

Landfill leachate treatment by technological coupling of High Rate Anaerobic Pond-BLAAT® and Subsurface horizontal flow constructed wetlands

INGENIERÍA AMBIENTAL

Tratamiento de lixiviado de relleno sanitario mediante acople tecnológico de Biorreactor Laguna Anaerobia de Alta Tasa-BLAAT® y Humedal Construido Subsuperficial de Flujo Horizontal sembrado con policultivos

Carlos A Madera-Parra^{1§}

¹*Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR), Cali, Colombia*

[§]*carlos.a.madera@correounivalle.edu.co*

Recibido: 18 de diciembre 2019 – **Aceptado:** 07 de febrero de 2020

Abstract

Landfill leachate is a residual liquid with a great eco-toxicological potential that is generated as a product of the mixture of rainwater that is infiltrated in the buried solid waste, of assisted water by biochemical processes inside the landfill and of water content from the waste itself. Eco-technologies (constructed wetlands, algae ponds) have been used for landfill leachate treatment due to ecological and environmental advantages with quite promising results. In this sense, the present research carried out in 2015 in Presidente Landfill, San Pedro municipality, Valle del Cauca, Colombia, was oriented to evaluate at pilot scale the coupling technology Biorreactor High Rate Anaerobic Pond-BLAAT® + constructed wetlands planted with polyculture of tropical species *Colocasia*, *esculenta-Ce*, *Heliconia psittacorum-He* y *Gynerium sagittatum-Gs*, for the treatment of landfill leachate under American tropical conditions. This work makes available a series of field data on the quality of raw leachate and effluent from each treatment technology, showing the performance of the coupling, which may contribute to the establishment of conditions and scenarios for the treatment of this in populations that have cultural and environmental conditions similar to the area of this study.

Keywords: BLAAT Bioreactor, Constructed wetland, Landfill leachate, Phytoremediation, Polyculture.

Resumen

El lixiviado de relleno sanitario (LX), es un líquido con un gran potencial eco-toxicológico que se genera como producto de la mezcla de agua lluvia que percola por el relleno y tiene contacto con el residuo sólido (RS) allí depositado, agua producida de la biodegradación de los residuos y el agua propia que contienen los residuos. El uso de eco-tecnologías (humedales construidos, lagunas algales) por las grandes ventajas ecológicas y ambientales exhibidas, han comenzado a emplearse en el tratamiento de LX con resultados bastante alentadores. En este sentido, la presente investigación desarrollada en el relleno sanitario de Presidente, municipio de San Pedro, Valle del Cauca, Colombia en el 2015, estuvo orientada a evaluar a escala piloto el uso del acople eco-tecnológico Biorreactor Laguna Anaerobia de Alta Tasa BLAAT® + humedal construido (HC) sembrado con policultivos de las especies tropicales *Colocasia esculenta-Ce*, *Heliconia psittacorum-He* y *Gynerium sagittatum-Gs*, para el tratamiento de LX bajo condiciones del trópico americano. Este trabajo coloca a disposición una serie de datos de campo sobre la calidad del lixiviado crudo y del efluente de cada unidad de tratamiento, mostrando el desempeño del acople, lo que puede contribuir al establecimiento de condiciones y escenarios para el tratamiento de este en poblaciones que dispongan condiciones cultural y ambiental similares a la zona del presente estudio.

Palabras claves: Biorreactor BLAAT®, Fitorremediación, Humedal construido, Lixiviado, Policultivo.

1. Introducción

El lixiviado (LX) de relleno sanitario es un líquido con un gran potencial eco-tóxico que se genera como producto de una mezcla del agua lluvia que percola por el relleno y tiene contacto con el residuo sólido allí depositado, del agua producida de la biodegradación de los residuos y el agua propia que contienen los residuos ⁽¹⁾. La presencia de agua permite una combinación de procesos físicos, químicos y microbiológicos para transferir contaminantes de la matriz sólida a líquida, resultando así la formación del LX.

La predicción exacta de la composición y poder contaminante del LX de un relleno a lo largo de su vida útil, es bastante difícil, debido a los complejos procesos químicos y biológicos que ocurren en el sistema, producto de la descomposición de los residuos sólidos ^(2,3,4).

Esta condición ha llevado a establecer tres tipos de LX acorde con la edad del relleno, LX joven (<5 años) que se caracteriza por alta DBO₅ (> 10000 mg l⁻¹), DQO (>30000 mg l⁻¹), amonio (500-1000 mg l⁻¹), DBO₅/DQO (> 0.5), pH bajo (4-5) y gran contenido de ácidos grasos volátiles; LX intermedio (5-10 años), cuyas principales características son pH neutro (pH 6.5-7.5), baja

DQO (4000-10000 mg l⁻¹), relación DBO₅/DQO (<0.5), bajo contenido de metales pesados y donde del contenido de materia orgánica, el 30% es refractaria (húmicos y fúlvicos); y LX maduro (>10 años), que se caracteriza por ser alcalino (pH > 7.5), baja DQO (< 4000 mg l⁻¹), alta concentración de amonio (1500-2000 mg l⁻¹), DBO₅/DQO baja (<0.1), presencia de metales pesados y otros compuestos refractarios y xenobióticos ^(4,5), planteándose así, grandes retos para su tratamiento, por lo que es de gran utilidad poder disponer de información sobre la calidad de LX antes y después de un tratamiento en países del trópico americano que pueda ser empleada como referente o guía en otros lugares con ambientes y cultura similar para definir la opción tecnológica de mayor potencial para el tratamiento de este residuo y donde la consecución de información además de dispendiosa puede ser de alto costo.

En el caso específico de Colombia, los rellenos sanitarios además de ser el sistema de disposición final de residuos sólidos más empleado en el país, estos sitios presentan una serie de problemas, entre los cuales se destaca el bajo o nulo tratamiento de los lixiviados ⁽⁶⁾, por lo que es de gran utilidad brindar información sobre el desempeño de sistemas de tratamiento

de LX, que puedan ser tomados como referentes en localidades donde se están tomando decisiones sobre el manejo de este residuo líquido.

2. Metodología

La investigación se realizó durante 29 semanas en las instalaciones del Relleno Sanitario Regional de Presidente, ubicado en la vereda Arenales, corregimiento de Presidente, municipio de San Pedro, Valle del Cauca-Colombia (3°56'01.54"N, 76°26'26.05"O). En este relleno se disponen aproximadamente 520 t.d⁻¹ de residuos sólidos principalmente domésticos, donde cerca del 77% es materia orgánica y se generan entre 2 y 5 l s⁻¹ de lixiviado ⁽⁷⁾.

El BLAAT[®] (Bioreactor Laguna Anaerobia de Alta Tasa) es un reactor anaerobio de geometría rectangular y consta de una Cámara de Mezcla (CM) que es una tubería de 0.5 m de diámetro y 4.5 m de largo, por la cual el agua fluye de manera ascendente a través de un manto de lodos y una Zona de Sedimentación (ZS), donde a través de la sedimentación se busca retener el material sólido que logra escapar de la cámara de mezcla.

El reactor fue diseñado para trabajar bajo régimen continuo a gravedad, con una carga hidráulica superficial de diseño (CHS) de 11.8 m³m⁻² d⁻¹ y carga orgánica volumétrica (COV) de 2.6 kg DQO m⁻³d⁻¹. El caudal de diseño del sistema fue de 1.4 l min⁻¹ (2 m³ d⁻¹), una velocidad ascensional de 0.5 m h⁻¹ y un Tiempo de Retención Hidráulico total (TRH) de 16 horas.

Cuatro humedales construidos subsuperficiales de flujo horizontal (HCSFH) a escala piloto fueron construidos en concreto (Canales rectangulares 7.8x2.3x0.7 m largo, ancho y

profundidad, respectivamente), 1% pendiente de fondo y lecho de grava de 0.6m de altura, los cuales operaron en paralelo, a gravedad a flujo continuo con un caudal de diseño ($Q=0.5 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$) y 7d de TRH teórico cada uno. Se utilizaron las especies: *Gynerium sagittatum* (Gs), *Heliconia psittacorum* (He) y *Colocasia esculenta* (Ce).

Tres HCHFS's fueron divididos en tres secciones de 5.98 m² cada una y se sembraron 36 individuos de una misma especie por sección (densidad 6 plantas m²); la otra unidad, se plantó aleatoriamente con igual número de individuos por especie. La distribución de las unidades y de las especies vegetales en los biorreactores se hizo aleatoriamente a través del software R versión 2013. La configuración final fue: HC- I (He-Ce-Gs); HC- II (al azar), HC- III (Ce-Gs-He), HC- IV (Gs-He-Ce). Los HC's recibieron el efluente del Bioreactor BLAAT[®] y el caudal de entrada fue controlado hidráulicamente mediante vertederos triangulares de lámina delgada y válvulas.

El diseño experimental de este estudio se estableció principalmente para los humedales construidos ya que estos fueron la tecnología central de la investigación. En el caso del BLAAT[®], se hizo un trabajo observacional, tomando datos a la entrada y salida de la unidad, conformando medidas apareadas sobre las cuales se efectuó el seguimiento a través del tiempo.

De esta manera para el caso del reactor BLAAT[®], que presentó mediciones de entrada y salida en la unidad, se utilizó una prueba estadística de comparación de poblaciones apareadas, tomando el tiempo como la unidad de apareamiento de los datos y comparando la entrada versus la salida a través de un test T-Student si se presenta cumplimiento de la normalidad, o un test de Wilcoxon para la no normalidad de los datos.

En el caso de los HCSFH, en primer lugar, se hizo una asignación aleatoria de los tratamientos (configuración de las especies vegetales dentro de la unidad), bajo la siguiente restricción, uno de los humedales presentó un patrón de ubicación de las especies vegetales completamente aleatorio, mientras que los tres (3) restantes presentaron una estructura sectorizada. El ejercicio de asignación del tipo de humedal a la unidad experimental se realizó mediante el procedimiento de muestreo. A cada humedal se le efectuó el seguimiento de su desempeño en el tiempo a través de la evaluación de las variables principales en cuatro puntos en cada bioreactor (entrada, punto intermedio 1, 2) y la salida, conformando de esta manera conjuntos de cuatro medidas seguidas tomadas en el mismo tiempo (día de monitoreo).

El diseño experimental en los HC's fue de bloques, dado que en esta investigación no fue posible contar con réplicas y en donde se tomó como factor principal al tipo de humedal (I, II,

III, IV) y el factor bloque correspondió al factor temporal de las mediciones.

La prueba Shapiro-Wilk fue usada para comprobar el supuesto de normalidad, ya que el número de réplicas o el tamaño del experimento se consideró pequeño y además que se puede validar la utilización de la prueba F en el Anova resultante para el diseño de bloques y garantizar así la confiabilidad de los resultados. Igualmente, se validó la homogeneidad de varianzas. Dado que los supuestos no se cumplieron, como medida alternativa se empleó el test no paramétrico de Friedman (test sobre k poblaciones relacionadas) que se basa en el contraste de igualdad de las medianas.

Para las dos tecnologías del acople, diariamente se midieron en campo los parámetros pH, CE, ORP, OD y T °C fueron medidos en sitio durante las 29 semanas del trabajo experimental, empleando medidor multiparamétrico WTW Modelo 340i. La Tabla 1, contiene los parámetros medidos en el estudio, la técnica de determinación y la frecuencia de medición.

Tabla 1. Medición de las variables de respuesta

Parámetro	Unidad	Método	Código APHA	Frecuencia
Carbono Orgánico Disuelto (COD)	mg.l ⁻¹	Combustión- Infrarrojo	5,310-B	3/ Semana
Demanda Química de Oxígeno Total (DQOT)	mgO ₂ .l ⁻¹	Reflujo cerrado	5,220-D	1/ Semana
Demanda Química de Oxígeno Filtrada (DQOF)	mgO ₂ .l ⁻¹	Reflujo cerrado	5,220-D	1/ Semana
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ .l ⁻¹	Oxitop (respirométricos)	5,210-B	2/ Mes
Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK)	mg.l ⁻¹	Macro-Kjeldhal	4,500-B	1/ Semana
Nitrógeno Amoniacal	mg.l ⁻¹	Titulométrico	4,500-C	1/ Semana
Nitratos	mg.l ⁻¹	Electrodo de nitratos	4,500-D	1/ Semana
Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	meq.l ⁻¹	Titulación	-	1/ Semana
Sulfatos	mg.l ⁻¹	Turbidimétrico	4,500- SO4 E	1/ Semana
Fosfatos (P-PO ⁴ - ₃)	mg.l ⁻¹	Cloruro estañoso	4,500-P	1/ Semana
Hierro	mg.l ⁻¹	Fenantrolina	3,500-Fe B	1/ Semana
Sólidos Suspendidos Totales	mg.l ⁻¹	Gravimétrico	2,540 G	1/ Mes (3 al inicio y final)
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg.l ⁻¹	Gravimétrico	2540 G	1/ Mes (3 al inicio y 3 al final)

3. Resultados

Las Tablas 2 a la 9 presenta los datos de la calidad del lixiviado crudo y efluentes para cada una de las tecnologías estudiadas.

Tabla 2. Calidad afluente Bioreactor Laguna Anaerobia de Alta Tasa-BLAAT® (mg l⁻¹)

Semana	COD	DQO _T	DQO _F	DBO ₅	NTK	Amonio	N0 ₃ ⁻	Fosfatos	Sulfatos	Hierro	AGV's
1	252	644	609	180	491	468	2.4	4	*	12.9	280
2	270	719	682	*	378	285	10	17.8	*	4.3	250
3	513	845	701	*	420	331	14	2.3	*	7.3	260
4	209.7	703	639	*	275	252	14	5	*	6.6	230
5	271	676	614	20	455	327	2	11.7	47	12	215
6	319	651	302	*	366	303	1.9	12	32	2	240
7	374	768	538	*	378	266	8.6	5.6	50	5.9	175
8	349	483	379	*	252	201	5.6	7	602.4	2.6	300
9	182	448	398	170	252	224	35	5.6	532	3	213
10	242	389	379	270	434	*	51	8.9	172	3.8	311
11	227	633	626	*	285	233	10	6.8	319	5.6	653
12	400	951	909	200	220	215	*	12.7	86	4.3	223
13	297	787	605	200	382	280	1	11.6	33	4.3	218
14	279	1151	669	190	259	178	1	6.4	142	8.3	239
15	316	769	629	120	191	177	0.3	3	50	12	236
16	317	883	883	*	378	247	10	2.9	37	3.3	337
17	253	851	649	190	201	168	11	3	38	4	233
18	208	904	541	*	219	182	4.4	2	95.4	2.6	202
19	161	426	386	*	185	145	4.9	1.9	38	6	177
20	121	417	251	*	177	159	2.4	4.3	33.4	1	197
21	106	525	375	160	224	126	2	2.7	32	7.3	178
22	148	566	492	*	117	131	3.5	4.4	211.7	1.8	583
23	196	570	419	*	231	145	3	5	80	15.4	470
24	245	579	385	*	329	168	2.7	6	154	19.3	283
25	186	571	319	90	322	308	7	7	119.8	1.3	247
26	175	681	461	*	279	245	1.8	9	100.4	8.3	320
27	681	827	423	*	222	177	1.5	8.5	123	4.6	*
28	502	628	412	*	350	210	4	8	58.4	2.3	198
29	744	599	328	500	265	186	2.5	5.4	75	1.6	179

*: sin dato

Tabla 3. Calidad efluente BLAAT® (mg l⁻¹)

Semana	COD	DQO _T	DQO _F	DBO ₅	NTK	Amonio	N0 ₃ ⁻	Fosfatos	Sulfatos	Hierro	AGV's
1	231	618	598	220	372	360	1.3	4	*	3.9	280
2	361	805	620	*	378	331	12	6.9	*	0.2	370
3	305	826	516	*	413	191	11	0.6	761	0.8	260
4	288	525	477	*	287	269	14	4.6	*	0.6	200
5	249	598.5	489	20	406	275	1.7	8.8	54	4.2	230
6	252	698	339	*	385	299	2.4	9.9	33	0.7	210
7	279	755	475	*	224	163	9.6	8	64	2.8	60
8	259	354	343	*	294	247	11	3.5	456	1.9	104
9	178	385	354	170	308	214	40	6	238	2	115
10	199	453	383	70	420	*	33	6.6	35	2.4	293
11	333	761	689	*	178	154	23	9	470	3	191
12	406	849	733	230	234	201	*	14.3	71	2.9	142
13	267	699	504	200	378	303	1.3	18.1	47	2.9	214
14	339	996	992	220	254	163	1.3	8.4	45	0.8	340
15	303	726	581	140	266	212	0.7	3.9	34	3.2	200
16	291	777	561	*	294	210	10	28	33	1	223
17	202	809	599	250	186	159	11	2.9	38	1.7	170
18	242	761	463	*	197	210	5.2	3.7	48	2.4	223
19	163	663	451	*	186	140	4.9	2.8	38	1	229
20	94	305	191	*	159	140	1.3	3.4	33	0.4	206
21	82	362	297	50	189	98	1.8	3.6	33	1.5	169
22	99	318	212	*	103	112	3.2	3.6	211	0.9	195
23	203	618	458	*	196	131	3	4.3	45	9.4	493
24	209	518	331	*	252	149	2.9	7.3	73	10.4	189
25	174	627	317	10	231	231	1.6	7.6	113	0.9	161
26	244	488	432	*	267	236	1.4	6.8	87	4.6	330
27	278	776	417	*	191	201	1.5	5.6	93	1.7	*
28	263	635	313	*	266	185	1.7	6.8	48	0.2	173
29	306	499	298	490	245	167	1.5	5.6	42	0.9	145

*: sin dato.

Tabla 4. Parámetros de Sitio en el afluente y efluente (pH, temperatura y OD) Humedal Construido Subsuperficial de Flujo Horizontal-HCSFH (No se tuvo lectura semana 29)

Semana	pH (Unidades)					Temperatura (°C)					Oxígeno disuelto (mg/l)				
	AFL- HC	EFL- HC-I	EFL- HC- II	EFL- HC- III	EFL- HC- IV	AFL- HC	EFL- HC-I	EFL- HC- II	EFL- HC- III	EFL- HC-IV	AF L- HC	EFL- HC-I	EFL- HC- II	EFL- HC- III	EFL- HC- IV
1	8.4	8	7.9	8	8	29.3	26.9	27.8	29.5	28.7	0.4	4	0.5	5.3	5.3
2	8.4	8.4	7.9	7.8	8.3	29.9	30.4	29.1	28.8	28.8	0.3	1.4	1.2	1.6	1.6
3	*	7.8	7.8	8.1	7.8	*	25.7	25.9	26.1	25.4	*	0.6	0.6	1.9	1.9
4	8.2	7.7	7.7	7.7	7.4	27	26	25.3	25.8	25.4	*	3.1	1.6	2	2
5	8.3	7.9	7.9	7.8	7.8	27.8	26.2	26.3	26.5	27.6	*	*	*	*	*
6	8.2	7.7	7.7	7.7	7.6	30.1	30.1	28.4	29	28.1	*	*	*	*	*
7	8.3	8	7.9	7.9	7.9	28.5	26.8	27.5	27.6	28.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
8	8.1	7.9	7.9	7.8	7.6	28.9	28	27.3	27.3	26.6	1.2	1.7	0.9	1.2	0.8
9	8.2	7.5	7.8	7.8	7.8	27.5	26.6	26.6	26.9	25.9	*	*	*	*	*
10	7.8	6.8	7.1	7.1	7	24	22.8	22.8	22.8	22.3	*	*	*	*	*
11	8.2	7.9	8	7.9	7.9	27.5	25.9	25.9	26	26	0.7	0.4	0.7	0.9	0.6
12	8.2	8	8	8	7.8	28.9	26.5	26.9	27.1	27.1	0.2	0.7	1.6	1.2	1.8
13	8.1	8	8	7.9	7.9	27.7	29.8	30.1	29.7	28.6	0.3	0.5	0.3	0.2	0.9
14	8.1	7.9	8	7.9	7.8	29	27.3	27.5	27	27.2	0.6	0.9	2.2	1.6	0.8
15	*	*	*	*	*	25.4	25	25.4	25.5	25.7	0.6	1.5	1.9	2	2.7
16	*	9.2	9.3	9.3	9.3	26	27.3	25.5	25.7	26.1	0.2	2.9	2.4	2.4	1.8
17	*	*	*	*	*	28.1	26.9	27.3	*	26.8	0.3	2.6	1.4	0.9	0.6
18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	8.7	8.4	8.5	8.2	8.3	28.1	27.4	27.3	27	26.7	0.4	0.8	0.5	1.3	0.9
21	8.5	8.5	8.4	8.4	8.1	27.6	26.9	26.1	27.6	27.2	0.4	3.4	3.5	1.3	4.3
22	9.5	9.1	9.2	9.1	8.8	27.5	25.7	25.7	27.3	25.9	*	*	*	*	*
23	8.7	8.4	8.8	8.7	8.8	30.1	28	28.2	28.2	28.6	2.7	2.9	2.1	2.4	3.2
24	8.3	8	8.2	8.1	8	28.5	24.9	25.2	27.8	28	*	*	*	*	*
25	8.7	8.4	8.4	8.4	8.1	25.8	25.8	26.1	26.4	26.5	3.8	1.2	1.3	1.9	2.9
26	8.8	7.9	8.1	8.2	8.1	28.5	27	26.5	27.2	27.7	2.8	1.4	0.3	0.8	1.5
27	8.6	8	7.9	8	8.2	30.4	27.9	27.9	28.1	28.7	0.3	1.1	0.9	0.6	0.3
28	8.6	8.3	8.1	8.2	8.3	28	26.1	26.3	26.1	26	0.4	1.2	1	0.6	0.4

*: sin dato.

Tabla 5. Parámetros de Sitio en el afluente y efluente (Redox y CE) HCSFH

Parámetro	Redox (mV)					Conductividad Eléctrica (mS/cm)				
	AFL- -HC	EFL-HC- I	EFL-HC- II	EFL-HC- III	EFL-HC- IV	AFL- HC	EFL-HC- I	EFL-HC- II	EFL- HC-III	EFL- HC-IV
1	-124	57	75	65	66	3.5	2.1	1.7	1.5	1.2
2	-31	112	18	75	111	5.4	1.9	2.7	2.5	1.2
3	*	*	*	*	*	*	2.9	3.2	3	2.3
4	*	*	*	*	*	4.6	3.2	3.8	3.7	2.4
5	*	*	*	*	*	6.1	3.8	3.9	3.5	2.8
6	*	*	*	*	*	5.3	4.3	4.4	4.4	3.8
7	-24	-175	-117	-172	-127	4.9	5.1	5	4.9	4.5
8	*	111	91	109	82	4.6	4.5	4.7	4.5	4.1
9	91	125	118	77	115	4.1	3.7	4.1	4.1	4.1
10	*	*	*	*	*	5.4	3.4	3.6	3.6	3
11	423	-111	-109	-34	-108	6.7	4.8	4.7	4.2	4.5
12	*	-54	101	82	-108	*	5.3	5.1	5	4.5
13	-5	-56	-172	-174	101	6.8	4.5	4.7	4.7	4.7
14	*	-21	-36	15	8	*	4.6	4.6	4.7	5
15	*	-20	-19	-13	-20	*	*	*	*	*
16	-14	35	40	44	48	4.6	4.1	4.2	4.2	4.3
17	51	-11	12	-13	60	5.5	3.9	3.9	3.8	3.9
18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	*	*	*	*	*	2.6	2.3	2.3	1.9	2.1
21	*	*	*	*	*	2.6	2.4	2.3	2.2	2.4
22	-171	-152	-154	-150	-134	3.2	2.7	2.5	2.2	2.5
23	-22	-4	-17	-16	-21	4.3	2.3	2.8	2.7	3
24	-93	-72	-86	-85	-84	4.2	2.6	3.4	3.2	3.5
25	-318	-304	-326	-323	-286	3.9	3.3	3.8	3.8	3.7
26	-194	-68	-75	-75	-72	3.6	2.9	3.4	3.7	3.8
27	-129	-58	-101	-83	-82	4.2	4	3.6	4.1	4
28	-167	-60	-112	-91	-90	6.2	4	4.1	4.3	4.5

*: sin datos

Tabla 6. Calidad afluyente y efluente HCSFH-I

Sena na	Humedal construido subsuperficial de flujo horizontal – HCSFH 1																					
	Caudales		COD		DQOt		DQOF		DBO5		P-PO4		NTK		N-NH4		N-NO3		SST		SSV	
	E ^A	S ^B	A ^C	Ef ^D	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef
l/min	l/min	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	0.6	0.42	230.9	86	617.7	167.4	597.7	141.3	220	60	4.2	0.3	372	238	360	238	1.3	1.3	86	82	78	68
2	0.6	0.42	361.3	*	805	269	620	198.3	*	*	6.9	0.6	378	112	331	112	12	11	92	*	78	*
3	0.4	0.36	304.9	128.9	825.8	339.4	516.4	245.8	*	*	0.6	0.8	413	224	191	224	11	10	143	*	127	*
4	0.5	0	288.1	264.6	525.4	350.2	477.1	269.1	*	*	4.6	2.1	287	224	269	224	14	15	142	*	122	*
5	0.3	0.29	249.3	157.4	598.5	447.8	489.5	348.8	20	80	8.8	2.8	406	119	275	119	1.7	1.7	146	104	132	94
6	0.4	0.24	251.7	198.7	698	531.6	339.4	506.1	*	*	9.9	4.4	385	266	299	266	2.4	2.2	134	*	112	*
7	0.4	0.3	279.3	271.8	754.7	693.1	475.1	619.9	*	*	8.1	4.6	224	196	163	196	9.6	13	*	*	*	*
8	0.4	0.25	259	171.5	353.9	360	343.4	357.4	*	*	3.5	3.5	294	238	247	238	11	22	108	*	88	*
9	0.3	0.29	178	150.8	385.1	392.6	354.1	311.8	170	70	6.1	3.6	308	175	214	175	40	39	82	88	68	72
10	0.3	0.2	199.8	169.2	452.6	398.5	382.6	383.1	*	*	6.6	5.4	420	252	159	252	33	29	122	*	104	*
11	0.4	0.24	332.8	175.6	760.6	332.6	689	310.1	*	*	9	4.5	178	196	154	196	23	34	114	*	84	*
12	0.4	0.3	405.7	245.5	849.4	690.5	732.7	464.2	*	*	14.3	6.3	234	273	201	273	79	50	150	*	114	*
13	0.4	0.3	266.8	286.4	698.8	405.6	503.6	381.3	200	110	18.1	8	378	336	303	336	1.3	1.2	122	116	120	92
14	0.4	0.29	339.3	242	996	698	991.5	556.5	*	*	8.4	5.1	254	308	163	308	1.3	0.8	124	*	98	*
15	0.4	0.29	302.6	201.8	725.6	493.2	581.2	375.7	*	*	3.9	2.4	266	238	212	238	0.7	0.8	104	*	102	*
16	0.3	0.26	290.6	154.5	776.9	460.5	561.4	235.6	*	*	2.8	*	294	182	210	182	10	8.9	98	*	86	*
17	0.4	0.28	202	188	808.5	494.1	612.5	345.5	250	70	2.9	1.6	186	177	159	177	11	11	98	82	90	58
18	0.4	0.08	241.8	161.7	760.8	440.8	463.3	355.3	*	*	3.7	2.3	197	160	210	160	5.2	5.7	128	*	100	*
19	0.4	0.3	162.7	161.1	663.1	517.8	450.5	398.4	*	*	2.8	2.5	186	182	140	182	4.9	5	26	*	26	*
20	0.3	0.2	94.1	98.5	304.5	243.5	191.3	161.8	*	*	3.4	2.8	159	140	140	140	1.3	1.9	26	*	26	*
21	0.4	0.3	82	110.9	361.5	314.1	297.1	217.2	50	*	3.6	4.2	189	119	98	119	1.8	1.1	40	51	40	51
22	0.4	0.13	98.7	87.9	317.6	297.6	212.2	170.3	*	*	3.6	3.3	103	98	112	98	3.2	3.5	52	*	52	*
23	0.5	0.4	203.1	93.8	618.4	296.7	458.1	108.5	*	*	4.3	4.4	196	154	131	154	3	28	58	*	58	*
24	0.4	0.1	208.9	188.3	517.7	189.9	331.2	187.3	*	*	7.3	2.4	252	119	149	119	2.9	2.8	76	*	70	*
25	0.5	0.4	173.5	134.7	626.5	235.5	317.4	106.5	10	50	7.6	3.1	231	203	231	203	1.6	3.1	60	28	58	28
26	0.4	0.28	243.7	171.9	488.3	339.2	431.8	120.4	*	*	6.8	3.2	267	175	236	175	1.4	1.2	74	*	71	*
27	0.5	0.29	278.1	191.3	775.9	331.5	417.4	107.5	*	*	5.6	3.9	191	127	201	127	1.5	2.4	96	*	94	*
28	0.4	0.15	262.5	121.9	635.2	297.2	312.5	154.2	*	*	6.8	5	266	210	185	210	1.7	0.3	82	*	78	*
29	0.4	0.32	306	178.6	498.5	225.1	298.1	137.9	490	50	5.6	3.2	245	147	167	147	1.5	0.8	116	66	110	64
Prom.	0.4	0.26	244.7	171.2	627.6	388.0	463.7	285.3	176.2	70.0	6.2	3.4	267.5	192.7	203.8	192.7	10.1	10.6	96.4	77.1	85.2	65.9
Max.	0.58	0.42	405.7	286.4	996	698	991.5	619.9	490	110	18.1	8	420	336	360	336	79	50	150	116	132	94
Min.	0.28	0	82	86	304.5	167.4	191.3	106.5	10	50	0.6	0.3	103	98	98	98	0.7	0.3	26	28	26	28

A: Entrada; B: Salida; C: Afluyente; D: Efluente

*: sin dato

Tabla 7. Calidad afluente y efluente HCSFH-II

Semana	Caudales		COD		DQOt		DQOF		DBO5		P-PO4		NTK		N-NH4		N-NO3		SST		SSV	
	E ^A	S ^B	A ^C	Ef ^D	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef
	l/min	l/min	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	0.4	0.35	230.9	76.6	617.7	319.9	597.7	127.4	220	40	4.2	0.1	372	112	360	72	1.3	6.1	86	104	78	87
2	0.4	0.35	361.3	0	805	346.5	620	318	*	*	6.9	1.9	378	189	331	159	12	8.2	92	*	78	*
3	0.41	0.32	304.9	132.3	825.8	342.3	516.4	334.7	*	*	0.6	0.7	413	140	191	75	11	13	143	*	127	*
4	0.4	0.34	288.1	375.6	525.4	429.8	477.1	328.7	*	*	4.6	1.9	287	224	269	199	14	16	142	*	122	*
5	0.44	0.32	249.3	154.2	598.5	496.1	489.5	354	20	60	8.8	3	406	217	275	158	1.7	1.7	146	124	132	118
6	0.4	0.24	251.7	190.1	698	614.8	339.4	297.3	*	*	9.9	4.1	385	161	299	126	2.4	2.2	134	*	112	*
7	0.41	0.3	279.3	271.2	754.7	640.7	475.1	591.1	*	*	8.1	4.4	224	219	163	153	9.6	8.1	*	*	*	*
8	0.5	0.31	259	231.3	353.9	380.7	343.4	362.4	*	*	3.5	3.4	294	266	247	215	11	21	108	*	88	*
9	0.27	0.3	178	153	385.1	375.8	354.1	343.6	170	40	6.1	3.2	308	210	214	154	40	42	82	92	68	76
10	0.3	0.18	199.8	179.7	452.6	423.4	382.6	381	*	*	6.6	3.8	420	210	159	112	33	99	122	*	104	*
11	0.38	0.26	332.8	202.2	760.6	381.5	689	305.7	*	*	9	4.8	178	224	154	117	23	37	114	*	84	*
12	0.35	0.3	405.7	278.8	849.4	672	732.7	415.2	*	*	14.3	6.1	234	203	201	140	79	38	150	*	114	*
13	0.35	0.3	266.8	272.8	698.8	503.5	503.6	317.2	200	130	18.1	8.5	378	328	303	224	1.3	1.1	122	96	120	78
14	0.38	0.28	339.3	242.6	996	702.6	991.5	700.3	*	*	8.4	5.5	254	210	163	205	1.3	1	124	*	98	*
15	0.38	0.28	302.6	200.8	725.6	681.8	581.2	517.2	*	*	3.9	2.3	266	263	212	168	0.7	0.8	104	*	102	*
15	0.3	0.3	290.6	172.7	776.9	703	561.4	480.8	*	*	2.8	*	294	224	210	159	10	9.2	98	*	86	*
17	0.36	0.28	202	187	808.5	512.9	612.5	478.1	250	50	2.9	2.7	186	167	159	145	11	11	98	92	90	72
18	0.41	0.4	241.8	141.7	760.8	363.6	463.3	322.9	*	*	3.7	2.5	197	182	210	121	5.2	4.4	128	*	100	*
19	0.39	0.2	162.7	178.1	663.1	471.5	450.5	412.1	*	*	2.8	2.3	186	140	140	112	4.9	4.8	26	*	26	*
20	0.36	0.26	94.1	111.5	304.5	219	191.3	170	*	*	3.4	5.3	159	149	140	84	1.3	2.6	26	*	26	*
21	0.38	0.5	82	97.6	361.5	285	297.1	114.4	50	40	3.6	3.8	189	56	98	47	1.8	2	40	42	40	42
22	0.41	0.3	98.7	81.1	317.6	207.6	212.2	138.2	*	*	3.6	1.4	103	75	112	65	3.2	6.3	52	*	52	*
23	0.33	0.27	203.1	86.8	618.4	278.3	458.1	112.8	*	*	4.3	1.1	196	147	131	98	3	38	58	*	58	*
24	0.4	0.15	208.9	118.4	517.7	239.3	331.2	238.3	*	*	7.3	4.3	252	161	149	84	2.9	2.9	76	*	70	*
25	0.45	0.44	173.5	112.5	626.5	301.5	317.4	147.5	10	50	7.6	6	231	210	231	210	1.6	2.7	60	34	58	34
26	0.42	0.3	243.7	181.1	488.3	413.2	431.8	245.1	*	*	6.8	4	267	168	236	124	1.4	1.4	74	*	71	*
27	0.42	0.29	278.1	231.9	775.9	372.8	417.4	110.2	*	*	5.6	5.2	191	174	201	159	1.5	0.7	96	*	94	*
28	0.42	0	262.5	133.1	635.2	235.4	312.5	119.5	*	*	6.8	4.4	266	161	185	141	1.7	0.4	82	*	78	*
29	0.28	0.4	306	171	498.5	302.5	298.1	124.2	490	50	5.6	4.6	245	210	167	132	1.5	0.4	116	58	110	57
Prom.	0.38	0.29	244.7	171.2	627.6	421.3	463.7	307.2	176.2	57.5	6.2	3.6	267.5	186.2	203.8	136.5	10.1	13.2	96.4	80.2	85.2	70.5
Max.	0.5	0.5	405.7	375.6	996.0	703.0	991.5	700.3	490.0	130	18.1	8.5	420.0	328.0	360.0	224.0	79.0	99.0	150.0	124	132	118
Min.	0.27	0.0	82.0	0.0	304.5	207.6	191.3	110.2	10.0	40.0	0.6	0.1	103.0	56.0	98.0	47.0	0.7	0.4	26.0	34.0	26.0	34.0

A: Entrada; B: Salida; C: Afluente; D: Efluente

*: sin dato.

Tabla 8. Calidad afluente y efluente HCSFH-III

Semana	Caudales		COD		DQOt		DQOf		DBO5		P-PO4		NTK		N-NH4		N-NO3		SST		SSV	
	E ^A	S ^B	A ^C	Ef ^D	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef
	l/min	l/min	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	0.48	0.35	230.9	56.3	617.7	175.9	597.7	113.8	220	40	4.2	0.5	372	126	360	60	1.3	9.4	86	80	78	73.5
2	0.48	0.35	361.3	0	805	408.4	620	272.4	*	*	6.9	1.2	378	154	331	98	12	8.8	92	*	78	*
3	0.39	0.3	304.9	116.7	825.8	387.5	516.4	329.3	*	*	0.6	0.6	413	112	191	79	11	10	143	*	127	*
4	0.28	0.28	288.1	274	525.4	426	477.1	353.7	*	*	4.6	1.9	287	217	269	106	14	15	142	*	122	*
5	0.32	0.29	249.3	119.5	598.5	297.5	489.5	247	20	60	8.8	1.7	406	168	275	112	1.7	1.9	146	78	132	60
5	0.34	0.26	251.7	204.3	698	570.2	339.4	317.6	*	*	9.9	3	385	294	299	163	2.4	2.5	134	*	112	*
7	0.36	0.28	279.3	250.6	754.7	604.5	475.1	583	*	*	8.1	3.7	224	196	163	157	9.6	7.5	*	*	*	*
8	0.43	0.26	259	200.2	353.9	366.5	343.4	358.7	*	*	3.5	3	294	195	247	182	11	19	108	*	88	*
9	0.26	0.26	178	150.8	385.1	352.7	354.1	317.2	170	90	6.1	4.1	308	165	214	159	40	50	82	110	68	92
10	0.3	0.15	199.8	187.1	452.6	401.5	382.6	373.2	*	*	6.6	4	420	189	159	75	33	17	122	*	104	*
11	0.37	0.26	332.8	170.4	760.6	415.6	689	302.5	*	*	9	4.6	178	212	154	75	23	57	114	*	84	*
12	0.28	0.22	405.7	267.5	849.4	525.7	732.7	405.2	*	*	14.3	4.5	234	249	201	168	79	29	150	*	114	*
13	0.28	0.22	266.8	227.6	698.8	412.6	503.6	348.6	200	30	18.1	6.4	378	315	303	233	1.3	1.2	122	84	120	70
14	0.38	0.28	339.3	238.5	996	740	991.5	715.1	*	*	8.4	5.6	254	280	163	140	1.3	1	124	*	98	*
15	0.38	0.28	302.6	205.4	725.6	711.8	581.2	541.5	*	*	3.9	2.6	266	196	212	187	0.7	0.9	104	*	102	*
16	0.36	0.3	290.6	167.7	776.9	578.7	561.4	497.5	*	*	2.8	*	294	168	210	159	10	9.4	98	*	86	*
17	0.37	0.26	202	191.9	808.5	521.5	612.5	341.3	250	60	2.9	2.3	186	140	159	135	11	11	98	76	90	56
18	0.4	0.32	241.8	136.3	760.8	563.6	463.3	266.2	*	*	3.7	2.5	197	140	210	130	5.2	4.7	128	*	100	*
19	0.39	0.45	162.7	161.8	663.1	531.6	450.5	315.5	*	*	2.8	2.2	186	172	140	102	4.9	5	26	*	26	*
20	0.3	0.2	94.1	90.9	304.5	333.1	191.3	259.9	*	*	3.4	5.6	159	121	140	84	1.3	2.7	26	*	26	*
21	0.42	0.34	82	61.9	361.5	236.5	297.1	118.1	50	110	3.6	3.8	189	105	98	61	1.8	2.5	40	38	40	38
22	0.33	0.22	98.7	78.9	317.6	218.5	212.2	138.5	*	*	3.6	2.6	103	84	112	61	3.2	7.8	52	*	52	*
23	0.37	0.34	203.1	69.7	618.4	241	458.1	114.2	*	*	4.3	0.6	196	168	131	112	3	15	58	*	58	*
24	0.42	0.3	208.9	120	517.7	218.6	331.2	212.6	*	*	7.3	4.5	252	147	149	107	2.9	2.7	76	*	70	*
25	0.42	0.41	173.5	145.5	626.5	326.4	317.4	198.5	10	*	7.6	5.4	231	245	231	201	1.6	1.4	60	46	58	46
26	0.36	0.34	243.7	136.3	488.3	410.3	431.8	278.1	*	*	6.8	3.5	267	224	236	187	1.4	1.3	74	*	71	*
27	0.37	0.36	278.1	210.6	775.9	336.2	417.4	128	*	*	5.6	6.3	191	111	201	93	1.5	1.4	96	*	94	*
28	0.42	0.22	262.5	156.6	635.2	218.1	312.5	112.5	*	*	6.8	6.6	266	168	185	139	1.7	0.3	82	*	78	*
29	0.32	0.4	306	165.4	498.5	224.1	298.1	114.5	490	40	5.6	5.3	245	112	167	103	1.5	0.3	116	50	110	57
Prom.	0.36	0.29	244	157.3	627.6	405.3	463.7	299.1	176.2	61.4	6.2	3.5	267.5	178.4	203.8	126.5	10.1	10.2	96.4	70.2	85.2	61.6
Max.	0.48	0.45	405.7	274.0	996.0	740.0	991.5	715.1	490.0	110.0	18.1	6.6	420.0	315.0	360.0	233.0	79.0	57.0	150.0	110.0	132.0	92.0
Min.	0.26	0.15	82.0	0.0	304.5	175.9	191.3	112.5	10.0	30.0	0.6	0.5	103.0	84.0	98.0	60.0	0.7	0.3	26.0	38.0	26.0	38.0

A: Entrada; B: Salida; C: Afluente; D: Efluente

*:sin dato.

Tabla 9. Calidad afluente y efluente HCSFH-IV

Semana	Caudales		COD		DQOt		DQOf		DBO5		P-PO4		NTK		N-NH4		N-NO3		SST		SSV	
	E ^A	S ^B	A ^C	Ef ^D	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef	A	Ef
	l/min	l/min	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	0.32	0.14	230.9	43.3	617.7	169.6	597.7	148.3	220	10	4.2	0.4	372	126	360	18	1.3	7.5	86	65	78	53.4
2	0.32	0.14	361.3	*	805	156.7	620	129.3	*	*	6.9	0.5	378	112	331	65	12	9.8	92	*	78	*
3	0.28	0.09	304.9	98	825.8	275.3	516.4	202.1	*	*	0.6	0.5	413	112	191	61	11	12	143	*	127	*
4	0.28	0.2	288.1	202.8	525.4	208.8	477.1	167.9	*	*	4.6	0.5	287	98	269	70	14	12	142	*	122	*
5	0.34	0.09	249.3	117.2	598.5	275.5	489.5	203	20	100	8.8	0.6	406	147	275	84	1.7	1.2	146	62	132	50
6	0.3	0.19	251.7	145.1	698	448.4	339.4	305.8	*	*	9.9	3	385	252	299	187	2.4	3	134	*	112	*
7	0.3	0.1	279.3	239.1	754.7	537.2	475.1	458.2	*	*	8.1	3.2	224	196	163	154	9.6	1.5	*	*	*	*
8	0.32	0.13	259	192.6	353.9	362.6	343.4	315.3	*	*	3.5	2.4	294	273	247	168	11	16	108	*	88	*
9	0.23	0.18	178	159	385.1	347	354.1	330.8	170	70	6.1	1.2	308	182	214	75	40	37	82	58	68	36
10	0.22	0.02	199.8	189	452.6	325.7	382.6	275.5	*	*	6.6	2.2	420	147	159	89	33	42	122	*	104	*
11	0.28	0.17	332.8	176.7	760.6	320.6	689	263.8	*	*	9	2.2	178	168	154	84	23	23	114	*	84	*
12	0.26	0.12	405.7	238.5	849.4	614.7	732.7	420.9	*	*	14.3	5.3	234	266	201	149	79	34	150	*	114	*
13	0.26	0.12	266.8	219.2	698.8	416.5	503.6	314.2	200	80	18.1	3.5	378	231	303	149	1.3	1.2	122	98	120	80
14	0.37	0.1	339.3	237.9	996	776.4	991.5	585.5	*	*	8.4	5.2	254	266	163	186	1.3	1	124	*	98	*
15	0.37	0.1	302.6	258.2	725.6	736.9	581.2	548.1	*	*	3.9	2.6	266	252	212	243	0.7	0.8	104	*	102	*
16	0.35	0.34	290.6	163.3	776.9	508.6	561.4	315.6	*	*	2.8	*	294	196	210	117	10	9.5	98	*	86	*
17	0.38	0.4	202	184	808.5	549.6	612.5	314.4	250	20	2.9	2	186	153	159	145	11	12	98	72	90	54
18	0.35	0.25	241.8	138.8	760.8	391.6	463.3	309.8	*	*	3.7	2.5	197	192	210	149	5.2	5	128	*	100	*
19	0.41	0.33	162.7	166.3	663.1	435.7	450.5	248.5	*	*	2.8	2.6	186	130	140	121	4.9	6.8	26	*	26	*
20	0.38	0.78	94.1	109	304.5	329.6	191.3	230.6	*	*	3.4	4	159	140	140	131	1.3	1.9	26	*	26	*
21	0.32	0.42	82	70.6	361.5	243	297.1	178.2	50	10	3.6	3.1	189	112	98	56	1.8	2	40	47	40	47
22	0.33	0.1	98.7	82.8	317.6	254.8	212.2	169.7	*	*	3.6	2.4	103	107	112	83	3.2	5.5	52	*	52	*
23	0.38	0.3	203.1	90.5	618.4	290.2	458.1	245.2	*	*	4.3	3.7	196	112	131	75	3	12	58	*	58	*
24	0.26	0.15	208.9	105.4	517.7	257.4	331.2	248.2	*	*	7.3	4.4	252	140	149	51	2.9	4	76	*	70	*
25	0.28	0.23	173.5	149.9	626.5	338	317.4	197.1	10	40	7.6	20.3	231	196	231	182	1.6	2.9	60	42	58	42
26	0.4	0.4	243.7	147	488.3	392.9	431.8	165.4	*	*	6.8	4.1	267	201	236	139	1.4	1.3	74	*	71	*
27	0.33	0.3	278.1	192.6	775.9	397.1	417.4	178.5	*	*	5.6	5.2	191	165	201	159	1.5	1.5	96	*	94	*
28	0.4	0.25	262.5	192	635.2	325.2	312.5	122.2	*	*	6.8	6.6	266	252	185	182	1.7	0.1	82	*	78	*
29	0.38	0.28	306	169.8	498.5	278.1	298.1	105.1	490	40	5.6	5.5	245	182	167	151	1.5	0.3	116	74	110	71
Prom.	0.32	0.22	244.7	159.9	627.6	378.1	463.7	265.4	176.2	46.25	6.2	3.56	267.5	176.1	203.8	121.5	10.1	9.2	96.4	64.7	85.2	54.2
Max.	0.41	0.78	405.7	258.2	996.0	776.4	991.5	585.5	490.0	100.0	18.1	20.3	420.0	273.0	360.0	243.0	79.0	42.0	150.0	98.0	132.0	80.0
Mín.	0.22	0.02	82.0	43.3	304.5	156.7	191.3	105.1	10.0	10.0	0.6	0.4	103.0	98.0	98.0	18.0	0.7	0.10	26.0	42.0	26.0	36.0

A: Entrada; B: Salida; C: Afluente; D: Efluente

*:sin dato

4. Conclusiones e importancia de los datos

Lo resultados muestran en primer lugar que el lixiviado generado en el relleno de presidente es un residuo que se puede clasificar como intermedio-viejo, cuya característica principal es baja cantidad de materia orgánica, alta presencia de nitrógeno amoniacal y posiblemente metales pesados, lo que complejiza su tratamiento.

Los datos registrados permiten establecer la potencialidad de emplear un acople tecnológico como es un reactor anaerobio (BLAAT®) y un sistema biológico (HCSFH) para el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario con resultados altamente alentadores.

La información aquí presentada permite ser empleada como punto de comparación y guía para trabajos a desarrollar en el trópico americano en tratamiento de LX que vayan a utilizar sistemas anaerobios y humedales construidos.

5. Agradecimientos

El autor desea agradecer a la Universidad del Valle por el apoyo económico para esta investigación, al Instituto IHE de Holanda por el soporte económico a través del Programa DUPC1 y a Bugaseo S.A E.S.P., por su apoyo en campo, información y permitir realizar la investigación dentro de las instalaciones del relleno sanitario de presidente, San Pedro, Valle del Cauca, Colombia.

6. Referencias

(1) Zhang Qi Q., Hu Tian B., Zhang X, Ghulam A., Ran Fang C., He R. Investigation on

characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants. *Waste management*. 2014;33(11): 2277-2286. Doi: 10.1016/j.wasman.2013.07.021.

(2) Renou S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., and Moulin, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;150(3): 468-493. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.077.

(3) Salem Z., Hamouri K., Djemaa R., Allia K. Evaluation of landfill leachate pollution and treatment. *Desalination*. 2008;220(1-3): 108-114. Doi: 10.1016/j.desal.2007.01.026.

(4) Oman C B., Junestedt C. Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds. *Waste Management*. 2008; 28(10): 1876-1891. Doi: 10.1016/j.wasman.2007.06.018.

(5) Yao P. Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017; 10(2): S2567-S2574. Doi: 10.1016/j.arabjc.2013.09.031.

(6) Noguera-Oviedo K., Olivero-Verbel j. Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *REV ACAD COLOMB CIENC*. XXXIV. 2010;34(132): 347-356.

(7) BUGASEO SA ESP. Informe del sistema de tratamiento de lixiviado-Relleno sanitario de presidente. Buga: BUGASEO SA ESP; 2009.



Este trabajo está licenciado bajo una Licencia Internacional Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0