

IV-Arquier-Argentina-1

TRATAMIENTO DE LODOS FECALES MEDIANTE WETLANDS ARTIFICIALES

Arquier, Marta María de la Paz

Ingeniera Química (Universidad Tecnológica Nacional: U.T.N. F.R.R-Chaco) . Magíster en Gestión Ambiental, (Universidad Nacional del Nordeste). Postgrado en Aguas y Efluentes (CIS – U.N. de Rosario). Desde el año 1997 es Responsable de Plantas de Tratamiento de Efluentes de la Empresa Aguas de Corrientes SA. Docente de la Cátedra Gestión Ambiental (Carrera de Ingeniería Química. U.T.N.- F.R.R)

Aplicar

Foto

Dirección: Sgto Cabral y Gdor Panpin- Corrientes-Pcia de Corrientes-Argentina-3400- Argentina
Teléfonos: 011-3783-422980- 423079- int 212 y 231 . Fax int. 226
e- mail: marta.arquier@aguasdecorrientes.com

RESUMEN

Durante los años 2003-2004 se efectuaron análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y parasitológicos para la caracterización de lodos fecales(LF) o líquidos transportados por camiones atmosféricos y se evaluó el impacto del volcamiento de los mismos en el sistema cloacal de la localidad de Cruzú Cuatiá- Corrientes.

Los resultados obtenidos demostraron que estos efluentes no cumplen con los límites de DBO₅, sólidos sedimentables y sulfuros establecidos contractualmente para volcamiento en la red colectora cloacal. El volcamiento de LF produce sobrecargas instantáneas orgánica y de sólidos en el sistema de tratamiento (de tipo lagunas de estabilización). Anualmente se depositan 640m³ de sólidos sedimentables provenientes de estos vuelcos en las lagunas primarias, lo cual representa un 2% del volumen útil de las mismas.

En el marco del trabajo antes mencionado se continuó con el estudio a efectos de evaluar alternativas para el tratamiento de LF. En el presente trabajo se exponen resultados de experiencias realizadas en: a) una planta piloto de tipo wetland artificial/ lecho de secado cultivado con plantas palustres de la especie *Typhas augustifolia*; b) en reactores batch (con y sin macrófitas) para el tratamiento del efluente líquido (lixiviado) de la misma y c) la caracterización fisicoquímica, bacteriológica y parasitológica de los lodos deshidratados en el humedal. A partir de los resultados obtenidos se elaboró una propuesta de diseño de una planta modular para el tratamiento de 50 m³ LF/día, la misma está conformada por dos wetlands artificiales de 172 m² de superficie unitaria y un sistema de dos lagunas de estabilización tipo facultativas en serie para el tratamiento de los líquidos lixiviados (efluentes del humedal) .

PALABRAS CLAVES

Wetlands , Humedales Artificiales, Camiones Atmosféricos, Lodos Fecales (LF)

ABREVIATURAS

ST: Sólidos Totales

SS30: Sólidos sedimentables en 30 minutos

DQO: Demanda química de oxígeno

SST: Sólidos Suspendidos Totales

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno

BCF: Bacterias Coliformes Fecales

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

El uso de lechos de secado cultivados para el tratamiento de LF fue estudiado por el "Asian Institute of Technology" en Bangkok desde principios de 1997, la investigación permitió establecer directivas de diseño y operación de estos sistemas (Koottatep et al. 1999)

Estudios realizados por el Centro de Ingeniería Sanitaria (Universidad Nacional de Rosario) para determinar la eficiencia de las lagunas de estabilización en el tratamiento de LF, demostró que luego de 5 años de funcionamiento, la laguna primaria de la localidad de Alcorta (Santa fe) quedó prácticamente colmatada debido al alto contenido de sólidos de lodos provenientes de los tanques (Ingallinella, Fernández, Sanguinetti, Strauss, Montangero; 2001).

ESTUDIOS PREVIOS DE LA AUTORA

Durante los años 2003-2004 se efectuaron análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y parasitológicos para la caracterización de líquidos transportados por camiones atmosféricos (LF) y se evaluó el impacto del volcamiento de los mismos en el sistema cloacal de la localidad de Curuzú Cuatía-Corrientes.

Los resultados obtenidos demostraron que estos efluentes no cumplen con los límites de DBO_5 , sólidos sedimentables y sulfuros establecidos contractualmente para volcamiento en la red colectora cloacal.

Se compararon las características de los líquidos cloacales crudos con los LF vertidos en el sistema de la localidad encontrándose marcadas diferencias en el contenido de sólidos: los sólidos totales contenidos en los LF son 9,4 veces superiores que los contenidos en los efluentes cloacales y los sólidos sedimentables en 1 h y los suspendidos son 54,8 y 31,8 veces más altos respectivamente. Los sólidos suspendidos representan un 87% de los sólidos totales en efluentes de camiones atmosféricos y un 26% en efluentes cloacales.

El contenido de nitrógeno de amonio es 13.5 veces superior en los LF y el de materia orgánica (medida como DQO) de los efluentes de camiones es 28 veces superior al de los efluentes cloacales.

El volcamiento de LF produce sobrecargas instantáneas orgánica y de sólidos en el sistema de tratamiento. Anualmente se depositan 640 m³ de sólidos sedimentables provenientes de estos vuelcos en las lagunas primarias, lo cual representa un 2% del volumen útil de las mismas.

En el marco del trabajo antes mencionado se continuó con el estudio a efectos de evaluar alternativas para el tratamiento de LF.

DESARROLLO

OBJETIVOS

Los objetivos planteados para el presente trabajo son:

- Determinar experimentalmente parámetros de diseño y evaluar a escala piloto el funcionamiento de plantas de tratamiento de tipo wetland artificial o playas de secado cultivadas para lodos fecales .
- Ensayar condiciones de aclimatación de las plantas cultivadas (Typhas) frente a los LF.
- Evaluar la factibilidad de tratamiento biológico de los efluentes líquidos (lixiviados) del wetland mediante ensayos en reactores batch.
- Realizar el diseño de una planta de tratamiento modular, determinando superficie necesaria, requerimientos constructivos y de operación

METODOLOGIAS EMPLEADAS Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Planta piloto tipo wetland artificial

La planta piloto consiste en un wetland artificial o lecho de secado de 0.9 m², cultivado con plantas de tipo palustres nativas de la especie *Typha augustifolia*, calculada según recomendaciones de EAWAG/SANDEC¹. En el Gráfico 1 se presentan los parámetros de diseño:

Gráfico 1. Criterios de Diseño de la Planta Piloto tipo Wetland

Carga superficial	250 kg ST/m ² /año
Ciclo de carga/ aplicación	2/semana
Caudal/ aplicación	130 lts/ aplicación
Carga ST/ aplicación	1 kg ST/ aplicación

El sistema está constituido por:

- Sistema Vegetal: *Typha augustifolia*.
- Manto filtrante: formado por una capa superior de arena fina de 10 cm de espesor, 15 cm de piedra partida de 20 mm de diámetro y 5 cm de piedra partida de 50 mm.
- Sistemas de ventilación compuestos por 4 caños de polipropileno de 1"
- Sistema de recolección de líquidos percolados conformado por 4 caños de polipropileno perforados y caño colector de 2" del mismo material y válvula reguladora. El sistema se apoya sobre una capa de piedra partida de 20 mm de diámetro.
- Tanque colector de líquidos lixiviados

Se efectuaron dos cargas semanales de LF crudos (sin tratamiento) realizándose análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del líquido crudo y del efluente de la planta piloto según "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA-AWWA-WPCF)".20th Ed. Se evaluó desempeño de la planta para diferentes condiciones de operación: cargas de sólidos, período de estancamiento y calidad de líquido afluente.

Lodos deshidratados en el wetland

Se realizaron análisis físico químicos, bacteriológicos y parasitológicos de los lodos deshidratados depositados en el wetland a efectos de evaluar su aptitud sanitaria y agronómica.

Ensayos de tratabilidad de líquidos lixiviados

La evaluación de la degradabilidad de los efluentes líquidos del humedal se efectuó en 2 reactores batch: uno conteniendo el líquido solo y en el segundo se sembraron plantas flotantes autóctonas comúnmente denominadas "repollito de agua" (*Pistia stratiotes*).

Se realizaron mediciones in situ de pH, temperatura y oxígeno disuelto y, en el laboratorio de DBO₅ a intervalos de tiempo definidos. En base a los resultados se determinaron: tiempos de retención mínimos requeridos y porcentajes de remoción de DBO₅ esperados.

Diseño de la planta de la planta de tratamiento

Sobre la base de las experiencias piloto se efectuó el diseño de la planta de tratamiento de LF.

RESULTADOS OBTENIDOS

PLANTA PILOTO TIPO WETLAND ARTIFICIAL

Caracterización de Líquidos Afluentes (Lodo Fecal) y Efluentes (lixiviados)

En el Gráfico 2 se presentan valores máximos, mínimos y medios de los lodos fecales provenientes de camiones atmosféricos que fueron tratados en la planta piloto tipo wetland.

¹Faecal Sludge Treatment and Management: Constructed Wetlands for Septage Treatment Water and Sanitation in development Countries-Towards Effective faecal Sludge Management (Thammarat Koottatep, Chongrak Polprasert, Nguyen Thi Kim Oanh, Narong, Surinkul, Agnes Montangero and Martin Strauss)

Gráfico 2. Caracterización del Lodo Fecal (líquido afluyente)

- Se debe destacar la gran variabilidad de la calidad de los líquidos transportados por camiones atmosféricos.
- Elevado contenido de sólidos: los LF aportan 85 litros de sólidos sedimentables/m³ efluente, 5.7 kg. de Sólidos Totales/m³ y 3.8 kg de Sólidos Suspendedos /m³ efluente.
- La conductividad eléctrica promedio (8.55mS/cm) evidencia el alto contenido de sales. La concentración de N-amonio es del orden de 737 mg/l

Parámetro	Unidad	Rango	Promedio
pH		7.4 - 8.3	7.8
CE	mS/cm	3.94 – 14.24	8.55
ST	mg/l	1246 - 13478	5733
SF	mg/l	656 – 4358	2311
SV	mg/l	426 – 9602	3046
SST	mg/l	492 – 11854	3750
SS30'	ml/l	1.5 – 300	85
DQO	mg/l	1316 – 25000	6671
DBO5	mg/l	750 – 4095	2208
N-Amonio	mg/l	235 – 1490	737
BCF	NMP/100ml	2400 – 2.4 E 8	2.6 E 7

En el Gráfico 3 se presenta la caracterización de los efluentes líquidos del wetland:

Gráfico 3. Caracterización del Efluente (Lixiviados)

Parámetro	Unidad	Rango	Promedio
pH		7.1 – 7.7	7.4
CE	mS/cm	2.29 – 10.3	5.22
ST	mg/l	1112 - 3752	2339
SF	mg/l	934 – 2818	1681
SV	mg/l	360 - 3240	903
SST	mg/l	84 – 366	230
SS30'	ml/l	<0.1	<0.1
DQO	mg/l	170 – 1161	715
DBO5	mg/l	148 – 594	403
N-Amonio	mg/l	145 – 820	330
BCF	NMP/100ml	230 – 2.4 E 5	2.6 E 4

En las figuras 1 y 2 se representan los valores de sólidos suspendidos y DQO para el líquido afluyente y efluente de la planta piloto para las diferentes corridas efectuadas, se concluye que: la calidad del efluente no es uniforme ya que guarda relación con la calidad del líquido afluyente que presenta gran variación en cuanto al contenido de sólidos, materia orgánica y amonio.

Figura 1. Sólidos Suspendedos Totales

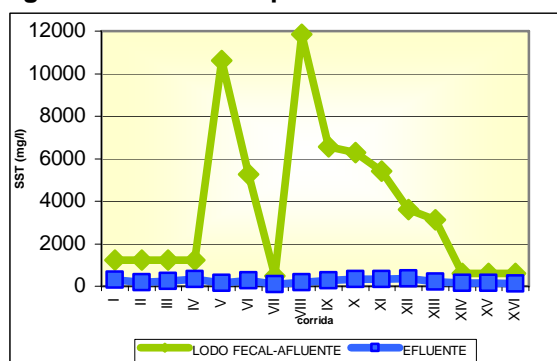
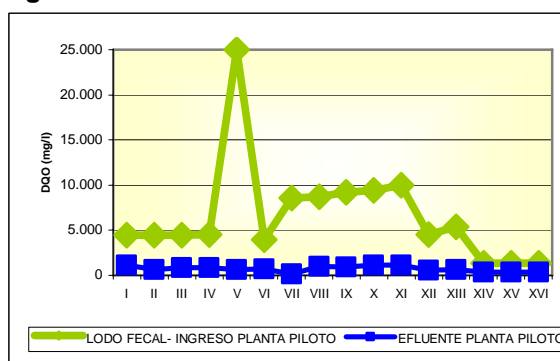


Figura 2 . DQO



Remoción del Sistema

En el gráfico nro. 4 se presentan porcentajes de remoción promedio de la planta piloto. Se deduce que:

Gráfico 4 . Porcentajes de Remoción del sistema

- Se destaca la remoción superior al 99,9% de sólidos sedimentables y del 94% de los sólidos suspendidos
- Las remociones promedio de materia orgánica es del 89% medida como DQO y del 82% como DBO5; el N-Amonio es removido en un 55%
- El líquido efluente (lixiviado) presenta características similares a un líquido cloacal crudo concentrado

ST	59 %
SF	27 %
SV	70 %
SST	94 %
SS30´	>99.9 %
DQO	89 %
DBO5	82 %
N-Amonio	55 %
BCF	99.9 %

Aclimatación de las plantas:

Las hojas y tallos de las Typhas sembradas al inicio de la operación se tornaron amarillas, algunas fueron replantadas, pero luego de aproximadamente 50 días crecieron brotes que se adaptaron a los líquidos tratados. Resultó evidente la sensibilidad a las altas concentraciones de sales disueltas, especialmente amonio que resultan tóxicas.

Condiciones Operativas:

En la figura 3 se representan los porcentajes de remoción del sistema calculados en ensayos realizados con líquidos afluentes de idéntica calidad para cargas de sólidos de 40, 70 y 100 kg ST/m2/año. Se evidencia la escasa variación de los porcentajes de remoción para diferentes cargas de sólidos.

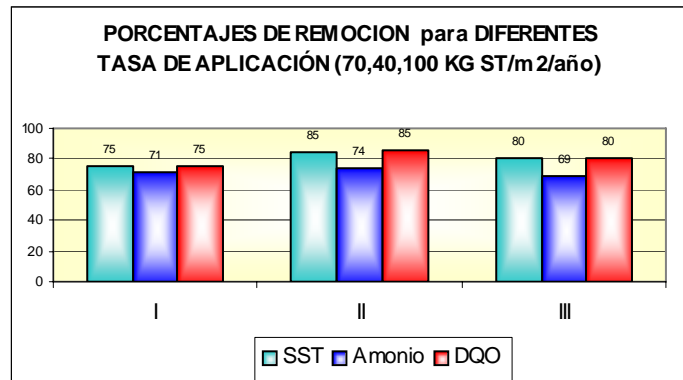


Figura 3. % Remoción para Diferentes Tasas de aplicación (40, 70, 100 kg ST/m2/año)

Desempeño de la planta variando el período de estancamiento (para igual calidad de líquidos afluentes): se hallaron remociones similares de sólidos y materia orgánica operando la planta sin estancamiento y con estancamiento de días. Se recomienda continuar ensayos para determinar si es posible mejorar la remoción de N de Amonio para períodos de estancamiento de 4 - 6 días. (Figura 4)

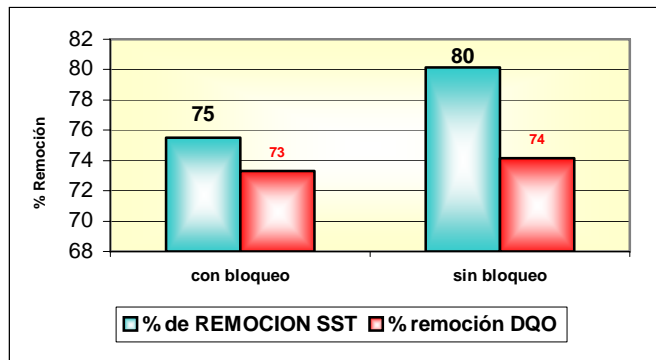


Figura 4. Porcentajes de Remoción de SST y DQO Variando el Bloqueo del Líquido Percolado

5. Lodos acumulados

Al término de la experiencia se depositaron 40 m3 lodos/1000m³ de efluente, con las siguientes características: Humedad:55%; Cenizas:36%; pH:7.4 ;conductividad eléctrica: 1065 μS/cm .

Transcurridos tres meses de la última carga, se determinó que el volumen promedio de lodos acumulados era de 39 m3/1000 m3 de efluente, es decir que se alcanzó una reducción del 2.5%.

En el Gráfico 5 se presenta la caracterización de los lodos deshidratados depositados en el humedal a 3 meses de finalizada la experiencia.

Gráfico 5. Caracterización de Lodos Deshidratados Acumulados

		Contenido	Interpretación*
PH		6,76	muy levemente ácida
Humedad	%	7,95	
Fósforo extraíble	ppm	924,97	muy alto
Calcio	meq/100g	16,09	rico
Magnesio	meq/100g	3,95	bien provisto
Potasio	meq/100g	1,97	muy rico
% de Materia Orgánica	%	11,83	rico
Nitrógeno	%	0,46	Muy bueno

*Fuente: Demolon. Dinámica de Suelo, 1965

- De acuerdo a tablas de rangos interpretativos del contenido de nutrientes, se puede concluir que los lodos poseen un muy alto contenido de fósforo, la cantidad de Nitrógeno es muy buena, son ricos en calcio y muy ricos en potasio y están bien provistos de Magnesio. El pH resulta ser levemente ácido, es decir que serían aptos desde el punto de vista agronómico.
- El bajo contenido de humedad favorece la manipulación del lodo

La aptitud sanitaria fue evaluada a través de análisis bacteriológicos y parasitológicos:

- El contenido de bacterias coliformes fecales fue de 1340 NMP BCF/g seco, de acuerdo a la 40 CFR 503 (EPA) corresponde a un biosólido Clase "B" (< 2.000.000 NMP/g seco)
- En las muestras analizadas no se detectaron huevos de parásitos, hallándose larvas de vida libre, por lo cual es conveniente continuar las investigaciones para detectar la presencia/ ausencia de los mismos.

ENSAYOS DE TRATABILIDAD DE LÍQUIDOS LIXIVIADOS DE LA PLANTA PILOTO TIPO WETLAND EN REACTORES BATCH (CON Y SIN PLANTAS FLOTANTES)

Se seleccionó para la experiencia la especie *Pistia stratiotes* teniendo en cuenta que: a) se trata de una especie autóctona, b) dados los antecedentes del uso de esta especie en la purificación de aguas residuales y c) por su capacidad para remover Nitrógeno y Fósforo (Brumer, 2000- Tripathi et al, 1991).

Las macrófitas sembradas en el lixiviado proveniente del humedal artificial se adaptaron inmediatamente, no se apreciaron efectos de marchitamiento de las plantas.

- En la experiencia con macrófitas se observa un importante decaimiento de la DBO₅ a los 7 días de iniciada la experiencia (47% de remoción de DBO₅ soluble), a continuación la tasa de decaimiento resulta más lenta.
- Reactor batch sin macrófitas: se pudo apreciar un decaimiento gradual, al finalizar la misma la DBO₅ soluble del efluente fue de 40 mg/l, un 70% superior a la obtenida en el reactor con macrófitas.
- Los porcentajes de remoción alcanzados (DBO₅ soluble final respecto de la DBO₅ total inicial) fueron del 90% para reactor sin macrófitas y del 93% en el reactor con macrófitas.

La evolución de la DBO₅ se halla representada en la figura 5.

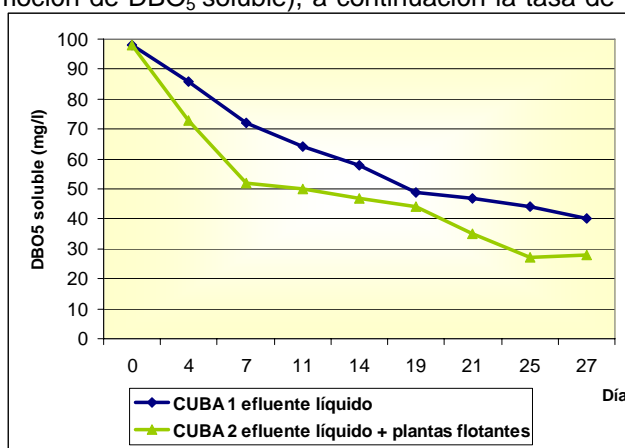


Figura 5. Evolución de la DBO₅ en reactores batch

DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO MODULAR

Sobre la base de la experiencia piloto se efectuó el diseño de la planta de tratamiento para recibir 50 m³/d de LF. En el Gráfico 6 se presenta la caracterización de la descarga

Gráfico 6. Caracterización de las descargas.

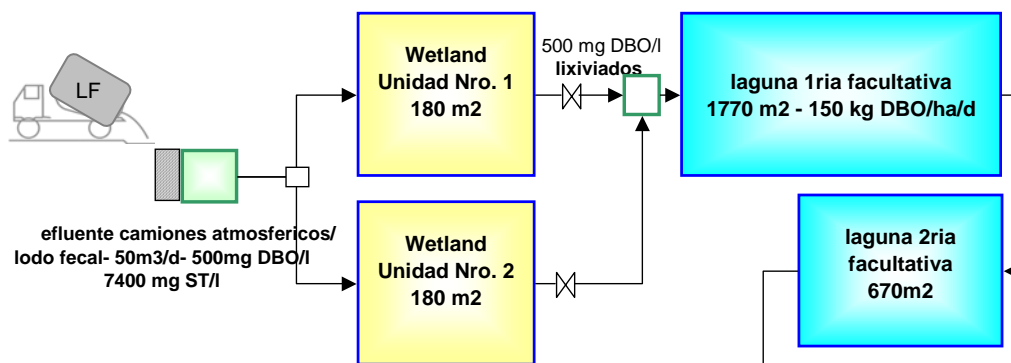
DBO ₅	mg/l	2500
Carga orgánica	kg DBO/día	125
Contenido de sólidos (promedio)	mg/l	7400

La planta modular proyectada consta de:

- Cámara receptora de los líquidos provista de sistema de rejillas
- Humedal Artificial (lecho de secado cultivado). Cantidad: 2 unidades
- Cámara recolectora de lixiviados.
- Sistema de Tratamiento de Líquidos (Lixiviados) constituido por 2 lagunas facultativas seriadas y una laguna terciaria/ maduración (alternativa)

En la Figura nro. 6 se presenta un esquema con el tratamiento propuesto:

Figura 6. Esquema de Planta de Tratamiento de LF



En el Gráfico 7 se presenta la memoria técnica del Humedal Artificial/ Playas de Secado Cultivadas

Gráfico 7. Humedal Artificial: Memoria Técnica

Carga de sólidos	kg ST/m2/año	250
Carga anual	kg SS/ año	88800
Superficie requerida	m2	355
Cantidad unidades requeridas		2
Superficie unitaria	m2/wetland	178
Ancho- Largo	M	13.3
Profundidad total	M	1,9
Acumulación anual promedio de sólidos	m/ año	0,3
Ciclo de operación (vaciado)	Años	3,0
Volumen de lodo estimado a extraer	m3/3años	150

El diseño del **Sistema de lagunas de Estabilización para el tratamiento de los Líquidos lixiviados del Humedal** fue realizado según recomendaciones indicadas en la carrera de Especialización en Aguas y Efluentes dictada por el Centro de Ingeniería Sanitaria (Universidad Nacional de Rosario). En el gráfico nro. 8 se resume la memoria de cálculo.

Gráfico 8. Lagunas de Estabilización: Memoria Técnica

Laguna Primaria Facultativa		
Caudal diario	m3/d	50
DBO5 estimada	mg/l	500

Carga orgánica	kg DBO ₅ /día	25
Carga superficial adoptada	kg DBO ₅ /ha/d	150
Superficie requerida	m ²	1667
% Remoción de DBO ₅	%	60
DBO total salida lagunas primarias	mg/l	200
Laguna Secundaria		
carga orgánica unitaria	kg DBO ₅ /día	10
carga superficial	kg DBO ₅ /ha/d	150
superficie requerida	m ²	667
DBO total salida laguna secundaria	mg/l	50
% Remoción de DBO ₅	%	75

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de la experiencia piloto evidencian que los wetlands artificiales o playas de secado cultivadas constituyen una alternativa económica y ambientalmente válida para el tratamiento de LF, con porcentajes de remoción promedio de sólidos sedimentables del 99,9%, DBO₅: 82% , DQO: 89% y 99.9 % de BCF.

Las ventajas de los mismos están dadas por

- La operación sencilla
- La capacidad para asimilar líquidos afluentes de gran variabilidad de cargas orgánicas, de sólidos y nutrientes en general.
- Obtención de lodos deshidratados fácilmente manejables y de una aptitud agronómica recomendable ya que poseen un muy alto contenido de fósforo, la cantidad de Nitrógeno es muy buena, son ricos en Calcio, muy ricos en Potasio y están bien provistos de Magnesio. Desde el punto de vista sanitario se encuadran dentro de los biosólidos clase "b" según la normativa aplicable de la EPA.
- Los efluentes líquidos (lixiviados), con prácticamente nulo contenido de sólidos sedimentables, presentan características de un líquido cloacal crudo concentrado; los mismos pueden ser tratados bajo sistemas biológicos con o sin plantas flotantes con buenas remociones de materia orgánica (90% de DBO₅) y contenidos de DBO₅ soluble del orden de 40 mg/l.

Como alternativa de tratamiento para 50 m³ de líquidos transportados por camiones atmosféricos (lodos fecales), con un promedio de 7400 mg ST/l, se propone un sistema conformado por dos humedales artificiales o playas de secado cultivadas con *Typhas augustifolia* de 178 m² de superficie unitaria y, para la depuración de los efluentes líquidos o lixiviados de cada humedal: dos lagunas de estabilización de tipo facultativas, en serie de 1700 y 670 m² respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. INGALLINELLA, FERNÁNDEZ, SANGUINETTI, STRAUSS, MONTANGERO. Lagunas de estabilización para descarga de líquidos de camiones atmosféricos. Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS Argentina, Nro 54 y 55. 2001.
2. MONTANGERO, A. INGALINELLA, A. THAMMARAT, K. LARMIE, S. Cuando los tanques sépticos están llenos- el desafío del manejo de lodos fecales. 11º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. 10-12/05/2000. Mendoza. Argentina.
3. RIBEIRO MENESES,C. DURANTE INGUNZA, MA. NOBRE DE FARIAS, N. JACOME DA CAMARA, A. Caracterizacao fisico química e biológica dos residuos de sistemas tipo tanque séptico sumidouro da cidade do Natal .Water Reuse (Second Edition) Manual of Practice SM-3.
4. Avaliaco de metodología para controle do recebimento de efluentes no domésticos en sistema publico de esgostos. 20 vo. Congreso Brasileño de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
5. ARQUIER, M. Gestión del Sistema de Líquidos Cloacales. Caso de Estudio: Curuzú Cuatiá. Tesis de Maestría. U.N.N.E.. Fac de Arquitectura y Urbanismo. Resistencia. 09-11-05.