

Evaluation of the units that conform the wastewater treatment plant south Maracaibo

Carmen Cárdenas¹, Cristina Jaeger¹, Héctor Villasmil¹, Tomás Perruolo¹, Suher Yabroudi¹, Franklin López², Lenin Herrera¹ y Olga Castejón²

¹Centro de Investigación del Agua. Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. ²Instituto para la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM)

Abstract

The objective of this study was to evaluate a waste water treatment plant, in stationary state, located in a region with tropical climate. This plant is based on stabilization ponds distributed as follows: two anaerobic units in parallel, a facultative pond, two maturation ponds in series and a pond used as the effluent storage. To do this, a series of 30 samplings were made during 9 weeks of influent and effluent of the plant in order to evaluate the treatment efficiency of the system. Values of pH, DO, and temperature were measured in situ, and BOD, COD, P-total, NTK, Ammonia-N, TSS, VSS, Nitrites and Nitrates, TC and FC were measured in the laboratory. These analyses were made following standardized methods. The removal values were found: BOD (77%), COD (37%), P-total (29%), NTK (56%), N-amoniacal (86%), TSS (87%), VSS (84%), TC (six logarithmic units) and FC (five logarithmic units). The generation of nitrates and nitrites was not relevant. According to effective Venezuelan environmental regulations, the plant effluent can be used with agricultural purposes and/or to be discharged into a water body, such as in this case, Maracaibo's Lake.

Key words: Stabilization ponds, domestic waste water treatment, anaerobic ponds.

Evaluación de las unidades que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales Maracaibo Sur

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar una planta de tratamiento de aguas residuales, en estado estacionario, ubicada en una región de clima tropical. Dicha planta consta de una serie de lagunas de estabilización distribuidas como sigue: dos módulos anaerobios en paralelo, una laguna facultativa, dos lagunas de maduración en serie y una laguna utilizada como depósito del efluente. Para ello se realizaron una serie de 30 muestreos durante 9 semanas a la entrada y salida de la planta, para así evaluar la eficiencia de tratamiento del sistema. Se midieron valores in situ de pH, OD y Temperatura; y en el laboratorio los de DBO, DQO, P-total, NTK, N-amoniacal, SST, SSV, Nitritos y Nitratos, CT y CF. Los análisis se realizaron siguiendo métodos estandarizados. Se obtuvieron los siguientes valores de remoción: DBO (77%), DQO (37%), P-total (29%), NTK (56%), N-amoniacal (86%), SST (87%) SSV (84%), CT (6 unidades logarítmicas) y CF (5 unidades logarítmicas). La generación de Nitritos y Nitratos obtenida no fue relevante. Según la normativa ambiental venezolana vigente (Decreto 883), el efluente de la planta es apto para ser usado con fines agrícolas y/o para ser descargado a un cuerpo de agua, en este caso, el lago de Maracaibo.

Palabras clave: Lagunas de estabilización, tratamiento de aguas residuales domésticas, lagunas anaerobias.

Introducción

La contaminación ambiental es un problema que se ha venido agravando con el tiempo y que debe ser atendido de manera eficaz. El tratamiento de las aguas residuales, es decir, aquellas cuyas características han sido modificadas por diversos usos, es una manera de controlar la contaminación de los cuerpos de agua donde éstas son descargadas, con la finalidad de remover de éstas la mayor cantidad de residuos que pueden causar contaminación; así como también eliminar los microorganismos que pueden causar problemas de salud pública y producir un agua que pueda ser dispuesta o reutilizada según la normativa ambiental vigente. Un método para el tratamiento de las aguas residuales, sencillo, eficiente y que permite manejar grandes volúmenes de agua es el de las lagunas de estabilización. Éstas son capaces de producir un efluente satisfactorio a bajo costo operacional pero que requiere de grandes extensiones de tierra.

Las lagunas de estabilización son grandes estanques de retención o detención, generalmente con diques de tierra usados para contener las aguas residuales mientras se produce la sedimentación y la degradación biológica [1]. Las lagunas de estabilización se suelen clasificar según la naturaleza del proceso biológico que en ellas se lleva a cabo en lagunas anaerobias, lagunas facultativas y lagunas de maduración.

Las lagunas anaerobias son estanques de más de dos metros de profundidad, sin oxígeno disuelto, produciéndose una digestión de la materia orgánica a cargo de las bacterias anaerobias (en ausencia de oxígeno) [1, 2]. En estas lagunas, gran parte de la materia que entra sedimenta formándose una capa de lodo en el fondo. La materia orgánica depositada en la parte inferior de las lagunas pasa por las siguientes fases: licuefacción, donde las bacterias facultativas, formadoras de ácidos, convierten carbohidratos, proteínas y gases en ácidos grasos, por hidrólisis (esto cambia la forma de la materia orgánica, sin que se presente reducción del $DBO_{5,20}$). El material obtenido por la licuefacción a través de la difusión sube hacia las capas superiores, a no ser que haya condiciones favorables para la gasificación. Luego, la fase de gasificación, donde las bacterias estrictamente anaerobias (formadoras

de metano) convierten el carbono orgánico (C) en gas carbónico (CO_2) más metano (CH_4). De esta forma, se reduce la $DBO_{5,20}$ [2].

Las lagunas facultativas se diseñan con una profundidad que varía entre 1,5 y 2 m. En éstas se distinguen dos secciones: una superior aerobia, donde ocurre una degradación de la materia orgánica en presencia de oxígeno, y una inferior anaerobia, donde se dan los procesos biológicos anaeróbicos, de modo tal que ambos procesos se dan simultáneamente. En la parte superior de este tipo de laguna existe una simbiosis entre algas y bacterias donde estas últimas degradan la materia orgánica utilizando el oxígeno producido por las algas para sintetizar su alimento y reproducirse. Los compuestos formados por la síntesis bacteriana son utilizados por las algas como nutrientes [1, 3]. En la parte inferior los procesos involucrados son similares a los ocurridos en las lagunas anaerobias

Las lagunas de maduración son aquellas en donde las condiciones aerobias se presentan en toda su extensión. Su profundidad varía entre 0,5 y 1,5 m. Este tipo de laguna fue concebida originalmente para reducir la población bacteriana; sin embargo, también son utilizadas para adecuar el efluente a un fin dado [1, 3].

Los principales mecanismos para la remoción de bacterias son: tiempo de residencia alto, depredación entre bacterias, altos valores de pH (>9) y alta intensidad de penetración de luz (efecto de la radiación ultravioleta). Durante el proceso, se lleva a cabo la respiración endógena de los sólidos biológicos residuales y la conversión del amoníaco en nitrato mediante el oxígeno suministrado por reaireación superficial y por la presencia de algas [2, 3, 4].

Resulta importante estudiar el funcionamiento y características de estos sistemas de tratamiento en climas tropicales; varios investigadores han realizado estudios sobre sistemas de lagunas de estabilización en zonas de clima tropical, algunos de estos trabajos se presentan en la Tabla 1, por lo que resulta importante evaluar estos sistemas bajo las características de las aguas residuales de la región zuliana, donde las condiciones climáticas de la zona determinan la presencia de vegetación natural (cují, tuna, pasto buffer) caracterizándose por un clima semiárido con una precipitación anual de 676 mm y una

Tabla 1
Eficiencia de remoción de DBO y DQO para varios sistemas de tratamiento basados en lagunas de estabilización

Sistema	Tiempo de retención (días)	Temperatura (°C)	Remoción DQO	Remoción DBO _{5,20}	Fuente
Laguna Anaeróbica	1 - 5	-	-	(50 - 70%)	Mara, 1976
Laguna Anaeróbica (Alsamra-Amman)	5	12 - 28	-	(40 - 70%)	Saggar y Pescod, 1994
Laguna Anaerobia (Brasil)	2 - 6.8	23,6 - 26,3	-	(68 - 83%)	Silva, 1982
2 Anaeróbicas en Paralelo + Facultativa + Maduración (Tarija-Bolivia)	44	-	-	74%	Rojas C.J, 1995
Anaeróbica + Facultativa + 2 Maduración (Brasil)	4.9	28 - 40	62%	63%	Melo y Araujo, 1995
Anaeróbica + Facultativa + 3 Maduración (Brasil)	-	-	69%	88%	Silva y Colaboradores, 1987
1 Facultativa + 2 Maduración (Centro de Investigación del Agua; Maracaibo-Venezuela)	20	29 - 32	84%	90%	Trujillo y Colaboradores, 1995

temperatura promedio de 29°C; la evaporación llega a valores de 5 a 10 mm/día y la velocidad media del viento es de 12,5 Km/h con dirección noreste, situación que incide de manera positiva en la mezcla del agua en las lagunas [5]; es por ello que este trabajo se basó en la evaluación de un sistema de lagunas de estabilización, que trata las aguas residuales domésticas de la zona sur de la ciudad de Maracaibo.

Descripción del Sistema

Esta planta de tratamiento de aguas residuales fue diseñada para tratar un caudal máximo de 3.400 l/s, sin embargo durante la realización del presente estudio se encontraba operando con un caudal de 400 l/s; valor proporcionado por la Gerencia de Ingeniería Ambiental del Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM). La planta se encuentra distribuida de la siguiente manera: dos módulos anaerobios que trabajan en paralelo; seguidos de una laguna facultativa; continuando con dos lagunas de maduración en serie; y por último una laguna utilizada como depósito del efluente [6]. Las características

generales del sistema se pueden apreciar en la Tabla 2.

Procedimiento Experimental

La evaluación se realizó entre los meses de Julio-Septiembre (9 semanas), donde se efectuaron 30 muestreos. Fueron tomadas muestras a la entrada y salida de la planta y de cada unidad, para realizar los análisis correspondientes a la determinación de los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20}), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total (P-Total), nitrógeno Kjeldahl (NTK), nitrógeno amoniacal (N-Amoniacal), nitritos (NO₂⁻), nitratos (NO₃⁻), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), bacterias coliformes totales y fecales (CT y CF). Cada uno de los análisis se realizaron siguiendo la metodología establecida por el Standard Methods de la APHA [7]. También se hicieron mediciones de campo donde se registraron valores de pH, temperatura y oxígeno disuelto (OD). Se definieron los siguientes puntos de muestreo:

Tabla 2
Características Generales del Sistema de Tratamiento de aguas Residuales Maracaibo Sur

Características	Modulos Anaerobios	Laguna Facultativa	Laguna de Maduración	Depósito del Efluente
Número	2	1	2	1
Volumen (m ³)	76.400	404.000	224.000	440.000
Área (m ²)	12.733	202.000	112.000	258.824
Profundidad (m)	6	2	2	1,7
Relación Largo/Ancho	6	1,2	2,8	0,75
Dispositivos de Entrada y Salida	Canales	Canales	Canales	Canales
Tiempos de Retención Teóricos (días)	0,44	2,33	1,28	2,54
Tiempos de Retención para el caudal evaluado (400 L/s) - (días)	2,21	11,7	6,5	12,7

- Punto 1: Alimentación a la planta
- Punto 2A: Canal de salida del módulo anaeróbico I
- Punto 2B: Canal de salida del módulo anaeróbico II
- Punto 3: Canal de entrada a la laguna facultativa
- Punto 4: Canal de salida de la laguna facultativa
- Punto 5: Canal de salida de la laguna de maduración I
- Punto 6: Canal de salida de la laguna de maduración II
- Punto 7: Canal de salida de la planta

Es importante aclarar que las muestras tomadas en los diferentes puntos fueron muestras simples a excepción de los puntos 2A y 2B, donde se trabajo con muestras compuestas; es decir, fue el resultado de una mezcla de agua tomada en cada uno de los 4 canales de salida de cada módulo anaerobio. En la Figura 1, se indican los puntos de muestreo.

Resultados y Discusión

Como se aprecia en la Figura 2, la temperatura promedio del agua a la entrada de la planta es de 34,4°C como consecuencia de la incorpora-

ción agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial y/o por el efecto de la radiación solar que transfiere calor a las tuberías que transportan las aguas residuales [8]. Esta temperatura decae, a lo largo del tratamiento hasta alcanzar una temperatura de 31°C, apta para descargar a los cuerpos de agua de la región, en este caso el Lago de Maracaibo, que tiene una temperatura promedio de 28°C.

En las aguas residuales crudas el oxígeno disuelto es cero como se puede apreciar en la Figura 3, sin embargo, a medida que transcurre la transformación de la materia orgánica de esta agua, la concentración de este parámetro aumenta hasta niveles de 7,2 mg/L en la laguna de maduración II (punto 5), donde tiene un máximo. Este aumento se debe a la acción fotosintética de las algas que se forman en el proceso desde la laguna facultativa. Luego, la concentración de OD comienza a descender debido a la disminución y muerte de las algas.

A lo largo del sistema de tratamiento los valores de pH oscilan entre 6,5 y 9,5 (Figura 4), siendo óptimos para la actividad microbiana que se efectúa en las lagunas de estabilización. En el caso de los módulos anaerobios, los valores de pH reportados (entre 6,5-7,5) se adaptan a los presentados en otras investigaciones efectuadas en países de clima tropical y se debe al dominio

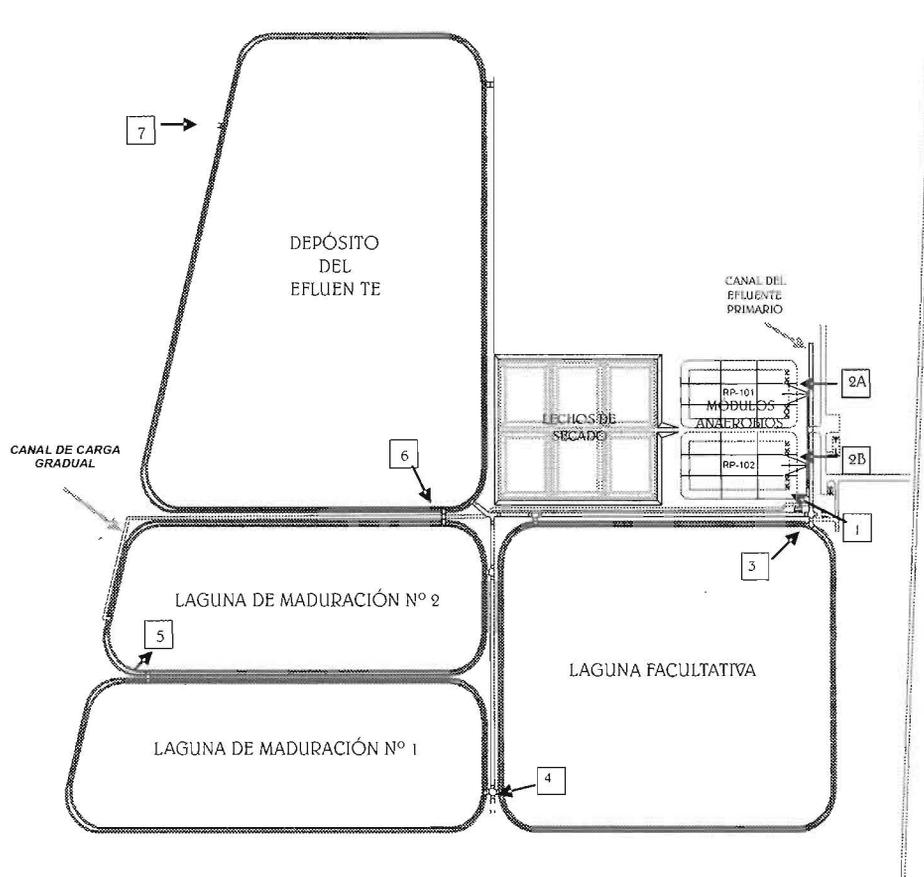


Figura 1. Sistema de tratamiento Maracaibo Sur.

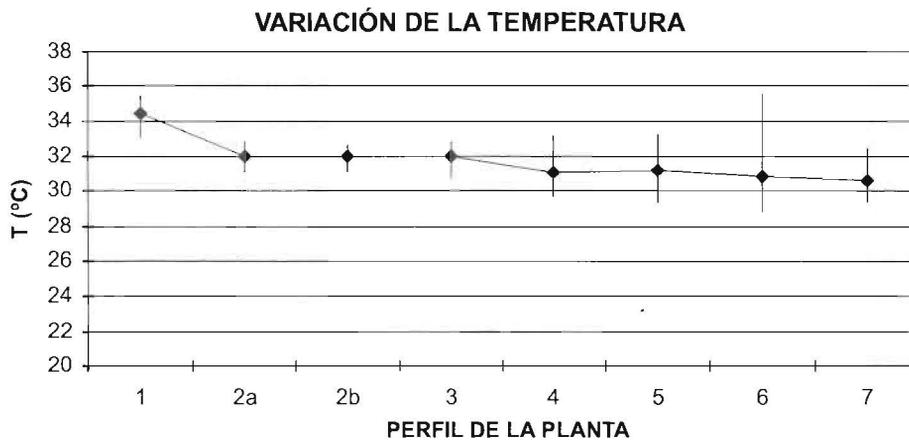


Figura 2. Variación de la temperatura a través del proceso.

de la fase metanogénica sobre la fase ácida de formación de ácidos volátiles [2].

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los valores promedios de los parámetros determi-

nados a la entrada y salida de las diferentes unidades de la planta de tratamiento.

La $DBO_{5,20}$ removida por este sistema es bastante apreciable (77%), lo cual es comparable con

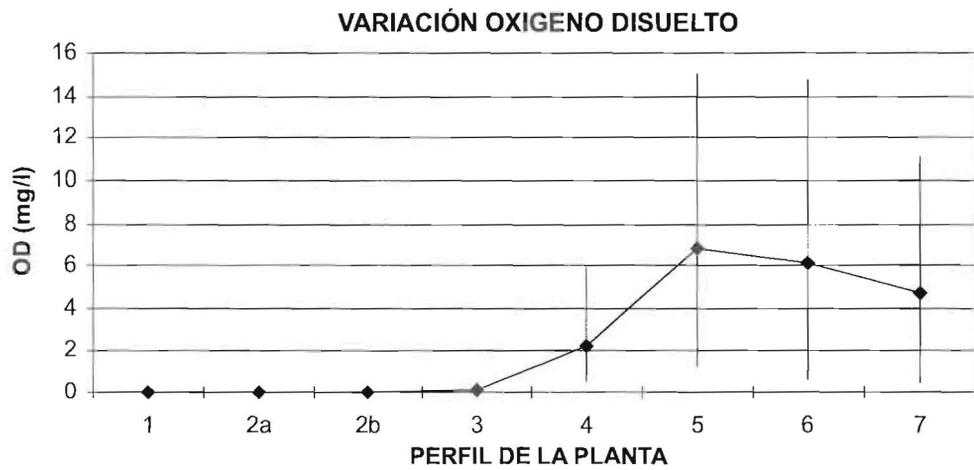


Figura 3. Variación de la OD a través del proceso.

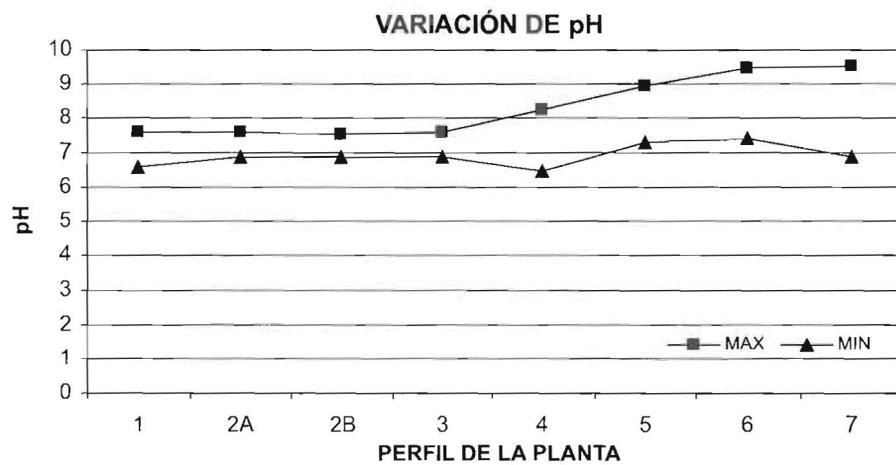


Figura 4. Variación del pH a través del proceso.

resultados obtenidos en otros estudios donde el sistema de tratamiento es similar al evaluado en el reciente estudio. Entre ellos podemos citar a Rojas C. (1995) quien obtuvo valores de remoción de la $DBO_{5,20}$ de 74% en un sistema de dos lagunas anaerobias en paralelo seguidas de una laguna facultativa y una de maduración, con un tiempo de retención alto (44 días). Otro sistema que logra una remoción alta de la $DBO_{5,20}$ (88%) es el sistema estudiado por Silva *et al* (1987) donde tal sistema consta de una laguna anaerobia, una facultativa seguida por tres de maduración. Por otro lado, en el estudio de Berti y Ramírez (2001) realizado a la planta aquí estudiada, pero en fase de arranque, se logra una remoción de 75%. Como se puede apreciar en la Figura 5, la mayor remoción de $DBO_{5,20}$ ocurre como era de esperarse en las uni-

dades anaerobias del sistema, pues según Silva (1982) estas unidades remueven entre 68 y 83% de $DBO_{5,20}$. Sin embargo, la remoción no fue mayor debido a que en las últimas unidades del sistema (a partir del punto 4) existe una producción de algas que es cuantificada como DBO en las determinaciones realizadas a la salida de la planta [9, 10, 11, 12].

La remoción de la DQO en el sistema alcanza un valor de 37%, lo cual es aceptable si se consideran los valores obtenidos en el mismo sistema (26%) por Berti y Ramírez en la fase de arranque, lo que indica una mejora en el funcionamiento de la planta. Sin embargo, la remoción obtenida es bastante baja comparada con la remoción de 69% reportada por Silva *et al* (1987). Al igual que en la remoción de la DBO, la DQO es re-

Tabla 3
Características físico-químicas y bacteriológicas del sistema de tratamiento

Parámetro	Puntos de Muestra							
	1	2A	2B	3	4	5	6	7
DBO _{5,20}	202	61	67	64	24	32	37	47
DQO	390	140	135	150	126	163	185	245
DBO/DQO	0,54	0,43	0,49	0,45	0,21	0,21	0,23	0,2
NTK	36	35	35	36	26	19	13	16
N. Amoniacal	28	33	33	33	22	11	3	4
Nitritos (N-NO ₂)	0	0	0	0	0	$1,5 \times 10^{-1}$	$6,5 \times 10^{-1}$	$3,8 \times 10^{-1}$
Nitratos (N-NO ₃)	0	0	0	0	0	2×10^{-1}	$7,1 \times 10^{-1}$	$4,8 \times 10^{-1}$
P-total	7	6,3	6,4	6,4	6,2	6,2	4,5	5
SST	339	136	138	137	81	66	68	45
SSV	297	111	112	111	79	64	67	44
CT	9×10^8	1×10^7	1×10^7	1×10^7	8×10^4	$1,9 \times 10^2$	$4,7 \times 10^2$	$5,9 \times 10^2$
CF	2×10^7	6×10^5	5×10^5	6×10^5	7×10^3	$8,7 \times 10^1$	9×10^1	$7,0 \times 10^1$

Todos los valores son expresados en mg/L a excepción de coliformes totales y fecales (CT y CF) que son expresados en NMP/100mL.

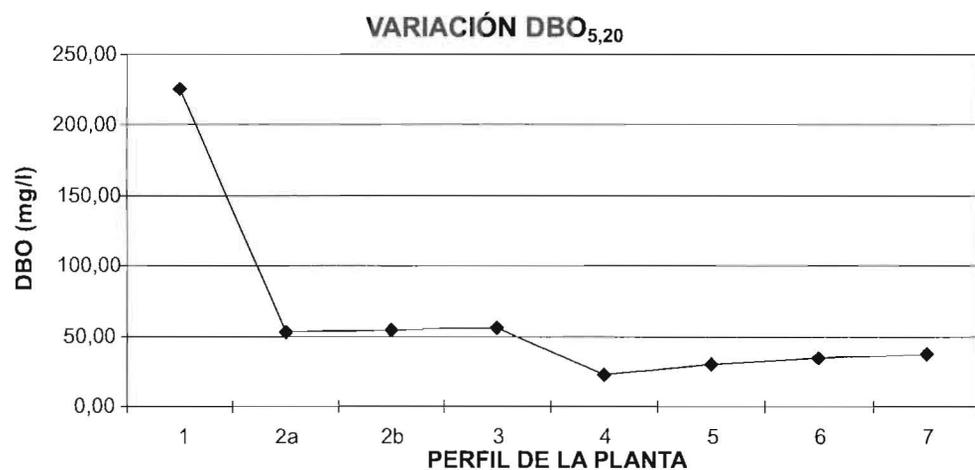


Figura 5. Variación de la DBO_{5,20} a través del proceso.

movida en mayor proporción en los módulos anaerobios del sistema. Según la relación DBO/DQO de la Tabla 3, existe un descenso apreciable en cuanto a la biodegradabilidad del agua (0,54 a 0,20), lo que indica que la mayor parte de la materia orgánica biodegradable fue transformada durante el proceso [10, 11].

Con respecto al fósforo, Mara *et al* (1992) afirman que en una planta de tratamiento con lagunas de estabilización bien diseñada, es posible remover entre 30 y 45% del fósforo total. Según esto, el valor obtenido en este estudio (29%) es aceptable, considerando que el fósforo, según Acevedo y Franco (1994), no es disminuido apre-

ciablemente por ningún sistema de lagunas estudiado por ellos. Lo dicho anteriormente puede observarse gráficamente en la Figura 6, donde la tendencia de la gráfica es a disminuir el fósforo gradualmente. Se observa un descenso marcado entre los puntos 5 y 6 correspondiente a la sección de pulimento en el sistema, donde se alcanza un remoción de 27% (Laguna de Maduración II) causada posiblemente por la precipitación de este nutriente con la porción no biodegradable de las algas y otros microorganismos que hayan muerto, lo que obliga a las nuevas algas a tomar este nutriente de las aguas. También influye los valores de pH (entre 6,5-9,5), pues altos valores

de éste parámetro promueven la formación y precipitación de compuestos insolubles de fósforo [4, 13].

El NTK a través del proceso experimenta una remoción de 56%. El valor de remoción de este parámetro en otro estudio realizado en la misma planta fue de 53%, lo cual muestra una mejora en la eficiencia de tratamiento en este sistema [11]. En la Figura 7 se puede observar el comportamiento del NTK a lo largo del proceso. La mayor parte de la variación observada en el NTK, es causada principalmente por la reducción de la cantidad de nitrógeno amoniacal durante el tratamiento (86%); ya que, como el NTK es igual a

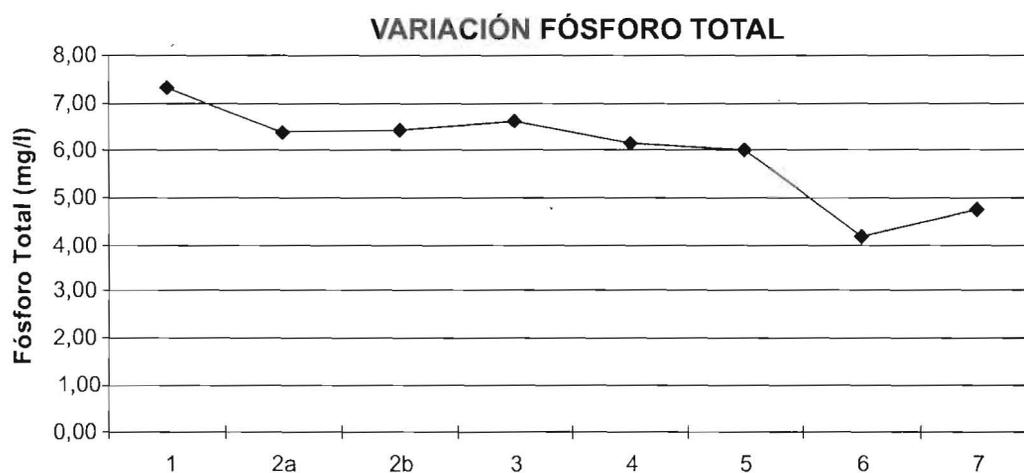


Figura 6. Variación de P-Total a través del proceso.

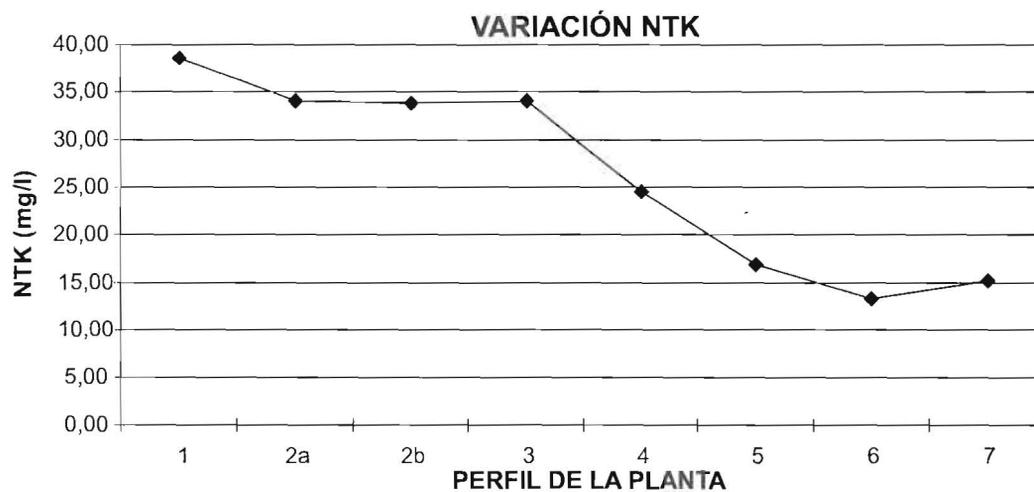


Figura 7. Variación del NTK a través del proceso.

la suma del nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico, una variación en estas formas del nitrógeno se refleja en el total.

En la Figura 8 puede observarse que la tendencia general del nitrógeno amoniacal es a disminuir. Existe un incremento apreciable en las unidades anaerobias causado por la transformación de nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal. La mayor remoción de NH_3 en todo el sistema (73%) se registra a la salida de la Laguna de Maduración II (Punto 6), que al igual que en las otras etapas se elimina por incorporación a los cuerpos celulares, liberación a la atmósfera y a la transformación hacia nitritos y nitratos. Si se toma en cuenta lo dicho por Babbitt y Baumman [14], la presencia de estas formas oxigenadas de nitrógeno son un indicio de que es aquí donde se logra la mayor estabilización del agua residual, obteniéndose las mayores concentraciones de nitritos y nitratos en el sistema (0,65 y 0,7 mg/L respectivamente).

Tanto los nitratos como los nitritos son una forma del nitrógeno que no esta presente en el agua de entrada del tratamiento evaluado. Pero se observa una producción de estos compuestos a medida que transcurre dicho tratamiento. En la Tabla 3 se muestran las concentraciones de nitritos y nitratos encontradas en el efluente de salida de la planta (0,4 mg/L y 0,5 mg/L, respectivamente). En las primeras etapas del tratamiento, el pH es muy bajo como para permitir el desarrollo de bacterias nitrificantes, sin embargo, en las siguientes etapas las condiciones se hacen favora-

bles para su desarrollo. Esto se evidencia en la Figura 9, donde la curva permanece en cero al principio, y luego presenta un cambio en la magnitud de su pendiente, producto de la formación de estos compuestos a partir del punto 4.

Uno de los objetivos del tratamiento es la remoción de sólidos, y como se puede apreciar en la Figura 10 la remoción de sólidos suspendidos se encuentra en un rango aceptable de remoción (87% y 84%, para los SST y SSV respectivamente) ya que se debe considerar que las aguas a tratar han sido sometidas a un tratamiento anaerobio donde los principales mecanismos de remoción son los procesos de sedimentación. Los valores alcanzados por el sistema son comparables a otros estudios, como el de Mara *et al* (1992), quienes estiman que en una planta bien diseñada, la remoción de sólidos suspendidos esta en el orden del 90% [4].

Una opción tecnológica mediante la cual se alcanza plenamente el objetivo de "no patógenos" corresponde a las lagunas de estabilización, siendo reiterado esto por investigaciones realizadas por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) [15], quienes demostraron la gran eficiencia de remoción de parásitos (huevos de helmintos y quistes de protozoos), virus y bacterias patógenas en estos sistemas. Ningún tratamiento biológico convencional puede competir con la eficiencia de remoción de patógenos que se logra en las lagunas, a menos que se adicione el proceso de desinfección del

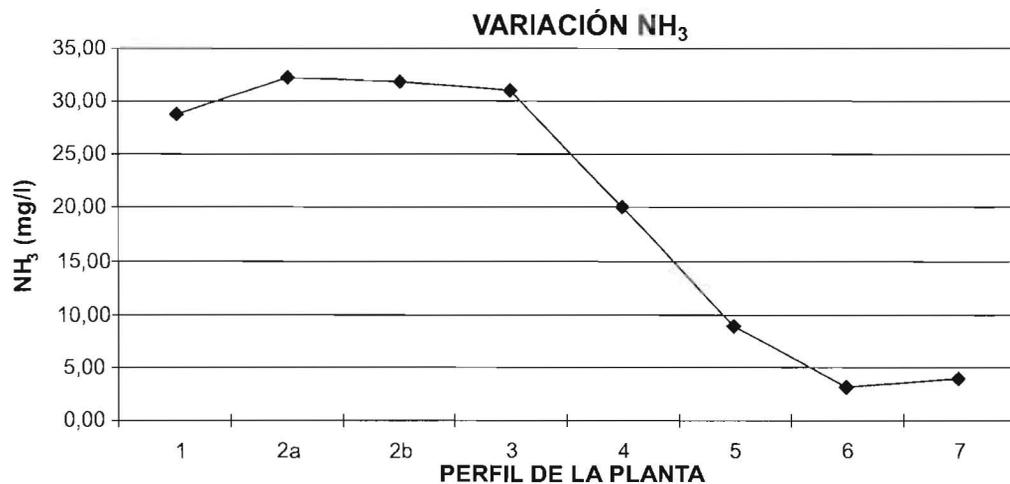


Figura 8. Variación de NH_3 a través del proceso.

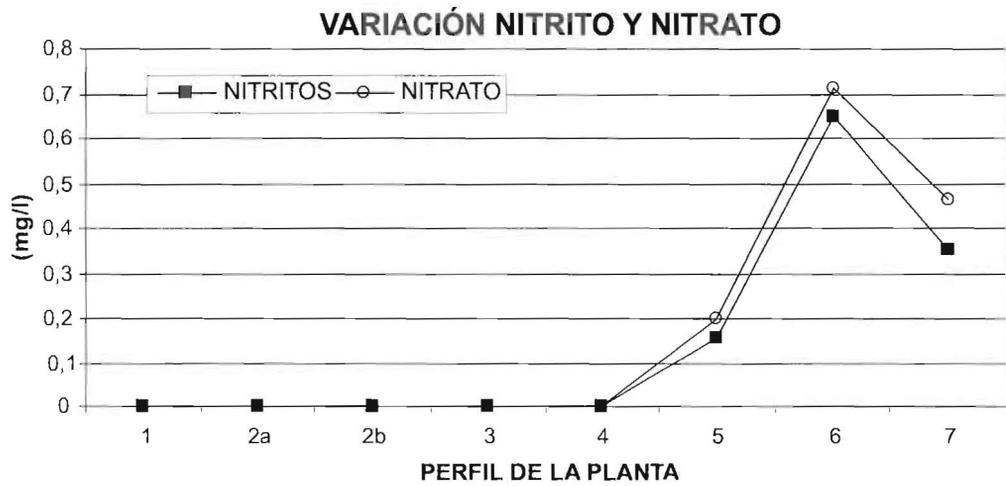


Figura 9. Variación de Nitrito y Nitrato a través del proceso.

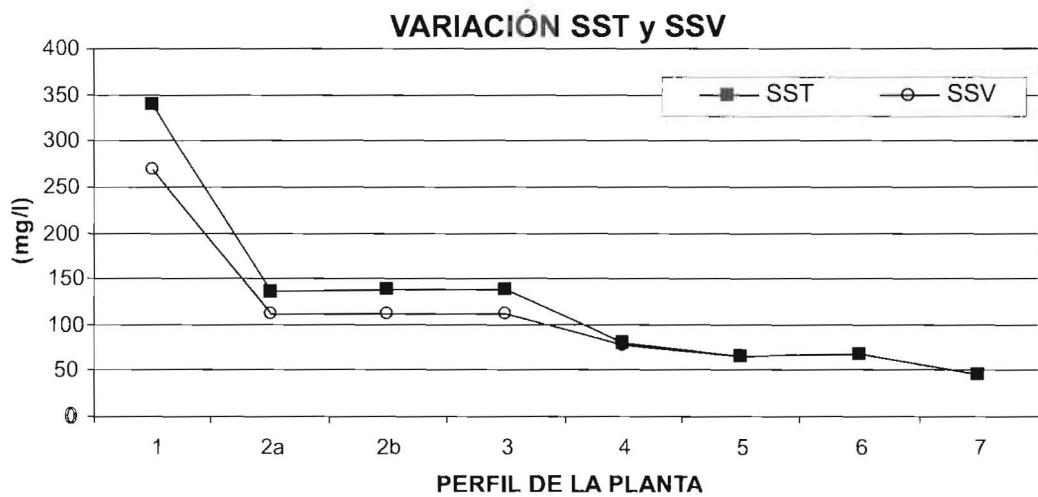


Figura 10. Variación de SST y SSV a través del proceso.

efluente, que encarece y hace más compleja la operación y el mantenimiento [15].

En el sistema de tratamiento Sur, se obtuvo una disminución de 6 unidades logarítmicas de organismos coliformes totales y de 5 unidades logarítmicas de organismos coliformes fecales. Inicialmente, como la descarga es reciente, prácticamente los coliformes presentes son fecales en su totalidad. Luego de la descomposición anaerobia llevada a cabo en el proceso, se marca una diferencia entre los CT y los CF, diferencia que mantiene relativamente constante hasta el final del tratamiento.

El comportamiento de estos parámetros a través del sistema de tratamiento se pueden apre-

ciar en la Figura 11, donde la mayor remoción de CF y CT se alcanza en el Punto 5 (Laguna de Maduración I), esto se debe a que la principal función de las lagunas terciarias o de maduración, es la de producir un efluente apto o limpio desde el punto de vista bacteriológico, esto es la eliminación de microorganismos patógenos. En esta laguna la alta concentración de OD (7.2 mg/L, a la salida) unida a la alta incidencia de la radiación solar en estas latitudes, permite la remoción de estos organismos como lo explica Curtis y Colaboradores [16]. Sin embargo, esta remoción no es mayor debido a de que el pH presente en las aguas de esta laguna no es lo suficientemente alto (por lo menos durante las horas de muestreo) para acelerar la

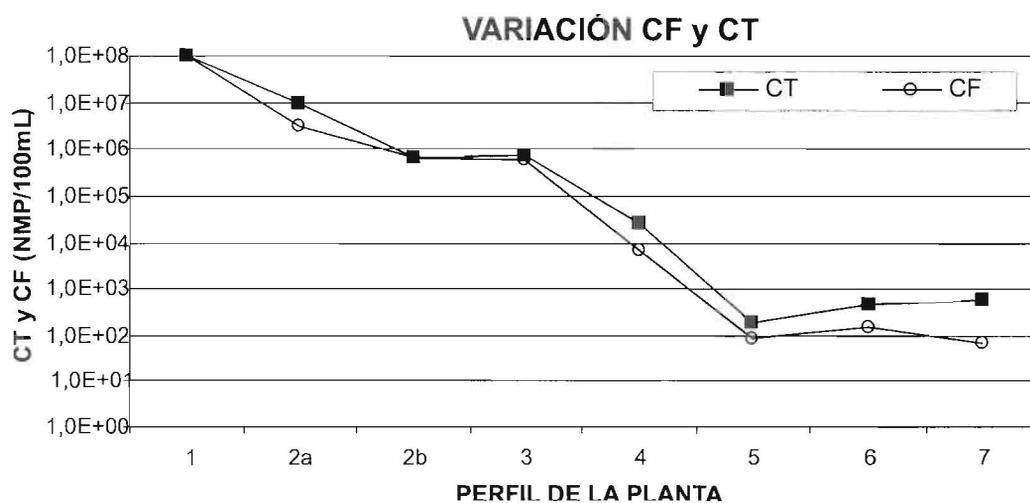


Figura 11. Variación de CF y CT a través del proceso.

destrucción de estos microorganismos. No obstante, el pH aumenta a medida que se incrementa la actividad fotosintética durante el día, y una vez que se agota el dióxido de carbono (CO_2) o éste es insuficiente, entonces las algas recurren al bicarbonato del sistema produciéndose los iones hidroxilo (OH^-) [17].

Por lo anterior, se presume que en horas de la tarde la tasa de mortalidad de estas poblaciones sea mucho mayor, ya que se conjugarían los tres factores más influyentes en la eliminación de microorganismos coliformes (altos valores de pH, altas concentraciones de OD y alta incidencia de la luz solar), lográndose mejorar las dos unidades logarítmicas de remoción obtenidas en esta laguna (99% y 98% de CT y CF respectivamente) [15].

La Planta de Tratamiento Sur fue diseñada para minimizar el daño ocasionado por la descarga de aguas residuales al Lago de Maracaibo y/o utilizar el agua tratada para fines agrícolas. Sin embargo, para poder darle estos usos, este efluente debe cumplir con las regulaciones establecidas por la normativa ambiental venezolana vigente, establecidas en la Gaceta Oficial de la República N° 5021. En la Tabla 4, se compara las características del efluente del Sistema de Tratamiento Sur con los límites de descarga establecidos por dicha norma y los límites fijados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores [18, 19].

Como puede observarse en la Tabla 4, al comparar los límites permitidos para estas descargas con los valores obtenidos en la evaluación, el efluente de la planta es apto para ser usado con fines agrícolas y/o para ser descargado a un cuerpo de agua receptor, en este caso, el Lago de Maracaibo.

Conclusiones

La eficiencia de remoción de la carga orgánica en términos de la DBO y la DQO es de 77%, y 37% respectivamente. Existe un descenso bastante apreciable en cuanto a la biodegradabilidad del agua a medida que avanza el tratamiento en el sistema, reflejado en la disminución que experimenta la relación DBO/DQO desde 0,54 a 0,20.

La remoción de P-total en el sistema (29%) es aceptable considerando que el fósforo no es disminuido apreciablemente en sistemas de tratamiento por lagunas.

La concentración de NTK se vió disminuida en un 56%, causada principalmente por la reducción del nitrógeno amoniacal durante el tratamiento (86%). Existe muy baja producción de nitritos y nitratos, los valores encontrados a la salida de la planta fueron 0,35 mg/l y 0,48 mg/l respectivamente.

Los sólidos suspendidos fueron removidos notablemente (87% de SST y 84% de SSV). A medida que avanza el tratamiento, los sólidos suspendidos se hacen prácticamente volátiles (98%).

Tabla 4
Comparación de los valores promedio del efluente del sistema con la normativa vigente

Parámetro	Efluente	Límite Permitido(*)		
		Uso agrícola	Descarga a cuerpos de agua	EPA
DBO _{5,20} (mg/L)	47	-	60	30
DQO (mg/L)	245	-	350	-
Nitrógeno Total (mg/L)	16	-	40	-
Nitritos+Nitratos (mg/L)	0,8	-	10	-
P-total (mg/L)	5	-	10	-
SST (mg/L)	45	-	80	30
pH	9	-	6-9	6 - 9
CT (NMP/100mL)	590	1000	-	200
CF (NMP/100mL)	70	100	-	-
Temperatura	31,4		± 3°C(**)	-

(*) Adaptado de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela. (1995).

(**) Con respecto a la temperatura del agua del cuerpo receptor.

Se evidencia la eficiencia de remoción de patógenos que se logra con lagunas de estabilización. La remoción de microorganismos coliformes totales y fecales fue de 6 unidades y de 5 unidades logarítmicas respectivamente.

El efluente de la planta es apto para ser usado con fines agrícolas y/o para ser descargado a un cuerpo de agua receptor, en este caso, el lago de Maracaibo, ya que éste cumple con los límites de concentración establecidos por la normativa ambiental venezolana para dichos propósitos.

Agradecimiento

Se agradecen los aportes financieros otorgados por el Instituto para la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), así como al Centro de Investigación del Agua (CIA) por la colaboración prestada para la realización de este estudio.

Referencias Bibliográficas

1. Rivas M.: "Tratamiento de Aguas Residuales", Ediciones Vega. Venezuela, 1978.
2. Rolim M.: "Sistemas de Lagunas de Estabilización", Mc. Graw Hill., Colombia, 2000.
3. Metcalf y Eddy.: "Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización", McGraw-Hill., Vol. 1 y 2. España, 1999.
4. Mara D., Alabaster P., Pearson W. y Mills W.: "Waste Stabilization Ponds: a viable alternative for small community treatment systems". Journal of Institute of Water & Environmental Management, Vol. 6, 1992.
5. Trujillo A., Cárdenas C., Herrera L., Valbuena M., Araujo I. y Saules L.: "Sistema experimental de lagunas de estabilización y reutilización de sus efluentes con fines de riego". Centro de Investigación del Agua (CIA), Venezuela, 1995.
6. Gerencia de Ingeniería Ambiental. ICLAM.: "Sistema de Tratamiento Sur. Operaciones. Diagnóstico en la fase de arranque". Informe técnico IT-98-02-004, Maracaibo, 1998.
7. APHA-AWWA-WEF.: "Standards Methods for examination of water and wastewater", American Public Health Association., USA, 1995.
8. Crites R. y Tchobanoglous G.: "Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones", Mc. Graw Hill., Colombia, 2000.
9. Rojas J.: "Performance of waste water stabilization ponds systems in Bolivia", 3rd IAWQ International Specialist conference and workshop. 1995.

10. Silva S., Mara D. y De Oliveira R.: "The performance of a series of five deep waste stabilization ponds in northeast Brazil", Proceedings of an Lawpre Specialized conference held in Lisboa Portugal, 1987.
11. Berti M. y Ramírez E.: "Evaluación en la Fase de Arranque de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales", Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia, 2001.
12. Silva S.A.: "On the treatment of domestic sewage in waste stabilization ponds in Northeast Brazil", PhD Thesis, Engineering and applied Sciences. University of Dundee, U.K. 1982.
13. Acevedo J. y Franco A.: "Evaluación del Fósforo en las Lagunas de Estabilización de L.U.Z.". Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia, 1994.
14. Babbit H. y Baumann R.: "Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras", Editorial Continental, S.A., Colombia, 1977.
15. www.cepis.ops-oms.org/index.html.
16. Curtis T., Mara D. y Silva S.: "Influence f pH, oxygen and humic substances on ability of sunlight to damage fecal coliforms in vaste stabilization pond water". American Cosiety for Microbiology, 1992.
17. Pérez D., Portillo E. y Rodríguez M.: "Influencia de la temperatura en la demanda bioquímica de oxígeno", Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia, 1995.
18. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. N° 5021 extraordinario. Caracas 18 de Diciembre de 1995.
19. U.S. EPA. Manual: Guidelines for Water Reuse, EPA/625/R-92/004.

Recibido el 7 de Enero 2004
En forma revisada el 13 de Junio 2005