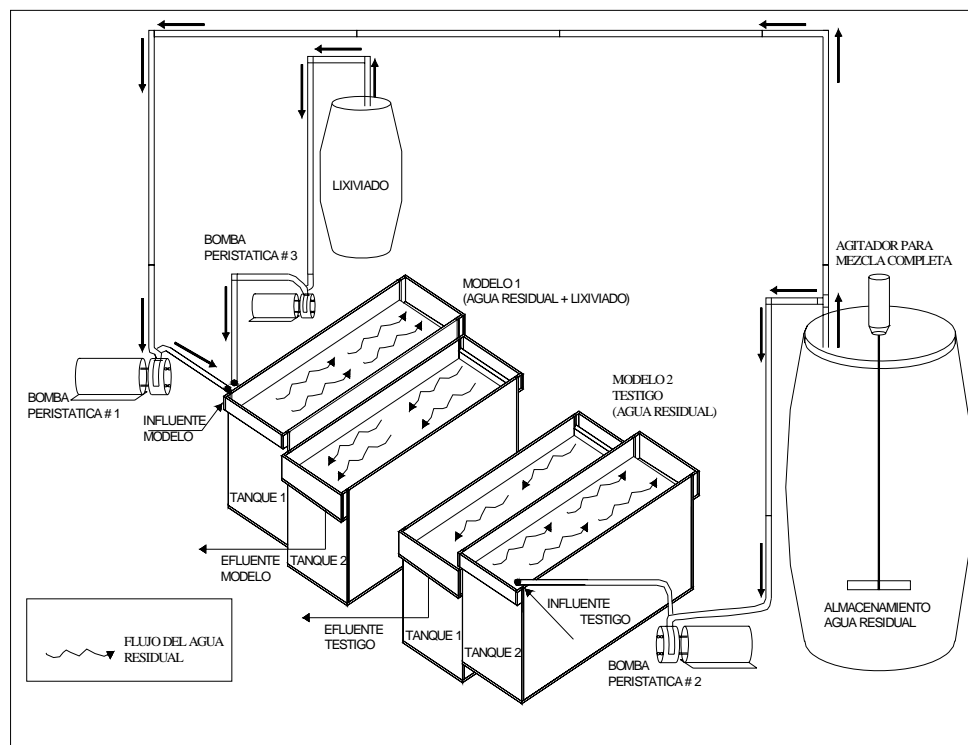


Figura 1. Modelo físico a escala de las lagunas facultativas ubicadas en el Lago de Texcoco.

El modelo fue inoculado con algas y lodo sedimentado que fueron trasladados de las LFR de la planta de Texcoco. De tal forma que para el desarrollo del tratamiento biológico se contó con algas aclimatadas a las condiciones prevalecientes en la zona.

Con el fin de alimentar los modelos con muestras representativas se llevaron a cabo muestreos periódicos (cada 48 horas) de agua residual y 12 muestreos puntuales de lixiviados. La planta modelo experimental compuesta por cuatro tanques se operó con solo agua residual hasta que la

eficiencia de remoción medida como DBO y DQO se mantuvo constante, y se garantizó la estabilización del sistema.

Al inicio de las operaciones del modelo, así como en el desarrollo de la investigación, se evaluó el funcionamiento del sistema considerando las variables más importantes del proceso, como son DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno). Puesto que el sistema lagunar funciona debido a la presencia de algas, se llevo a cabo además de los parámetros de control, estudios específicos para determinar la diversidad y la cantidad de algas en los modelos experimentales a lo largo del estudio.

La estabilización del modelo se consiguió en un tiempo total de 51 días, en el cual se consideró el acondicionamiento microbiológico y el funcionamiento adecuado del sistema en términos de remoción de contaminantes. Se consideró estabilizado el modelo cuando la eficiencia de remoción de DBO₅ y DQO fue constante por periodo de tiempo de 30 días.

A continuación se inició con la dosificación de una mezcla de los lixiviados del Relleno Sanitario de la etapa IV de Bordo Poniente, el cual se incorporó a uno de los modelos M1, el otro modelo M2, siguió operando solo con agua residual como testigo.

Los lixiviados se mezclaron tomando dos partes en volumen de lixiviado estabilizado (viejo) con DBO₅ promedio de 160 mg/L y una parte en volumen de lixiviado joven con DBO₅ promedio de 680 mg/L. Esta mezcla de lixiviados se incorporó progresivamente al modelo (M1), partiendo de un porcentaje de 3.8 en volumen (v/v) lixiviado / agua residual, llegando a probar las condiciones más drásticas hasta un 10% de lixiviado / agua residual.

RESULTADOS

1. Caracterización fisicoquímica de Lixiviados y del influente de las LFR

Los resultados de la caracterización fisicoquímica, de metales y de microorganismos de los lixiviados y del influente de las LFR se muestra en la tabla 1. En dicha tabla se puede observar que en ambas muestras se presentan condiciones de pH ligeramente básico, los resultados de conductividad eléctrica, turbiedad, color, sólidos suspendidos volátiles, nitrógeno amoniacal, DQO y DBO están muy por arriba de lo que se detectó en las muestras de agua de la LFR. Con respecto a los metales sólo el cromo (2.4 mg/L) se encuentra por arriba de los límites establecidos de la Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996 (1.5 mg/L), estas concentraciones se vieron disminuidas favorablemente por efecto del agua residual de la LFR, lo cual no represente ningún riesgo. Con respecto a microorganismos no fueron detectados en los lixiviados.

En la tabla 2 se muestran los resultados de la caracterización de la calidad fisicoquímica, microbiológica y de metales de la mezcla lixiviado- agua residual de la fase I, II y III. Estos resultados, mostraron que se lleva a cabo una importante disminución del contenido de metales en los lixiviados con el agua residual cruda de la laguna al hacer la mezcla, por lo que las concentraciones de estos metales no interfieren en la actividad de la comunidad microbiana presente en el sistema tal como lo muestra cada uno de los resultados de algas, clorofilas y metales pesados.

Las concentraciones promedio de la mezcla mostraron que el As, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr y Cianuro se encuentran por debajo de los límites que establece la NOM ECOL-001, 1996 tanto para uso agrícola como para uso público urbano.

Los resultados indican que no se espera un incremento importante en la concentración de metales que pueda causar daños en el funcionamiento de la LFR, por la eventual incorporación de lixiviados.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y de metales pesados en muestras de lixiviados y agua de la LFR.

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR PROMEDIO (Lixiviados)	VALOR PROMEDIO (Agua LFR)
pH	-	7.9	8.0
Temperatura	°C	14	19
Conductividad Eléctrica	Ms/cm	16.8	2.29
Turbiedad	UNT	233	165
Color	U.C.	888	427
Alcalinidad	mg/L (CaCO ₃)	14.3	8,650
Sólidos Totales Totales	mg/L	15.6	1,530
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	3,000	1,090
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	160	110
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	150	50
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	15,520	91,000
Nitrógeno Amoniacal.	mg/L	887	50
Nitratos	mg/L	112	12
DQO Total	mg O ₂ /L	5,763	307
DQO Soluble	mg O ₂ /L	4,473	172

DBO ₅	mg/L	875	45
METALES			
Cromo	mg/L	2.42	0.01
Arsénico	mg/L	0.07	0.005
Cadmio	mg/L	0.13	0.022
Cobre	mg/L	0.19	0.0175
Mercurio	mg/L	0.08	0.00035
Zinc	mg/L	0.44	0.056
MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes fecales	NMP/100 mL	ND	3.5X 10 ³
Clorofila "a"	mg/m ³	ND	335.77
Clorofila "b"	mg/m ³	ND	58.99
Clorofila "c"	mg/m ³	ND	59.92
Algas	algas/mL	ND	1.486X 10 ⁴

NE = No Efectuados (Fuente: IINGEN)

Tabla 2. Resultados de la caracterización del efluente combinado tratado (mezcla lixiviado- agua residual): fase I, II y III.

PARÁMETROS	UNIDADES	FASE I	FASE II	FASE III
FISICOQUÍMICOS				
pH	-	8.6	8.7	8.6
Conductividad Eléctrica	μmhos/cm	2,546	3,545	4,488
Ortofosfatos	mg/L	34	40	39
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1,269	1,779	2,263
Nitratos	mg/L	6.5	9.2	14.3
DBO ₅ (total)	mg/L	21	24	22
DBO ₅ (Soluble)	mg/L	1.7	NE	NE
METALES				
Cianuro total	mg/L	NE	NE	0.213
Cromo	mg/L	0.105	0.150	0.04

Arsénico	mg/L	0.006	0.007	0.0066
Cadmio	mg/L	0.026	0.027	0.002
Cobre	mg/L	0.105	0.150	0.01
Mercurio	mg/L	0.003	0.004	0.0008
Zinc	mg/L	0.112	0.141	0.05
MICROORGANISMOS				
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1.5×10^2	2.1×10^2	1.2×10^2
Clorofila "a"	mg/m ³	261.57	123.36	33.09
Clorofila "b"	mg/m ³	59.72	101.35	26.78
Clorofila "c"	mg/m ³	31.6	20.68	157.82
Algas	algas/mL	1.50×10^3	NE	NE

NE = No efectuado. Nota: Los resultados de la caracterización del efluente combinado tratado (fase I, II y III) corresponden a muestras puntuales realizadas después de un periodo de estabilización de 8 días para cada fase.

Es importante señalar que las bajas concentraciones que registraron los lixiviados fueron aún disminuidas por dos efectos: por la incorporación al mezclarlos con el agua residual y por la precipitación natural en la laguna de los metales pesados. Estudios recientes han demostrado que parte de los metales están presentes en el sobrenadante, otra se absorbe por el fitoplancton y el resto se precipita hacia los sedimentos, la mayor concentración de metales se encuentra en los sedimentos (Aldana, 1998).

En el caso de microorganismos tales como coliformes fecales, encontramos que en el periodo de estabilización, la densidad bacteriana se midió en el orden de 10^4 NMP/100 mL en el influente y de 10^3 NMP/100 mL en los efluentes, lo que permite asegurar una remoción en la densidad celular, de un logaritmo. Estos valores fueron persistentes a lo largo de este periodo.

Los géneros de algas que fueron identificados en el modelo durante la etapa de estabilización fueron *Microsistis sp.*, *Merismopedia sp.*, *Euglena sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Chlorella* y *Diatomeas*; la identificación coincidió con los géneros encontrados en la laguna facultativa en este estudio. Estos géneros se reportan en la literatura como propios de una laguna de estabilización y concordamos en el aspecto de que el número de géneros de algas encontrados en lagunas de estabilización es limitado. Al respecto, es preciso señalar que en este tipo de ambiente los géneros más frecuentes no están presentes durante todo el año y pueden variar también con la carga orgánica del reactor, dependiendo de la estación del año, clima, altitud y calidad de las aguas residuales.

2. Comportamiento de las comunidades microbianas

El proceso biológico en las lagunas facultativas se realiza principalmente por dos tipos de organismos: algas y bacterias. Las algas asimilan nutrientes y bióxido de carbono y liberan oxígeno. Las bacterias consumen oxígeno, materia orgánica, biomasa y liberan bióxido de carbono. La presencia de algas es imprescindible para el desarrollo del proceso aerobio.

Los géneros de algas que fueron identificados en la laguna facultativa en estudio, fueron *Microsistis sp.*, *Merismopedia sp.*, *Euglena sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Chlorella* y *Diatomeas*. *Anacystis sp* fue la especie dominante, la cual formó colonias de microorganismos rodeados de una sustancia mucosa, los gases atrapados en los agregados hicieron que flotara hacia la superficie. En el periodo de lluvias este problema se corrigió de manera natural.

En promedio las concentraciones de algas fluctuaron de 1.5×10^3 a 1.8×10^4 algas/mL, el número de algas y clorofilas bajó al inicio de la adición de lixiviados pero al final de la prueba regresaba a concentraciones muy cercanas a la inicial.

Durante todo el periodo de experimentación y en todas las pruebas se encontraron concentraciones elevadas de clorofila **a** la cual esta presente en todas las clases de algas y plantas verdes, seguida de la clorofila **b** que se presenta sólo en los grupos de Chlorophyceae y Euglenophyceae. Y la clorofila **c** que es específica de los grupos Bacillariohyceae, Coscinodiscophyceae y Fragilariophyceae (ver figuras 2, 3 y 4). La presencia o ausencia de los distintos pigmentos fotosintéticos, sirvió para separar los principales grupos de algas.

La clorofila “a” se considera un buen indicador químico de la biomasa fitoplanctónica. Ayuda a determinar el estado trófico de las aguas superficiales, determina la calidad del agua, y permite detectar efectos adversos de los contaminantes sobre el plancton. No obstante, a su variabilidad es uno de los parámetros que con más frecuencia se miden en los estudios de producción (Cullen, 1982, Darley, 1987, Espinosa, 1989 y Garzón, 1990).

Las concentraciones de clorofila “a” (figura 2) fluctuaron en el efluente de 59.33 a 182.26 mg/m^3 cuando se agregó 3.8 % de lixiviado y de 53.30 a 212.24 mg/m^3 cuando se manejó 5.6 %. Finalmente en la última prueba (10 % de lixiviado) se observó una fluctuación de 57.12 a 212.8 mg/m^3 . Con respecto al testigo se detectaron concentraciones ligeramente mayores de clorofila “a”.

En el caso de la clorofila “b” figura 3 se puede ver que entre el modelo 1 (agua más lixiviado) y el control (modelo 2) no hubo diferencias significativas ya que al agregarle el lixiviado la concentración de clorofila b se mantuvo muy cercana al control.

De las algas identificadas el género *Scenedesmus* *Microsistis*, *Merismopedia*, *Euglena* y *Chlorella* se encontraron en forma persistente. Dichas algas tienen una influencia importante en el proceso de depuración de las LFR, la mayor parte del oxígeno de las lagunas es generado por

su actividad fotosintética, absorben nutrientes solubles provenientes de la alimentación, o descomposición bacteriana de la materia orgánica.

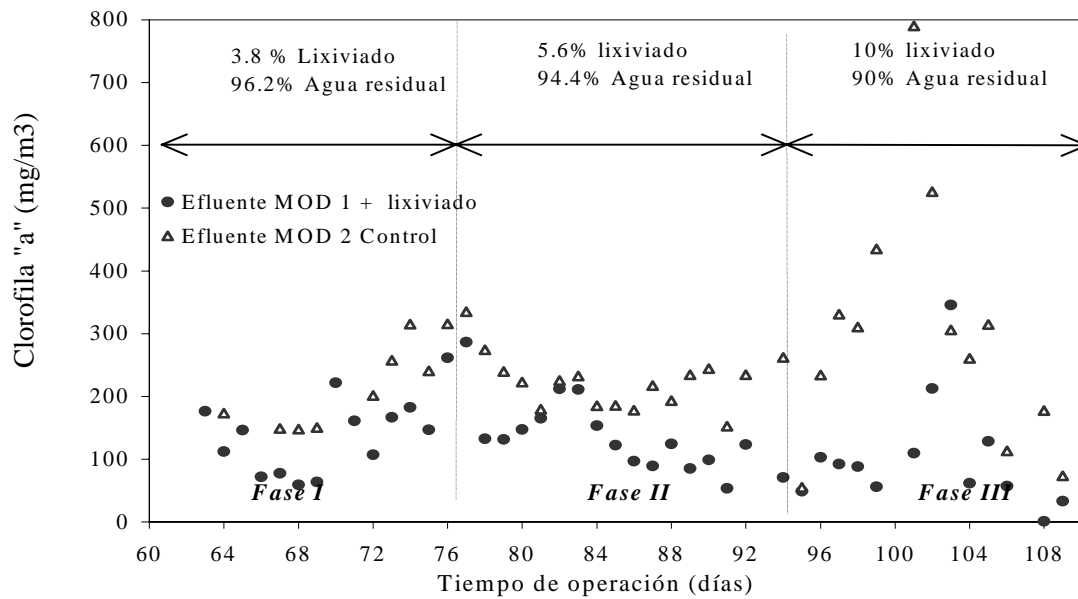


Figura 2. Concentraciones de clorofila "a" con dosis de lixiviados de 3.8, 5.6 y 10 %.

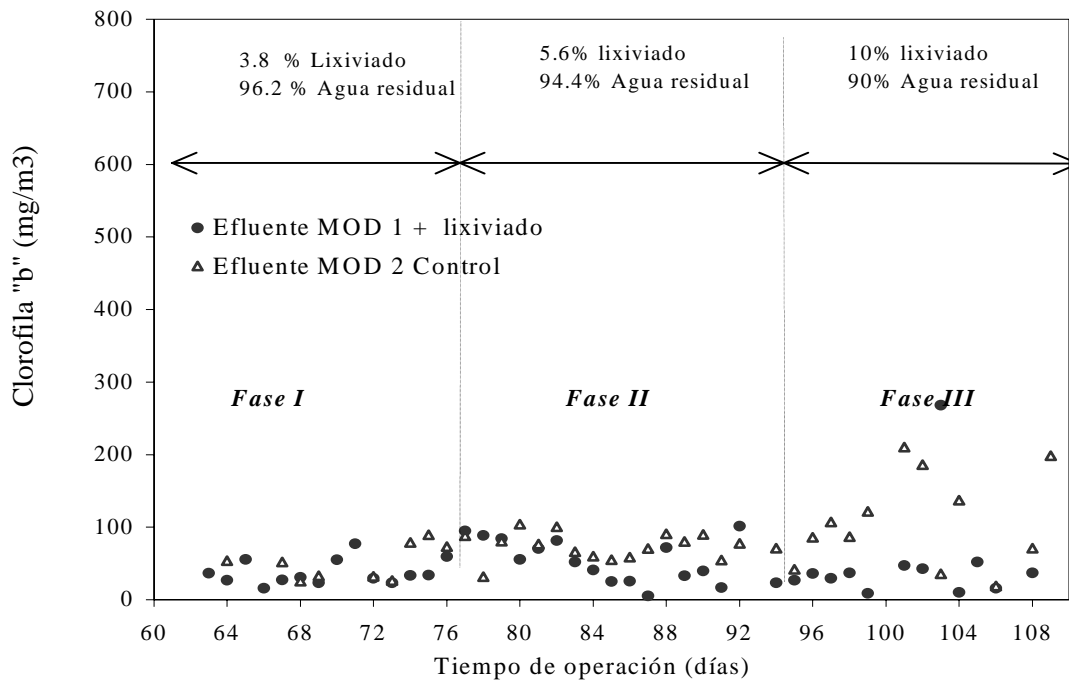


Figura 3. Concentraciones de clorofila "b" con dosis de lixiviados de 3.8, 5.6 y 10 %

También se observaron diatomeas las cuales son indicadoras de una fase avanzada de tratamiento. La alga verde móvil como *Euglena*, suele ser dominante cuando la penetración de la luz en la columna es limitada. En los resultados de esta investigación dicho género solo formó parte de la población mixta sin llegar a ser dominante.

El comportamiento de la clorofila "c" figura 4 fue muy similar al comportamiento de la clorofila "b", en los casos donde se aplicó 3.8 y 5.6 % de lixiviados. Sin embargo cuando se agregó el 10% del lixiviado, el modelo control presentó concentraciones de clorofilas "c" ligeramente mayores al igual que la clorofila "a".

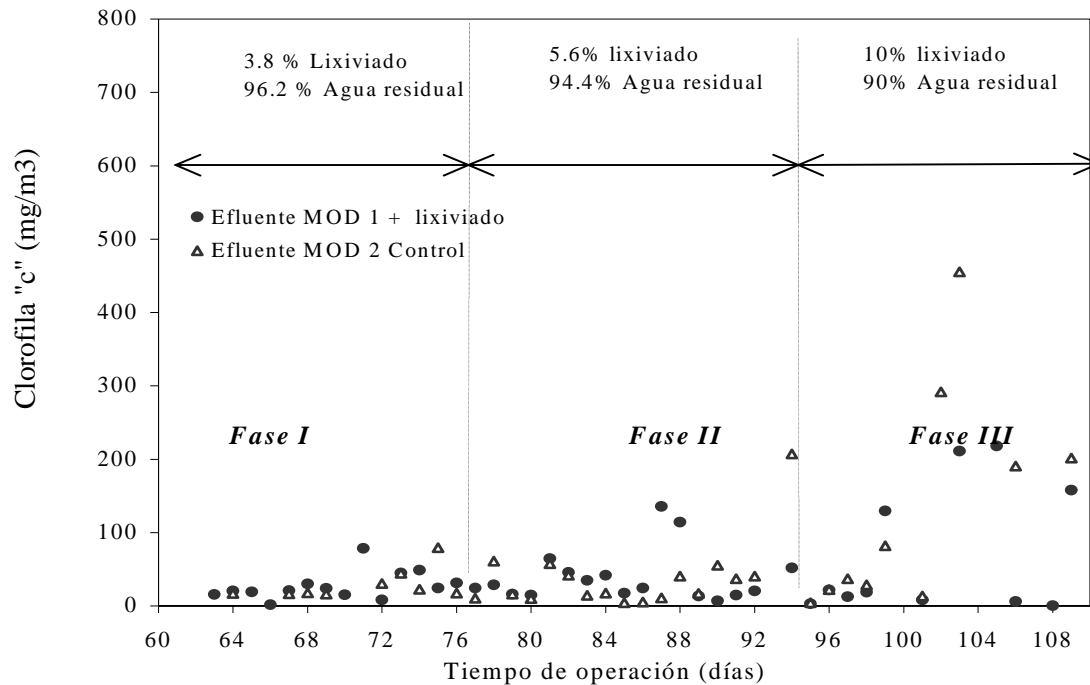


Figura 4. Concentraciones de clorofila "c" con dosis de lixiviados de 3.8, 5.6 y 10 %

3. Comportamiento de coliformes fecales

Los niveles de coliformes fecales (figura 5) en el efluente de los modelos (1 y 2) se registraron en orden de 10^2 NMP/100 mL en las tres fases experimentales. La densidad celular de los coliformes fecales está por debajo de los estándares de agua tratada para irrigación (1000 NMP/100 mL según la NOM-001-ECOL-1996), incluso en algunos casos se encuentran por debajo del valor de la norma de EEUU que establece 200 NMP/100 mL. Se toman estos estándares debido a que son los más estrictos en cuanto reúso del agua residual.

Entre el modelo 1 con lixiviado y el testigo (modelo 2) se observó un comportamiento similar. No se presentaron coliformes fecales en los lixiviados por tanto no se corrió ningún riesgo por la adición de este último.

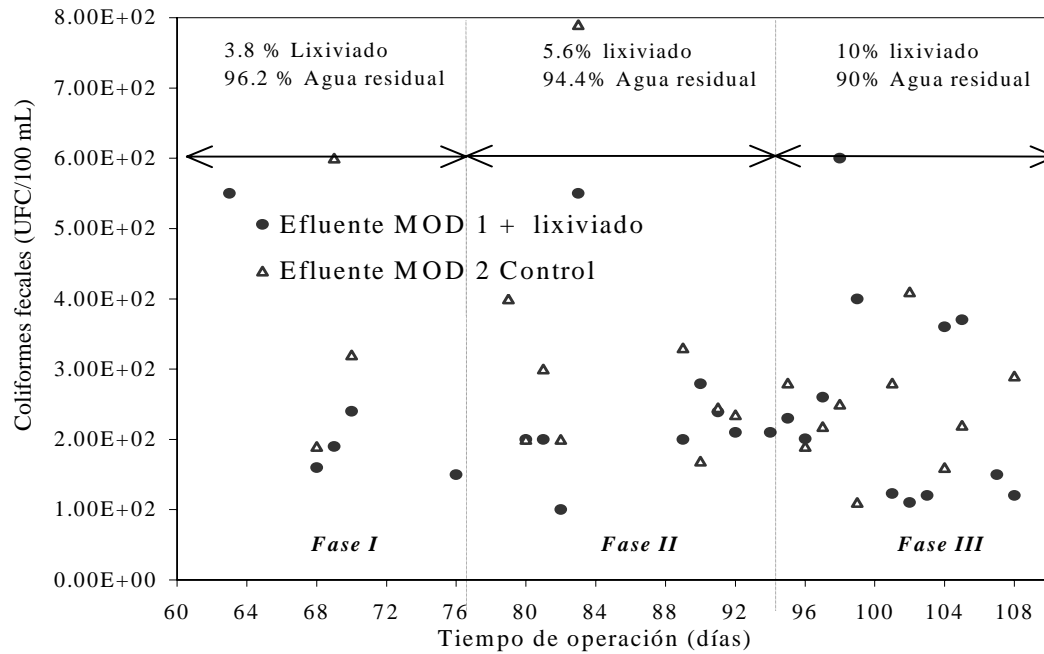


Figura 5. Concentración de coliformes fecales con dosis de lixiviados de 3.8, 5.6 y 10 %

4. Comportamiento del oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es otro parámetro que indica la calidad del agua, no se observaron diferencias a la incorporación del lixiviado (figura 6) en ninguna de las fases experimentales (3.6, 5.6 y 10 %).

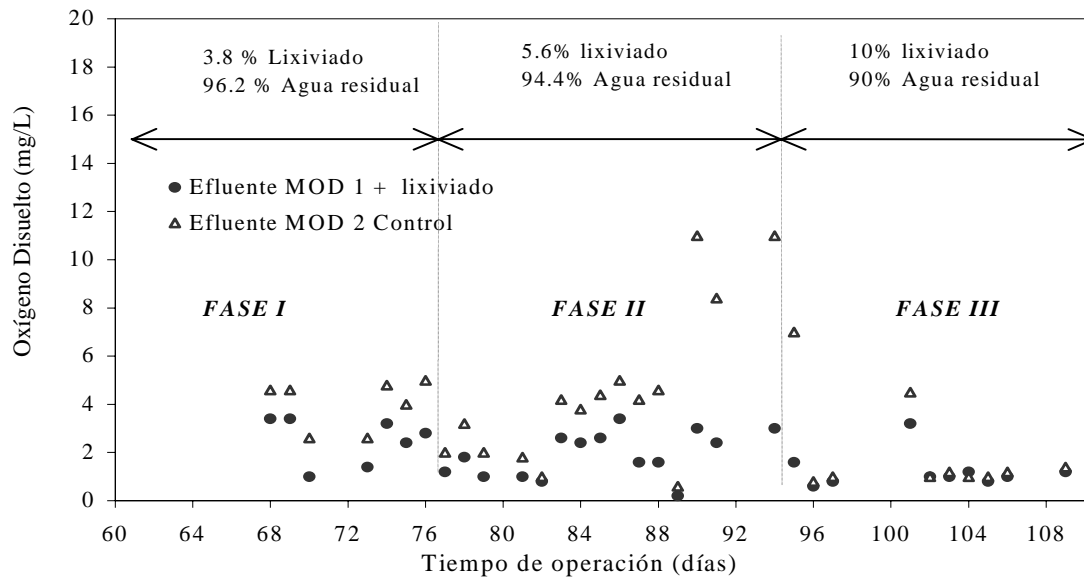


Figura 6. Resultados de Oxígeno Disuelto con dosis de lixiviados de 3.8, 5.6 y 10 %

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) se mantuvieron por arriba de los 2.0 mg OD/L en el modelo experimental, lo cual aseguró las condiciones apropiadas para el metabolismo de los microorganismos aerobios y facultativos.

5. Comportamiento de los metales

Según la literatura gran parte de las microalgas poseen una compleja estructura química constituida por polisacáridos y sales, estos elementos se hallan estabilizados en la superficie de las algas, por lo que no favorecen el intercambio iónico con los metales (Aldana, 1998).

Algunas investigaciones demuestran que algunos metales como el Zn^{+2} favorece el desarrollo algal y que el Cr^{+6} puede disminuir el crecimiento de las algas y otros microorganismos, no obstante no se han determinado la concentración exacta en la que se puede inhibir el crecimiento (Velázquez, 1997). La presencia de metales pesados en la laguna facultativa presentan concentraciones considerablemente bajas en todos los casos, por lo es predecible que no haya influencia sobre el desarrollo de las algas.

Por lo que respecta a los lixiviados, las concentraciones de metales registradas, podrían dañar el desarrollo algal. No obstante, la adición de lixiviados en las condiciones más críticas va a ser 10 veces menor tomando en cuenta el porcentaje de dilución, por lo tanto la concentración real que se va a aplicar no afectará a los microorganismos.

6. Comportamiento del pH

Para un mejor desarrollo de las bacterias y algas presentes en el modelo, el pH debe ser ligeramente alcalino, puesto que un pH ácido, inhibiría el crecimiento de bacterias. El pH durante el desarrollo del proyecto se presentó muy estable (figura 7), con una tendencia alcalina con valores entre 8.1 y 9.3, y un promedio de 8.7 tanto los efluentes como los influentes.

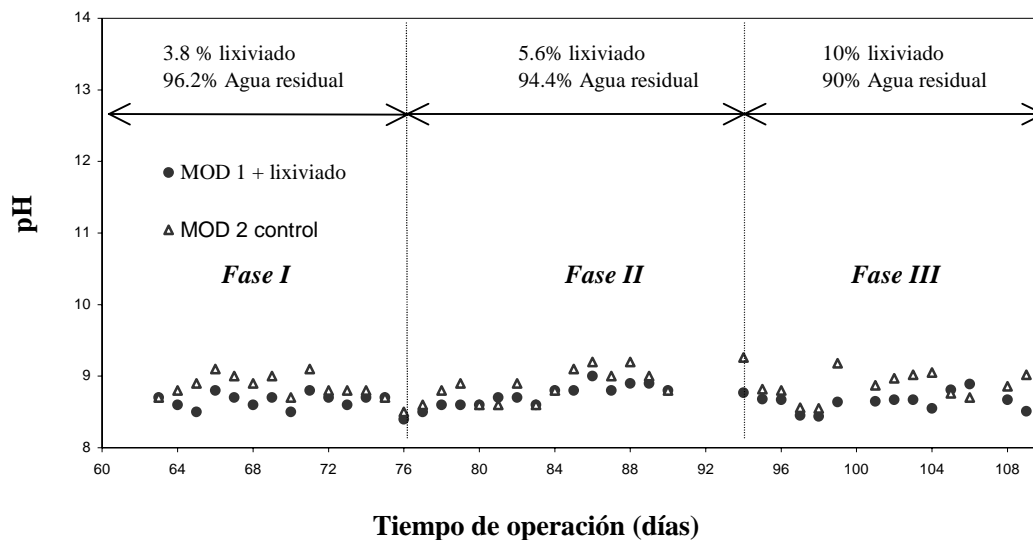


Figura 7. Comportamiento del pH durante la aplicación de lixiviado.

CONCLUSIONES

En esta investigación en todos los tratamientos se encontraron concentraciones constantes de clorofila a, b y c lo que indica que la incorporación de la concentración de lixiviados no afectó la presencia de los microorganismos responsables del tratamiento en las lagunas facultativas del Lago de Texcoco.

Los niveles finales de coliformes fecales en el efluente de agua residual tratada más lixiviado, se encontraron en todos los casos del orden de 10^2 NMP/100 mL. Por lo que están por debajo de los estándares más estrictos fijados para el uso de agua tratada en irrigación (1000 NMP/100 mL).

Los valores de oxígeno disuelto en la zona aerobia de los modelos se mantuvieron entre 1 y 2 mg/L, lo que aseguró las condiciones apropiadas para el metabolismo de los microorganismos. Otros parámetros como el pH, los ortofosfatos, la conductividad, los SDT, experimentaron cambios poco significativos.

Los géneros de algas que se identificaron en el modelo durante la etapa de estabilización fueron: *Microsistis sp.*, *Merismopedia sp.*, *Euglena sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Chlorella* y *Diatomeas*.

En promedio las concentraciones de algas fluctuaron de 1.5×10^3 a 1.8×10^4 algas/mL, el número de algas y clorofilas disminuyó al inicio de la adición de lixiviados pero al final de la prueba se registraron concentraciones muy cercanas a las obtenidas en el inicio de las pruebas. Esto quiere decir que si bien la población algal respondía a la adición de lixiviado, las condiciones climáticas y fisicoquímicas en que operaba el sistema permitieron el restablecimiento de estos organismos.

La presencia de metales pesados en el efluente de la planta de tratamiento están por debajo de lo estipulado en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 y éstos no producen efectos inhibitorios en la eficiencia de la planta. Por otra parte no se producen malos olores y se cumple con la restricción de la norma en cuanto a la aplicación en uso urbano y en riego agrícola.

Finalmente se concluye de este estudio que la incorporación al sistema de LFR, puede ser utilizada como una alternativa de disposición y/o tratamiento los lixiviados de la cuarta etapa del relleno sanitario Bordo Poniente. Así mismo queda de manifiesto la factibilidad del uso de instalaciones existentes para tratamiento de aguas residuales en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

Los resultados anteriores avalan que el tratamiento existente de agua residual por medio de lagunas facultativas ubicado en el Lago de Texcoco es viable para la incorporación de lixiviados provenientes de la etapa IV de Bordo Poniente. Al incorporarse el 10% en gasto de lixiviados se aumenta la DBO_5 del influente a 90 mg/L y se obtiene una remoción del 71% registrándose una concentración de DBO_5 a la salida de 26 mg/L.

La relación de gasto incorporado al tratamiento del 10 % significa que la planta soporta sin ninguna alteración la incorporación de 25 L/s de lixiviado. Las condiciones más drásticas probadas avalan que el lixiviado puede ser una mezcla de 2 partes de volumen de lixiviado de las celdas más antiguas, más una parte de volumen de lixiviado joven de las celdas recientes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero que otorgo la Dirección General de Servicios Urbanos (GDF) para la realización de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Aldana, J. G., Aiello, C., Morán, M. and Jérez, O. (1998). Dynamics variables phenomenon in the removal efficiency of heavy metals in facultative pond. Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia. Vol. 21, No. 1 pp 10-19.

Cullen, J. (1982). The deep chlorophyll maximum: Comparing vertical profiles of chlorophyll a. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39:791-803.

Darley, M. (1987). Biología de las algas. Enfoque fisiológico. Ed. Limusa. México. pp.236.

Espinosa, C. T. L. (1989). Biomasa fitoplanctónica y afloramiento del Caribe Mexicano y la porción oriental del banco de Campeche.

Garzón, Z.M. (1990). Caracterización saprotrofica de los lagos Cráter de la región de los Llanos Puebla. Tesis profesional. ENEP-Iztacala, UNAM. México, D.F. 90 pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, 6 de enero de 1997.

Qasim R. Syed, Chiang Walter. (1994). Sanitary Landfill Leachates: Generation, Control and Treatment. Printed in the United States of America. Technomic Publishing Company, Inc.

Orta de Velásquez M.T., González Martínez S., Monje Ramírez I., Valdivia Soto C.A. (1999). Estudio de tratabilidad de lixiviados en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales Santa Fe. Realizado para la Dirección General de Servicios Urbanos del D.D.F.

Orta de Velásquez M. T, Monje Ramírez I, Yañez N. I. Rojas V. N. Landfill Leachate Treatment in a Municipal Wastewaters Stabilization Lagoon Plant. IWA 4th World Water Congress. 19*24 Septiembre 2004. Marrakech, Morocco 6 pp.

Velázquez, M. A. (1997). Relación entre la concentración de clorofila (a, b y c) y metales pesados (Cr, Zn, Pb) en la fitoflora del Alto Lerma, Estado de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 1-93 pp.