

Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán.

Febles-Patrón, J. L.¹, Hoogesteijn, A.¹

Fecha de recepción: 21 de mayo de 2010 – Fecha de aprobación: 30 de agosto de 2010

Resumen.

Se evaluó la calidad del agua en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán, a través de los análisis realizados de 2002 a 2008 por diferentes laboratorios. Los parámetros considerados fueron los coliformes fecales, la demanda bioquímica de oxígeno, el fósforo y el nitrógeno total, grasas y aceites, los sólidos suspendidos totales y sedimentables, el pH, la temperatura y la materia flotante. Se obtuvo el porcentaje de remoción considerando los datos en la laguna de inicialización y en la de finalización, además de comparar los resultados con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Se registraron altos porcentajes de remoción de contaminantes, pero concentraciones en el efluente superiores a los límites establecidos en la norma. Las lagunas de oxidación no están funcionando adecuadamente y representan una fuente de contaminación al ambiente.

Palabras clave: aguas residuales, calidad del agua subterránea, lagunas de oxidación.

Preliminary evaluation of the efficiency in the stabilization ponds at the city of Merida, Yucatan

Abstract.

Water quality in the stabilization ponds of the city of Merida, Yucatan was evaluated, through the analyses performed from 2002 to 2008 by different laboratories. The considered parameters were fecal coliforms, biochemical demand of oxygen, total phosphorus and nitrogen, grease and oils, total and sedimentable suspended solids, pH, temperature and floating matter. Removal percentage was obtained considering the influent and effluent data in the lagoon, comparing the results with the established maximum permissible limits in the NOM-001-SEMARNAT-1996. High percentages of polluting removal were registered, but concentrations in the effluent were superior to the legal limits. The stabilization ponds are not working suitably and are a source of environmental contamination.

Keywords: groundwater quality, stabilization ponds, waste water.

¹ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. Email: febles@mda.cinvestav.mx

Introducción

Según la CONAGUA (2008) en el estado de Yucatán un 61.1% de la población humana se concentra en la región centro occidental (zona semicírculo de cenotes). En todo el estado se concesiona un volumen total de agua de 856.5 Mm³/año dividido según su consumo en los siguientes sectores: agrícola (63.2%), el público-urbano (28.1%), el industrial (4.2%) y el pecuario (2.3%). Debido a la alta densidad poblacional el 42% se utiliza en la zona del semicírculo de cenotes; por ende sólo en esta región se producen más de 111 Mm³/año (61%) de aguas residuales.

Dadas las condiciones geológicas cársticas y la baja profundidad al manto freático (5 m de profundidad) en el estado, las principales fuentes de contaminación del agua subterránea son: (1) los bancos de materiales pétreos que afloran al manto freático y se usan como tiraderos de basura y depósitos de aguas residuales, (2) el fecalismo abierto en el medio rural, (3) la infiltración de aguas urbanas en los pozos pluviales, (4) el tratamiento insuficiente o inexistente de las

aguas residuales industriales, (5) la disposición inadecuada de los residuos sólidos, (6) la aplicación de productos agrícolas en el medio rural, (7) más de 130,000 fosas sépticas con baja eficiencia y (8) la disposición inadecuada de los residuos de la limpieza de las fosas sépticas y de los rastros (CONAGUA 2008).

La situación anteriormente descrita urge de un tratamiento de aguas residuales urbanas, agrícolas e industriales antes que se devuelvan al manto freático. Con tal fin la ciudad de Mérida dispone de lagunas de oxidación que fueron construidas hace más de 20 años a finales de la década de los 80's. Una laguna de oxidación o de estabilización es una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos (CNA 1996). En Mérida estas lagunas reciben y tratan los residuos producto de la limpieza de las fosas sépticas de la ciudad, los residuos de los molinos de nixtamal y de los baños públicos (Figura 1).

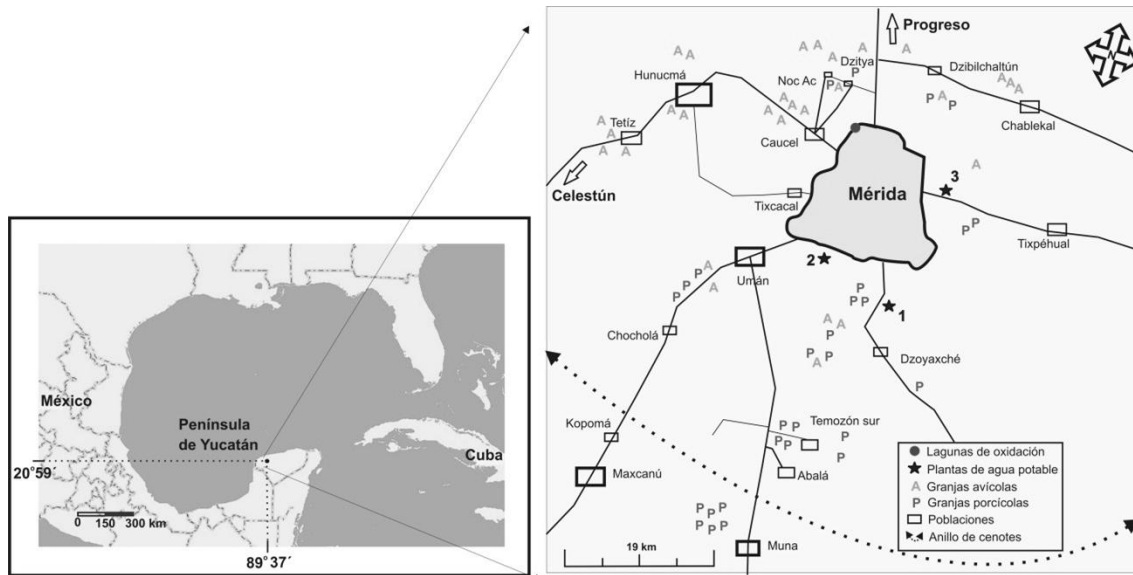


Figura 1. Localización esquemática de las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida.

El sistema principal consta de dos pares de lagunas en paralelo, con las siguientes dimensiones: 46.9 m x 33.8 m y 1.75 m de profundidad (*lagunas primarias*) y de 33.9 m x 33.8 m x 1.75 m de profundidad (*lagunas secundarias*). Dichas medidas le dan una capacidad total de 9,548 m³. El ingreso mensual promedio de residuos es de 10,000 a 12,000 m³, de los cuales el 66% proviene de fosas sépticas, 32% de nixtamal y el 2% de baños públicos (Ayuntamiento 2007). Una de las lagunas es utilizada exclusivamente para los residuos de nixtamal y la otra para residuos de las fosas sépticas y baños públicos. Los camiones

vierten los residuos en el área de descarga, de allí pasan a las lagunas primarias respectivas, donde se sedimentan los sólidos. El agua sobrenadante fluye a las lagunas secundarias a través de los canales de drenaje. Finalmente de las lagunas secundarias fluye hacia una zona de descarga donde crecen pastos silvestres. El trabajo de mantenimiento que realizan en las lagunas es una limpieza cada 15 días. No existe un manejo de estos residuos ni una separación de grasas y lodos. Se saca parte del lodo, escombros y la grasa los cuales son extendidos en una fosa de secado de 10 m por 5 m y 0.5 m de profundidad. Una vez

secos se retiran de la fosa y se tiran en un área

adyacente (Figura 2).



Figura 2. Vista aérea y definición de los dos sistemas de lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán.

En 2006 se construyó otro sistema de lagunas de oxidación, ubicado al lado de las antiguas lagunas (Figura 2). Se construyeron seis lagunas individuales conectadas en serie a través de vertedores y canales, el primer par de lagunas funcionarían de forma anaeróbica. El sistema consta de una zona de pretratamiento en el sitio de descarga de las aguas residuales, con vertedores para separar sólidos y grasas, tres lagunas primarias con un filtro de grava y una compuerta que conduce a otras tres lagunas secundarias. Este nuevo sistema se encuentra en prueba.

El primer par de *lagunas anaeróbicas* están conectadas en paralelo al segundo par de *lagunas facultativas*. Las lagunas facultativas tienen una zona anaeróbica en el fondo, otra aeróbica en la superficie y una zona intermedia de mezcla o facultativa. En la zona del fondo se acumulan y descomponen los sólidos a través del proceso de fermentación, mientras que en la zona intermedia y superficial continúa la descomposición de la materia orgánica mediante las bacterias anaeróbicas, facultativas y aeróbicas (CNA 1996). Normalmente este tipo de lagunas presentan un pequeño estrato superficial menor de 50 cm. con oxígeno disuelto, este estrato es dependiente de la acción del viento, la temperatura y la carga orgánica de los residuos que se vierten. Sin embargo, el sistema tiene una tendencia a formar natas que flotan sobre el agua, lo cual previenen la entrada de la luz solar. La ausencia de luz limita la presencia de las algas e impide la difusión de oxígeno del aire (CNA 1996).

Eventualmente el diseño permite otra etapa de *laguna(s) de maduración*, cuyo objetivo sería mejorar la calidad del agua y reducir la cantidad de bacterias fecales a través del incremento en la concentración de algas (Quintal y Zetina 1993; CNA 1996).

De acuerdo con el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua en el Municipio de Mérida (Diario Oficial 1994), no podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso de la autoridad competente. La prevención y control de la contaminación así como la preservación de la calidad del manto acuífero deberán realizarse a través del tratamiento de aguas residuales para el control de sólidos sedimentables, grasas y aceites, sustancias químicas, materia flotante y otros factores que se considere necesario incluir de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas. El mismo reglamento establece también que los responsables de las plantas de tratamiento de aguas residuales y lodos ubicadas en Mérida están obligados a reportar mensualmente al Ayuntamiento, o con una periodicidad mayor cuando así lo determine éste, los resultados de los análisis de los influentes y efluentes de la planta, incluyendo al menos los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) y detergente, y sólidos suspendidos totales (SST).

No existe algún diagnóstico publicado de la eficiencia de las lagunas de oxidación de Mérida. El objetivo de este artículo es recopilar la información existente de

los parámetros de calidad del agua en los efluentes de las lagunas de oxidación y compararlos con los valores permitidos por la norma oficial mexicana.

Métodos.

A través del Instituto Nacional de Acceso a la Información Pública (INAIP) de Yucatán, se solicitó al Ayuntamiento de Mérida la información relativa a los análisis de calidad del agua realizados en las lagunas de oxidación desde el inicio de operaciones (INAIP 2008).

Los parámetros evaluados en las muestras de influentes y efluentes fueron: a) los coliformes fecales (NMP/100 ml), b) la demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (mg/L), c) el fósforo y el nitrógeno totales (mg/L), d) grasas y aceites (mg/L), e) los sólidos suspendidos totales y sedimentables (mg/L), f) el pH, g) la temperatura (°C) y i) la materia flotante. Los análisis fueron realizados por diferentes laboratorios, entre ellos el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma de Yucatán,

la Promotora de Asesoría, Investigación y Tecnología, A.C. y el laboratorio H₂O. Los análisis se realizaron conforme a los métodos de prueba establecidos en las normas oficiales mexicanas.

Los resultados fueron tabulados en Excel y comparados con los límites máximos permisibles establecidos en la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Resultados

Mostramos las fechas de muestreo de los influentes y efluentes de las lagunas de oxidación facilitadas por el Ayuntamiento de Mérida (Tabla 1). De acuerdo con la Unidad Municipal de Acceso a la Información Pública (UMAIP 2008), la información recibida representa la totalidad de la existente en los archivos de la dependencia. Se presentan los límites máximos permisibles para parámetros de calidad de agua según la norma oficial mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) (Tabla 2).

Tabla 1. Fechas de muestreo de influentes y efluentes de las lagunas de oxidación facilitadas por el Ayuntamiento de Mérida

Año	Fecha	Estación climática
2002	6 junio	Lluvia
2003	22 enero	Seca
2003	15 agosto	Lluvia
2004	9 enero	Seca
2004	3 septiembre	Lluvia
2005	3 septiembre	Lluvia
2006	3 octubre	Lluvia
2007	2 febrero	Seca
2007	3 octubre	Lluvia
2008	22 julio	Lluvia

Tabla 2. Límites máximos permisibles establecidos para parámetros de calidad de agua en la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetro	Límites máximos*
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1000 a 2000
DBO ₅ (mg/L)	60
Fósforo total (mg/L)	10
Nitrógeno total (mg/L)	25
Grasas y aceites (mg/L)	25
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	60
Sólidos sedimentables (mg/L)	2
Temperatura (°C)	40
pH	5 a 10
Materia flotante	Ausente

* Promedio diario para uso público urbano, embalses naturales y artificiales.

En la Tabla 3a y 3b se presentan los valores para parámetros medidos en influentes y efluentes. Se

resaltaron los parámetros del efluente en las lagunas de oxidación de Mérida, que superan los límites

Febles-Patrón y Hoogesteijn / Ingeniería 14-2 (2010) 127-137

máximos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, así como los porcentajes de remoción menores

de 80% y negativos.

Tabla 3a. Análisis de la calidad del agua en las lagunas de oxidación de Mérida, Yucatán.

Unidades en mg/L excepto cuando se indique de otra forma. Remoción en %*.

Parámetro	Fecha	Influyente	Efluente	Remoción
Coliformes	6-jun-02	21500000	820	99.99
Fecales	22-ene-03	21500000	3000	99.98
(NMP/100 ml)	15-ago-03	1500000	1024	99.93
	9-ene-04			
	3-sep-04	22000000	300	99.99
	3-sep-05	20000000	100	99.99
	3-oct-06	20000000	100	99.99
	2-feb-07	20000000	100	99.99
	3-oct-07	250000	800	99.68
	22-jul-08	11000000	93000	99.15
DBO ₅	6-jun-02	1950	368.8	81.08
	22-ene-03	7800	1060	86.41
	15-ago-03	8700	1099	87.36
	9-ene-04	5750	476	91.72
	3-sep-04	9025	260	97.11
	3-sep-05	9450	245.98	97.39
	3-oct-06	9250	145.98	98.42
	2-feb-07	8250	98	98.81
	3-oct-07	6410	2235	65.13
	22-jul-08	895.48	106.81	88.07
Fósforo total	6-jun-02	44.91	15.78	64.86
	22-ene-03	49	21	57.14
	15-ago-03	7.48	0.25	96.65
	9-ene-04	90.26	19.75	78.11
	3-sep-04	102	11.12	89.09
	3-sep-05	156	8.9	94.29
	3-oct-06	56	6.9	87.67
	2-feb-07	106	3.45	96.74
	3-oct-07			
	22-jul-08	7.21	13.74	-90.56
Nitrógeno total	6-jun-02	420	375	10.71
	22-ene-03	221	29	86.87
	15-ago-03	68	ND	
	9-ene-04	394.31	281.43	28.62
	3-sep-04	78.5	12.4	84.20
	3-sep-05	61.58	5.6	90.90
	3-oct-06	31.58	2.6	91.76
	2-feb-07	21.58	1.6	92.58
	3-oct-07			
	22-jul-08	49.74	36.88	25.85
Grasas y Aceites	6-jun-02	105	15	85.71
	22-ene-03	1060	200	81.13
	15-ago-03	245	95.21	61.13
	9-ene-04	732.86	62	91.54
	3-sep-04	678	35	94.83
	3-sep-05	860	52.05	93.94
	3-oct-06	520	32.05	93.83
	2-feb-07	920	22.05	97.60
	3-oct-07	1445.1	56.27	96.10
	22-jul-08	29.03	16.38	43.57

* Se resaltan los parámetros del efluente que superan los límites máximos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, así como los porcentajes de remoción menores de 80% y negativos.

Tabla 3b. Análisis de la calidad del agua en las lagunas de oxidación de Mérida, Yucatán.
Unidades en mg/L excepto cuando se indique de otra forma. Remoción en %*.

Parámetro	Fecha	Influente	Efluente	Remoción
Sólidos sedimentables	6-jun-02	500	0.2	99.96
	22-ene-03	129	14.5	88.75
	15-ago-03	4.98	55	-1004.41
	9-ene-04	125	1.2	99.04
	3-sep-04	312	4	98.71
	3-sep-05	125.02	3	97.60
	3-oct-06	125.02	1	99.20
	2-feb-07	105.02	0.9	99.14
	3-oct-07	40	5	87.50
	22-jul-08	0.9	7.5	-733.33
Sólidos suspendidos totales	6-jun-02	7280	84	98.84
	22-ene-03	682	224.3	67.11
	15-ago-03	198.45	205	-3.30
	9-ene-04			
	3-sep-04	8787	135	98.46
	3-sep-05	598	1.6	99.73
	3-oct-06	213	0.7	99.67
	2-feb-07	113	1.25	98.89
	3-oct-07	695	530	23.74
	22-jul-08	169.69	224.9	-32.53
Temperatura (°C)	6-jun-02	29.52	28.07	
	22-ene-03	26.5	26	
	15-ago-03	29.5	28.8	
	9-ene-04	19	20	
	3-sep-04	30.5	30	
	3-sep-05	30.5	31	
	3-oct-06	28.5	28	
	2-feb-07	29.5	29	
	3-oct-07			
	22-jul-08	29.3	28	
pH	6-jun-02	7.35	7.15	
	22-ene-03	6.3	7.2	
	15-ago-03	7.3	7.1	
	9-ene-04	6.3	7.2	
	3-sep-04	6.3	7.2	
	3-sep-05	5.4	7	
	3-oct-06	5.4	7	
	2-feb-07	5.2	7.4	
	3-oct-07	6.76	6.87	
	22-jul-08	6.98	7.82	
Materia flotante	6-jun-02			
	22-ene-03	Ausente	Ausente	
	15-ago-03	Ausente	Ausente	
	9-ene-04	Ausente	Ausente	
	3-sep-04	Ausente	Ausente	
	3-sep-05	Ausente	Ausente	
	3-oct-06	Ausente	Ausente	
	2-feb-07	Ausente	Ausente	
	3-oct-07			
	22-jul-08	Ausente	Ausente	

* Se resaltan los parámetros del efluente que superan los límites máximos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, así como los porcentajes de remoción menores de 80% y negativos.

Los valores promedio de los parámetros de calidad del agua en el efluente de las lagunas, exceden el límite permisible establecido en la norma oficial (Tabla 4).

Se determinaron las cargas de parásitos helmintos a través del número de huevos por litro, este parámetro

sólo se reporta analizado en los muestreos del mes de Junio de 2002 en el cual se contabilizó una carga de 320,000 huevos / L para el influente y de 140 huevos / L para el efluente.

No se realizaron análisis y no existen registros para metales pesados y cianuros.

Tabla 4. Valores promedio de los parámetros de calidad del agua en las lagunas de oxidación de Mérida, Yucatán (2002-2008)*

Parámetro	Condición	N	Media	Desv. típ.
Coliformes fecales (NMP/L)	Influente	9	15305555.56	8828025.13
	Efluente	9	11027.11	30753.26
	Remoción	9	99.86	0.28
DBO5 (mg/L)	Influente	10	6748.05	3060.53
	Efluente	10	609.56	678.56
	Remoción	10	89.15	10.39
Fósforo total (mg/L)	Influente	9	68.76	49.03
	Efluente	9	11.21	7.07
	Remoción	9	63.78	59.57
Nitrógeno total (mg/L)	Influente	9	149.59	157.26
	Efluente	8	93.06	147.81
	Remoción	8	63.94	35.43
Grasas y aceites (mg/L)	Influente	10	659.50	445.67
	Efluente	10	58.60	55.45
	Remoción	10	83.94	17.86
Sólidos sedimentables (mg/L)	Influente	10	146.69	152.15
	Efluente	10	9.23	16.64
	Remoción	10	-96.78	411.94
Sólidos suspendidos (mg/L)	Influente	9	2081.79	3402.89
	Efluente	9	156.31	169.27
	Remoción	9	61.18	51.93
Temperatura (°C)	Influente	9	28.09	3.61
	Efluente	9	27.65	3.19
pH	Influente	10	6.33	0.79
	Efluente	10	7.19	0.26

* Se resaltan los parámetros del efluente que superan los límites máximos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, así como los porcentajes de remoción menores de 80% y negativos.

Discusión

Podemos observar que los muestreos no se realizan de forma mensual como lo estipula el reglamento oficial, ni se realizan en una modalidad periódica que permitirían conocer si las condiciones estacionales tienen algún efecto sobre la calidad del efluente o el proceso de oxidación (Tabla 1). Observamos que los muestreos realizados ocurrieron principalmente durante la época de lluvia. Sin embargo, no se observa un efecto de la estacionalidad sobre los parámetros evaluados. Se pudiera pensar que la adición de agua de lluvia al sistema produciría un efecto de dilución, o que la falta del mismo en la

época seca produciría un efecto de concentración, pero se observa que los excesos de los límites permisibles ocurren independientemente del mes de muestreo.

La Norma Oficial Mexicana establece los parámetros a ser medidos y los límites de los mismos de forma clara y categórica (Tabla 2), por lo tanto las autoridades pertinentes tienen una guía certera de los niveles máximos permisibles, y los parámetros a ser medidos con regularidad.

El examen bacteriológico no implica la búsqueda directa de los gérmenes patógenos, sino que se basa en el supuesto que todas las aguas contaminadas con aguas residuales son potencialmente peligrosas. El

análisis se realiza con métodos bacteriológicos para determinar la presencia de contaminación fecal. El grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aerobias y facultativas anaerobias. El número de organismos coliformes en los excrementos humanos es muy grande; la excreción diaria por habitante varía entre 125×10^9 y 400×10^9 . Su presencia en el agua es considerada como un índice de la ocurrencia de contaminación fecal y por lo tanto de potencial contaminación con organismos patógenos (Romero 1999). El agua del influente presentó una alta carga de coliformes fecales como era de esperarse, sin embargo, el sistema es aparentemente eficiente, ya que los valores de remoción estuvieron por encima del 99%. Aún así, para los años 2003 y 2008 la cantidad de colonias presentes en el efluente superó el límite aceptable (Tabla 3a).

Uno de los análisis más importantes para medir la concentración de la materia orgánica en aguas residuales es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) a cinco días. La DBO_5 es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un período de 5 días y a 20°C . La concentración de DBO_5 en agua sin contaminación es de 0 a 20 mg/L, mientras que en agua poco contaminada va de 20 a 100 mg/L. La normativa mexicana establece que los límites máximos permisibles de DBO_5 es de 60 mg/L; observamos que todos los valores medidos en los efluentes exceden estos valores, el máximo DBO_5 medido excede 37 veces a la norma, y el mínimo 1.6 veces (Tabla 3a). Podemos afirmar entonces que la carga de materia orgánica de los efluentes es demasiado alta para ser vertida al sistema.

Según Quintal y Zetina (1993) en las lagunas de estabilización se puede obtener entre el 30 y 45% de remoción de fósforo. La remoción del fósforo está directamente relacionada con el pH y se realiza a través de procesos de sedimentación y por la integración del fósforo a la biomasa de las microalgas. La remoción de fósforo obtenida en las lagunas de oxidación de Mérida está en el rango esperado (64.8 a 96.7%), excepto durante el mes de julio de 2008, en donde el nivel de fósforo del efluente excede el nivel de fósforo del influente en un 90.5% (Tabla 3a). Los autores no pueden definir la causa de dicho comportamiento. El uso de detergentes que contienen grandes cantidades de fósforo ha aumentado el contenido de fosfato en las aguas residuales domésticas. El fósforo en exceso produce un gran desarrollo de algas causando condiciones inadecuadas para ciertos usos del agua. La descarga de 1 g de fósforo en un lago, por ejemplo, puede permitir la formación de más de 100 g de biomasa, la

cual puede representar una DBO_5 de 150 g de oxígeno para su oxidación aerobia completa, además de los problemas de eutrofización y crecimiento de fitoplancton. En general, en aguas naturales la concentración de fósforo es baja, de 0.01 a 1 mg/L; en aguas residuales domésticas varía entre 1 a 15 mg/L (Romero, 1999).

Según Quintal y Zetina (1993) en las lagunas de estabilización se puede obtener entre el 70 y 90% de remoción de nitrógeno. Los procesos de eliminación del nitrógeno están relacionados con la asimilación durante la fotosíntesis y por la nitrificación o desnitrificación según los niveles de oxígeno presentes en las lagunas. Las lagunas de oxidación de Mérida registraron porcentajes de remoción desde 10.7 a 92.5%. La descarga de aguas residuales ricas en nitrógeno puede causar problemas de eutrofización y de nitrificación con la consecuente concentración de nitratos y riesgos de metahemoglobinemia para los usuarios de la fuente receptora (Sawyer y McCarty, 1978; Pacheco y Cabrera, 2003). En general, en aguas residuales el contenido de nitrógeno total es de 20 a 70 mg/L, mientras que en ríos y aguas sin contaminación alta es de 0.1 a 3 mg/L (Romero, 1999). La normativa mexicana establece niveles máximos permisibles en el orden de los 25 mg/L (Tabla 2). Observamos que los efluentes de las lagunas de oxidación presentaron niveles mayores a 25 mg/L en el 44% de los muestreos (junio 2002, enero 2003, enero 2004, julio 2005). Varios autores han señalado que la zona superior del acuífero en Mérida se encuentra altamente contaminada por especies nitrogenadas y por bacterias, de modo que no debe ser usada para agua potable (Graniel y Gómez 1997, Graniel et al. 1999, Villasuso y Graniel 1997, Pacheco et al. 2004a y 2004b). Esta situación está relacionada con el crecimiento urbano y la disposición de las aguas residuales al subsuelo. Se debe evitar que las descargas de aguas residuales lleguen a la zona profunda del agua dulce y contaminen nuestra única fuente de abastecimiento de agua potable. De acuerdo con Pacheco y Cabrera (2003), la gran mayoría de las lagunas de oxidación tienen fugas que representan una infiltración de más de 10 a 20 mm/día, lo que ocasiona la contaminación del agua subterránea por nitratos, obviamente efluentes con alto nivel de nitrógeno como lo es el caso de las lagunas de oxidación no ayudan a esta situación.

Las grasas y aceites representan el conjunto de sustancias poco solubles que flotan formando natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua. En aguas residuales, los aceites, las grasas y las ceras son los principales lípidos. Incluyen los ésteres de ácidos grasos de cadena larga, compuestos con cadenas largas de hidrocarburos; materiales solubles en

solventes orgánicos, pero muy insolubles en agua debido a la estructura larga hidrofóbica del hidrocarburo. Las grasas y los aceites afectan adversamente la transferencia de oxígeno del agua a las células e interfieren con su desempeño dentro del proceso de tratamiento biológico aerobio (Romero 1999). Los niveles máximos permisibles por la norma mexicana son de 25 mg/L (Tabla 2). Observamos que los efluentes exceden este valor en siete de los diez muestreos realizados (Tabla 3a), y si bien la remoción es alta, no lo es lo suficiente para producir un efluente que satisfaga la normativa existente. La presencia de natas no permite la entrada de la luz solar y el desarrollo de algas en los estratos superiores de las lagunas de oxidación secundarias, limitando el proceso de purificación del agua. En este caso sería necesario aumentar la remoción de las mismas para garantizar que se realicen los procesos aeróbicos. También se presenta el problema de que las grasas que se remueven se ponen a secar en áreas destinadas para tal fin, pero una vez secas no se dispone de estos residuos de forma adecuada, sino que se han venido apilando cerca de las lagunas de oxidación. Sabemos que las grasas solubilizan compuestos orgánicos, especialmente productos orgánicos sintéticos contaminantes persistentes, como por ejemplo los hidrocarburos arílicos y/o clorados, y compuestos biorefractarios que incluyen el benceno, cloroformo, cloruro de metilo, estireno, tetracloroetileno, tricloroetano y tolueno (Manahan 2007). Esta acumulación de nata y lodo seco puede significar un factor de contaminación adicional para el manto freático, debido a su contenido en materia orgánica que continúa degradándose lentamente, incluyendo materiales orgánicos refractarios y metales pesados. Los sólidos suspendidos totales representan la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de reposo, y debe ser menor de 60 mg/L en agua para uso público urbano (NOM-001-SEMARNAT-1996). Los sólidos sedimentables son aquellos que sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante una hora. En general se registraron porcentajes de remoción variables para todos los parámetros en las lagunas de oxidación. No obstante, los sólidos suspendidos y sedimentables presentaron algunos valores de remoción negativos, indicando una mayor carga contaminante en el efluente de agua (Tabla 3b). El pH y la temperatura del agua se mantuvieron dentro del rango y por debajo de los valores establecidos por la norma oficial, respectivamente, tanto en el influente como en el efluente. Se aprecia un proceso de neutralización en el efluente con valores de pH alrededor de 7. En relación a los huevos de helmintos reportados para el muestreo de junio de 2002 encontramos que el

límite máximo permisible de la norma oficial para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1 a 5 huevos por litro. Observamos que este valor supera excesivamente los límites permisibles, este factor es altamente preocupante debido a la construcción de un hospital infantil en la cercanía de dichas lagunas, la presencia del Centro de Control Canino y Felino del municipio en el mismo terreno, y la gran afluencia de aves acuáticas a las lagunas en las que caen los efluentes. Todo este contacto de animales y seres humanos en áreas altamente infestadas de huevos de helmintos podría convertirse en un serio foco de enfermedad para la población humana y animal de la zona.

De acuerdo con un reporte interno elaborado por la Subdirección de Ecología y Residuos Sólidos del Ayuntamiento de Mérida (2007), se considera que las lagunas de oxidación se encuentran azolvadas en un 85% de su capacidad. Pudimos observar que el área de descarga está mal diseñada, de forma que no retiene los sólidos (sedimentables y flotantes como las grasas y aceites). Esta situación aísla la superficie de las lagunas y no permite el intercambio gaseoso del oxígeno con el agua a tratar como se mencionó anteriormente.

No se cumplen los tiempos de residencia mínimos para el tratamiento, actualmente pasa de un día a horas, debiendo ser de 7 a 15 días, lo cual hace que la calidad del efluente sea muy deficiente, como lo demuestran los resultados de los análisis especialmente para los siguientes parámetros: DBO₅ y sólidos suspendidos totales y coliformes fecales (Ayuntamiento 2007). De acuerdo con González (2002) las lagunas de oxidación no tienen la eficiencia adecuada porque presentan un tiempo de residencia hidráulico corto, debido al elevado volumen de aguas residuales que se descargan. El mismo autor encontró una alta contaminación por nitratos y cadmio en el agua subterránea cercana a las lagunas de oxidación, relacionado con los lixiviados producidos por el antiguo basurero municipal.

Conclusiones.

Existe un inadecuado funcionamiento de las lagunas de oxidación del municipio de Mérida, Yucatán, con mayor carga en el efluente de algunos parámetros como el fósforo, los sólidos suspendidos totales y sedimentables.

Es urgente la reubicación, el diseño y la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales y lodos, producto de la limpieza de las fosas sépticas en Mérida. Se deben tomar en cuenta los criterios de diseño para las características hidrogeológicas y climáticas de la región, procurando una adecuada

capacidad de volumen y suficiente tiempo de retención para el tratamiento de las aguas residuales. Se deben realizar los muestreos de calidad del agua mensualmente, o por lo menos tres veces al año (secas, lluvias y “nortes”), para conocer el funcionamiento del sistema y la variabilidad que

presentan los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua en función de las condiciones ambientales. Esta información puede servir para calibrar modelos de simulación, que permitan optimizar los parámetros de diseño de lagunas de oxidación en lugares con características ambientales similares.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Instituto Estatal de Acceso a la Información Pública (INAIP) y a la Unidad Municipal de Acceso a la Información del Ayuntamiento de Mérida por la información proporcionada. Los comentarios de dos árbitros anónimos enriquecieron el manuscrito.

Referencias.

Ayuntamiento de Mérida. (2007). *Reporte interno de la Subdirección de Ecología y Residuos Sólidos*, Ayuntamiento de Mérida, Yucatán, México.

CNA. (1996). *Diseño de Lagunas de Estabilización. Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas*. Comisión Nacional del Agua.

CONAGUA. (2008). *Proyecto de manejo del agua subterránea en la Península de Yucatán. Replanteamiento de propuesta*. Documento Interno.

Diario Oficial de la Federación. (1994). *Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua en el Municipio de Mérida. Gobierno del Estado de Yucatán*, Ayuntamiento de Mérida, Noviembre 29 de 1994.

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

Graniel, E., Gómez, J. (1997). *Contenido de especies nitrogenadas en el agua subterránea de la ciudad de Mérida*. Ingeniería-Revista Académica, FIUADY, 1(1):15-25.

Graniel, E., Morris, L. B., Carrillo-Rivera, J.J. (1999). *Effects of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucatan, Mexico*. Environmental Geology 37(4):303-312.

González, R. (2002). *Riesgo a la salud por consumo de agua contaminada por lixiviados de SDFDS*. En Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 27 al 31 de octubre de 2002, Cancún, México.

INAIP. *Solicitud de Información Pública, Número de folio: 7036008. Fecha 3 de octubre de 2008*. <http://inaipyucatan.org.mx>

Manahan, S.E. (2007). *Contaminación del agua*. En: Introducción a la Química Ambiental. Manahan, S.E. Editor. Editorial Reverté, Barcelona.

Quintal, C., Zetina, C. (1993). *Tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización: Una Revisión*. Boletín Académico de la Facultad de Ingeniería de la UADY, 23:61-69.

Pacheco, J., Cabrera, A. (2003). *Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas*. Ingeniería-Revista Académica, FIUADY, 7(2): 47-54.

Pacheco, J., Calderón, L., Cabrera, A. (2004a). *Delineación de la zona de protección hidrogeológica para el campo de pozos de la planta Mérida I, en la ciudad de Mérida, Yucatán, México*. Ingeniería-Revista Académica, FIUADY, 8(1): 7-16.

Pacheco, J., Cabrera, A., Pérez, R. (2004b). *Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México*. Ingeniería-Revista Académica, FIUADY, 8(2):165-179.

Romero, J. (1999). *Calidad del Agua*. 2ª Ed. Alfaomega. México, D.F.

Sawyer, C.N., McCarty, P.L. (1978). *Chemistry for Environmental Engineering*, 3ª ed., McGraw-Hill.

UMAIP. *Notificación y Resolución de la Unidad Municipal de Acceso a la Información Pública con fecha 21 de octubre de 2008, a la solicitud de información con número de folio: 7036008*.

Villasuso, M., Graniel, E. (1997). *Estudio de la contaminación del acuífero de la ciudad de Mérida y sus medidas de remedio*. Ingeniería-Revista Académica, FIUADY, 1(1): 57-67.

Este documento debe citarse como:

Febles-Patrón, J. L., Hoogesteijn, A., (2010). **Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 14-2, pp 127-137, ISSN: 1665-529-X.