



UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES
INGENIERÍA AMBIENTAL
28 DE JULIO DE 2017



CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LODOS DE DEPURACIÓN PROVENIENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EPMAPS - AGUA DE QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA

REALIZADO POR: GABRIELA LARA PUGA

INTRODUCCIÓN

Creciente demanda de agua en el planeta y Quito.

Prevenir deterioro de cauces naturales y públicos, disminuir riesgo biológico, evitar impactos en salud y ambiente.

Depuración de las aguas residuales

2014 - EPMAPS abre planta piloto para "*Programa para la Descontaminación de Ríos de Quito*". Descarga del Colector Central Iñaquito "El Batán". Lodos vertidos a Río Machángara

Convenio de Cooperación Científica y Tecnológica entre la UISEK y EPMAPS. Planteamiento de línea base.

Parámetros fisicoquímicos, agronómicos, microbiológicos, energéticos y de metales pesados.

JUSTIFICACIÓN

- No existen antecedentes de análisis semejantes realizados a los lodos residuales producidos en el DMQ.
- **Caracterización de lodos** = Volumen y composición
- **Evaluación** = Método adecuado de gestión y aprovechamiento
- Incineración, pirólisis, gasificación

Beneficios de la incineración

- Reducción del volumen del residuo
- Destrucción térmica de compuestos orgánicos peligrosos y organismos patógenos
- Recuperación de energía térmica y/o eléctrica
- Generación de beneficios económicos al reincorporar la energía a la planta

HIPÓTESIS

- Determinar las posibles potencialidades y restricciones que presentan los lodos procedentes de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de EPMAPS – Agua de Quito.
- Obtener resultados que se encuentren dentro de los rangos de valores establecidos en estudios internacionales previos y en normativas vigentes.
- Valorización energética superior a 2 000 kcal/kg que permita gestionar los lodos como un recurso y aprovecharlos en la producción de energía.

OBJETIVOS

Objetivo General:

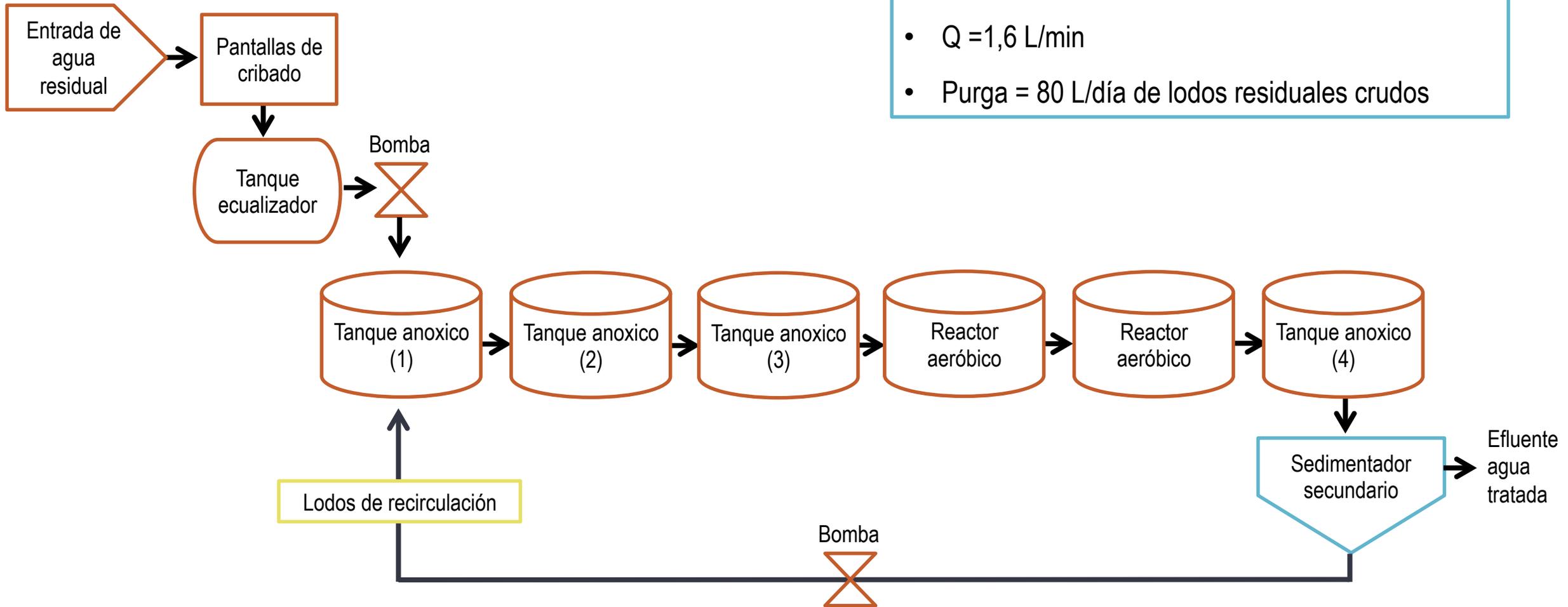
- Evaluar la calidad de los lodos de depuración procedentes de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la EPMAPS – Agua de Quito.

Objetivos específicos:

- Determinar la composición fisicoquímica, agronómica, microbiológica y energética de los lodos de depuración de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales de la EPMAPS.
- Identificar y proponer estrategias de posible gestión de los lodos residuales para la producción de energía.
- Determinar la cantidad de energía que podría ser generada anualmente en la planta piloto.

DISEÑO DE LA PLANTA

- Planta piloto
- Tratamiento secundario con lodos activados
- $Q = 1,6 \text{ L/min}$
- Purga = 80 L/día de lodos residuales crudos



METODOLOGÍA

1. Fase de campo y muestreo

12 muestras en total

80 L de lodo

Preservación de la muestra
(Agua destilada, H₂SO₄ y 4 °C)

2. Fase de laboratorio

3. Fase de análisis de resultados

Cronograma de muestreos	
Número de muestra	Fecha del muestreo
1	5-ene-17
2	19-ene-17
3	6-feb-17
4	20-feb-17
5	6-mar-17
6	20-mar-17
7	27-mar-17
8	3-abr-17
9	10-abr-17
10	17-abr-17
11	8-may-17
12	15-may-17



Lodos de recirculación
(Lodo 1 - líquido)



Parámetros in-situ



Almacenar en botellas¹ y coolers

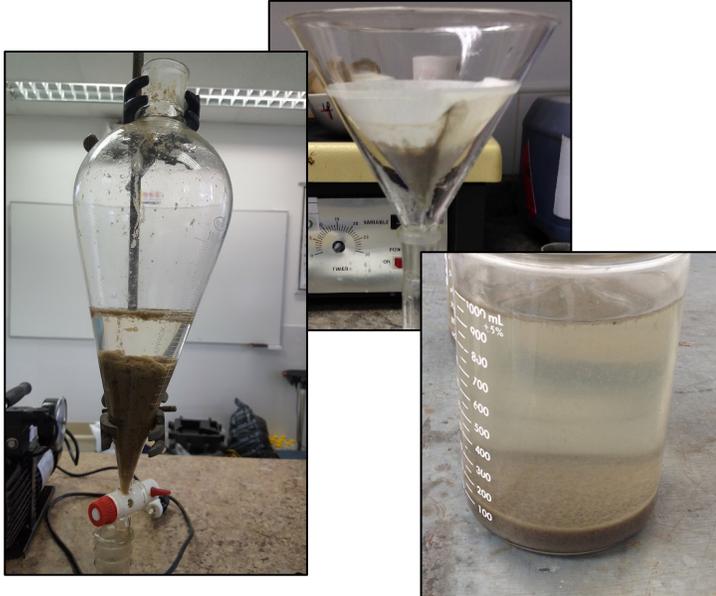
¹ Basada en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

FASE DE LABORATORIO

ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA²

Lodo 1 - Líquido

- Decantación con embudos de separación
- Filtración con papel filtro



Lodo 2 - Espeso

- Bandejas de aluminio en placas calefactoras a 105 °C
- Estufa a 105 °C.
- Trituración con mortero.



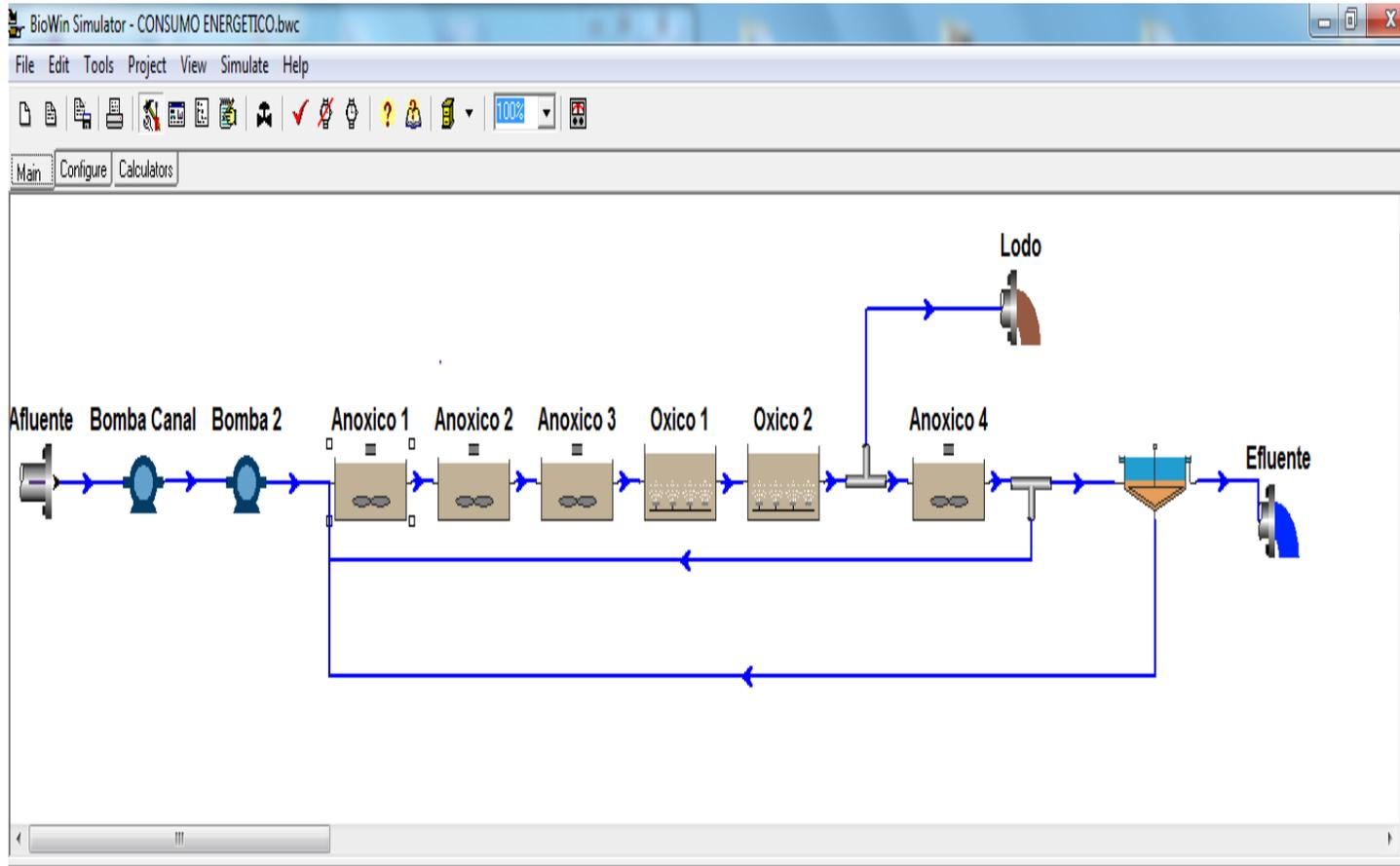
Lodo 3 - Seco



Métodos de ensayo y tipos de lodos empleados para el análisis de lodos de depuración.

Parámetro	Método	Tipo de lodo	Referencia
% Sólidos sedimentables	Método con cono Imhoff.	Lodo 1 (líquido)	(Norma Mexicana, 2013)
Densidad real	Determinación de masa (g) y el volumen en centímetros cúbicos (cm ³).	Lodo 1 y 2 (líquido y espeso)	(Peñaherrera Proaño, 2015)
Contenido de humedad	Método de determinación de la humedad higroscópica.	Lodo 1 y 2 (líquido y espeso)	(Melgratti, 2005)
<i>Escherichia coli</i>	BBL Agar Endo con dilución seriada y siembra en medio.	Lodo 2 (espeso)	(Becton, Dickinson and Company, 2013)
<i>Salmonella choleraesuis</i>			
<i>Shigella flexneri</i>			
<i>Enterococcus faecalis</i>			
Huevos de helminto	Método cualitativo de McMaster con solución azucarada de Sheater.	Lodo 2 (espeso)	(Sixtos, 2011)
Porcentaje de cenizas	Método establecido en la norma UNE 32-004-84.	Lodo 2 y 3 (espeso y seco)	(Mendoza et al., 2009)
Materia orgánica total	Método de Walkley y Black.	Lodo 3 (seco)	(Cáceres, 2013)
Carbono orgánico total			
Nitrógeno total	Método de Nitrógeno Kjeldahl, Pro-Nitro I, Selecta	Lodo 3 (seco)	(Barrena, 2006)
Potasio total	Método EPA 3050B para su digestión y determinación en horno de grafito y espectrofotómetro de absorción atómica.	Lodo 3 (seco)	(Peñaherrera Proaño, 2015)
Análisis de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Pb, Zn)			
Poder calorífico inferior y superior	Método con bomba calorimétrica de oxígeno No. 204M, establecido por Parr Instrument Company.	Lodo 3 (seco)	(Cabrera, 2016)
% Sólidos volátiles	Método gravimétrico.	Lodo 3	(Peñaherrera Proaño, 2015)

CÁLCULOS ENERGÉTICOS



- Software de simulación dinámica *BioWin 5.1*
- EPMAPS
- Características de la PTAR piloto, datos de potencia y energía de agitadores mecánicos, bombas, y aireadores.
- Balance de parámetros.
- Gastos energéticos (kWh), costos operativos (USD) y cantidad de lodos residuales producidos que podrían ser utilizados para la generación de energía.

RESULTADOS

Parámetros fisicoquímicos in-situ.				
Muestra	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	pH	Conductividad Eléctrica (µS/cm)
1	18,80	0,29	7,27	6400
2	18,60	0,26	6,81	5060
3	18,90	0,37	6,82	10830
4	18,40	0,36	7,03	11340
5	19,10	0,34	7,09	9670
6	16,20	0,52	7,02	9740
7	18,20	0,62	6,81	3420
8	18,60	0,25	7,15	2490
9	17,90	0,35	7,01	2580
10	18,10	0,23	7,15	3060
11	16,90	0,42	7,01	2600
12	17,40	0,31	7,20	3140
Rango	16,20 – 19,10	0,23 – 0,62	6,81 -7,20	2490 – 11340
Promedio	18,10	0,40	7,00	5860,80
			6,6 - 7,5 ¹	2000 – 12000 ¹ > 4000

¹ Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2009

Parámetros fisicoquímicos.

Muestra	Sólidos Sedimentables (% v/v)	Sólidos Volátiles (%)	Densidad Lodo 1 (g/cm ³)	Densidad Lodo 2 (g/cm ³)	Humedad Lodo 1 (%)	Humedad Lodo 2 (%)
1	2,81	76,50	1,00	1,05	99,80	93,14
2	2,56	81,50	1,01	1,04	99,90	94,01
3	1,99	76,00	0,99	1,04	99,70	94,11
4	2,78	75,50	1,00	1,03	99,80	94,73
5	1,68	77,50	1,00	1,04	99,80	95,51
6	2,48	65,50	1,01	1,08	99,80	94,11
7	2,98	67,00	1,00	1,09	99,70	91,03
8	2,96	70,00	1,00	1,03	99,90	90,65
9	2,68	66,50	0,99	1,02	99,90	94,11
10	3,00	75,50	0,99	1,01	99,90	93,62
11	2,16	73,00	1,00	1,05	99,80	93,91
12	2,24	71,50	1,00	1,03	99,90	94,33
Rango	1,68 – 3,00	65,50 – 81,50	0,99 – 1,01	1,01 – 1,09	99,70 – 99,90	90,65 – 95,51
Promedio	2,50	70,50	1,00	1,04	99,80	93,60
	0,25 – 12²		1		Óptimo = 10 % Límite³ = 55 %	

² Hammeken & Romero, 2005.

³ Conesa, 2014.

Parámetros agronómicos, materia orgánica y nutrientes.

Muestra	Materia Orgánica Total (%)	Potasio (%)	Carbono Orgánico Total (%)	Nitrógeno total Kjeldahl (%)	Relación C/N
1	41,27	0,12	23,94	4,79	5,00
2	37,83	0,12	21,95	5,81	3,78
3	41,27	0,12	23,94	5,92	4,04
4	34,39	0,12	19,95	6,97	2,86
5	41,27	0,12	23,94	4,20	5,70
6	36,20	0,12	21,00	5,11	4,11
7	34,39	0,12	19,95	4,97	4,01
8	37,83	0,12	21,95	4,62	4,75
9	31,32	0,12	18,00	4,54	3,96
10	26,50	0,12	15,38	5,07	3,03
11	37,92	0,11	22,00	5,25	4,19
12	34,48	0,12	20,00	6,02	3,32
Rango	26,5 – 41,27	0,11 - 0,12	18 – 23,94	4,2 – 6,97	2,86 – 5,7
Promedio	36,2	0,12	21,0	5,3	4,1
Fertilizante comercial	40 - 50	0,6 - 1	5 - 20	0,5 - 2	8 - 10

Parámetros microbiológicos.

Muestra	<i>Salmonella choleraesuis</i> (UFC/g)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	<i>Shigella flexneri</i> (UFC/g)	<i>Enterococcus faecalis</i> (UFC/g)	Huevos de helminto
1	1,78x10 ⁷	6,80x10 ⁷	3,00x10 ⁷	3,40x10 ⁶	ausencia
2	7,13x10 ⁷	1,81x10 ⁷	9,15x10 ⁷	5,27x10 ⁶	presencia
3	7,40x10 ⁷	5,40x10 ⁷	6,00x10 ⁷	7,30x10 ⁷	presencia
4	1,26x10 ⁹	6,95x10 ⁸	3,42x10 ⁸	1,54x10 ⁹	presencia
5	1,64x10 ⁸	2,35x10 ⁸	4,41x10 ⁸	5,97x10 ⁸	ausencia
6	1,48x10 ⁸	5,68x10 ⁸	1,76x10 ⁸	3,20x10 ⁸	presencia
7	1,40x10 ⁷	1,74x10 ⁸	3,00x10 ⁷	2,80x10 ⁷	presencia
8	7,60x10 ⁸	1,52x10 ⁹	1,60x10 ⁸	1,36x10 ⁹	presencia
9	3,20x10 ⁸	4,16x10 ⁸	9,60x10 ⁸	6,40x10 ⁸	presencia
10	3,20x10 ⁸	4,10x10 ⁸	3,20x10 ⁸	6,40x10 ⁸	presencia
11	1,20x10 ⁸	5,80x10 ⁷	1,20x10 ⁸	1,70x10 ⁸	ausencia
12	2,88x10 ⁸	4,20x10 ⁸	2,37x10 ⁸	4,73x10 ⁸	presencia
Rango	1,4x10⁷ -1,26x10⁹	1,81x10⁷ – 1,52x10⁹	3x10⁷ – 9,60x10⁸	3,40x10⁶ – 1,54x10⁹	ausencia – presencia
Promedio	2,97x10⁸	3,86x10⁸	2,47x10⁸	4,87x10⁸	presencia

Concentraciones de metales pesados.

Muestra	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
1	4,40	41,30	18,04	0,0018	13,52	1,98	268,90
2	3,20	40,10	17,95	0,0021	7,14	2,34	396,20
3	9,60	49,40	18,45	0,0015	6,18	2,78	443,90
4	8,20	44,30	18,35	0,0011	5,59	3,69	625,10
5	12,50	28,30	16,46	0,0039	3,44	2,46	299,80
6	9,00	29,30	16,00	0,0050	4,95	3,24	164,30
7	14,45	34,60	16,32	0,0006	3,96	2,76	196,30
8	21,70	67,30	18,31	0,0015	5,72	5,47	464,60
9	19,10	55,50	16,56	0,0030	5,28	1,81	234,70
10	1,40	51,60	17,01	0,0015	6,34	1,81	209,20
11	38,09	29,90	16,92	0,0007	4,72	3,22	202,80
12	29,70	18,90	17,95	0,0004	5,13	2,71	131,50
Rango	1,40 - 38,09	18,90 - 67,30	16,00 - 18,45	0,0004 - 0,005	3,44 - 13,52	1,81 - 5,47	131,50 - 625,10
Promedio	14,28	40,88	17,36	0,0019	6,00	2,86	303,11
Normativa ecuatoriana^{4,5} y mexicana⁶	39 -85	1200 - 3000	1500 - 4300	17 - 57	420	300 - 840	2800 - 7500
Normativa española⁷	20 - 40	1000 - 1500	1000 - 1750	16 - 25	300 - 400	750 - 1200	2500 - 4000

⁴ Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales NT005. (2016). *Secretaría de Ambiente del DMQ*. OM 138.

⁵ Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento. (1999). *Municipio Metropolitano de Quito, Dirección de Medio Ambiente*.

⁶ Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 para lodos y biosólidos: Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. (2002).

⁷ Real Decreto 1310/1990 para la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. (1990).

Azufre contenido en lodos.

Muestra	Azufre (%)
1	0,37
2	0,37
3	0,34
4	0,31
5	0,44
6	0,30
7	0,20
8	0,33
9	0,34
10	0,21
11	0,25
12	0,26
Rango	0,20 – 0,44
Promedio	0,31

Comparación de la concentración de azufre (ppm) en los lodos residuales vs. azufre contenido en combustibles de uso común en Latinoamérica⁸.

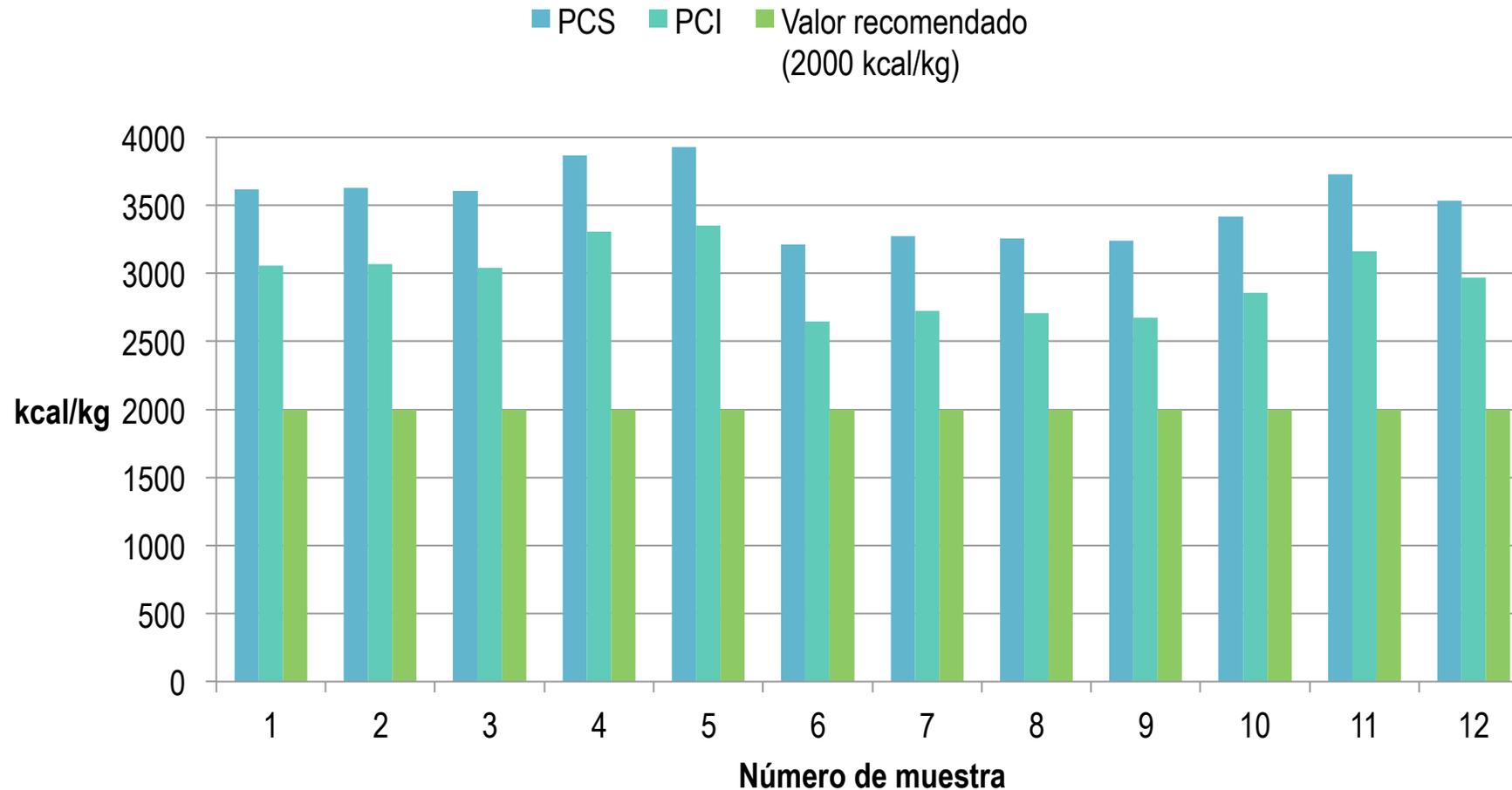
País	Tipo de combustible	Azufre (ppm)
Planta piloto	Lodos residuales	3 100
Bolivia	Diesel Oil	5 000
Brasil	Diesel B	1 800
Ecuador	Diesel 2	7 000
Perú	Diesel 2	5 000
Uruguay	Gas Oil	7 000
Venezuela	Medium Fuel Oil	5 000

⁸ Special Report Latin America: Regional Fuel Quality Overview (focus on South America). *Hart Energy*. July 25, 2011.

Parámetros relacionados a la incineración y obtención de energía a partir de los lodos residuales.

Muestra	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	Cenizas Base Húmeda (%)	Cenizas Base Seca (%)
1	3616	3058	1,49	23,50
2	3630	3066	3,47	18,50
3	3605	3040	3,50	24,00
4	3866	3307	4,44	24,50
5	3925	3352	1,69	22,50
6	3212	2648	5,15	34,50
7	3272	2726	4,50	36,00
8	3254	2710	4,02	40,00
9	3240	2676	2,89	33,50
10	3416	2855	4,78	12,50
11	3728	3165	3,32	27,00
12	3535	2969	4,65	28,50
Rango	3212 - 3925	2648 - 3352	1,49 – 5,15	12,50 – 40,00
Promedio	3525	2964	3,66	27,08

Comparación de valores obtenidos de PCI y PCS vs. valores adecuados para la incineración de lodos residuales⁹



⁹ Mendoza, F. J. C., Alberola, M. C., Herrera, L., Gallardo, A., & Bovea, M. D. (2009). Viabilidad de la valorización energética de lodos procedentes de distintos tipos de depuradoras. *Residuos 110*, 32–37.

Comparación del poder calorífico inferior de los lodos residuales de la planta piloto vs. el PCI de combustibles fósiles.

Lodos residuales (kcal/kg)	Lignito ¹⁰ (kcal/kg)	Antracita ¹⁰ (kcal/kg)	Fuel Oil 1 ¹¹ (kcal/kg)	Diesel ¹¹ (kcal/kg)	Gas Propano ¹¹ (kcal/kg)
2964	2 177	6 700	9 465	9 934	11 055

¹⁰ Ricardo García (2001). Teoría de la combustión: Combustión y combustibles.

¹¹ Mendoza, F. J. C., Alberola, M. C., Herrera, L., Gallardo, A., & Bovea, M. D. (2009). Viabilidad de la valorización energética de lodos procedentes de distintos tipos de depuradoras. *Residuos 110*, 32–37.

Consumo energético en la planta y costos por hora, día, mes y año.

Equipo	Potencia	Energía consumida				Costo por consumo de energía			
	hp	kWh	kWh/día	kWh/mes	kWh/año	USD/hora	USD/día	USD/mes	USD/año
Bomba Canal	1,36	0,40	10,10	304,20	3701,70	0,05	1,20	36,50	444,20
Bomba 2	0,99	0,70	17,70	531,50	64670	0,09	2,10	63,80	776,00
Anóxico 1	0,15	0,10	2,70	80,50	979,80	0,01	0,30	9,70	117,60
Anóxico 2	0,15	0,10	2,70	80,50	979,80	0,01	0,30	9,70	117,60
Anóxico 3	0,15	0,10	2,70	80,50	979,80	0,01	0,30	9,70	117,60
Anóxico 4	0,15	0,10	2,70	80,50	979,80	0,01	0,30	9,70	117,60
Óxico 1	6,70	5,00	119,90	3597,30	43766,60	0,60	14,40	431,70	5252,00
Óxico 2									
		6,6	159	4 755	57 855	0,8	19	571	6 943

Posible cantidad de energía anual generada en la planta piloto.

Tarifa EEQ ¹²	0,12 USD/kWh
Volumen anual de purga de lodos residuales (<i>Lodo 1</i>)	29 200 L
Cantidad de lodo espeso (<i>Lodo 2</i>) disponible anualmente para la incineración	759 kg
PCI promedio	3,5 kWh/kg
Energía anual	2 619 kWh/año
Ahorro económico	314 USD/año

Lodos planta	Gran escala ¹³
5 %	50 %

¹². Empresa Eléctrica Quito (2016). Pliego tarifario del servicio de energía eléctrica

¹³. Redacción AINIA, 2012.

Cantidad de energía generada kWh/año y posible ahorro económico anual por aprovechamiento de los lodos residuales de la planta piloto.

Volumen diario de purga de lodos residuales (<i>Lodo 1</i>)	80 L
	80000 cm ³
Concentración de sólidos (<i>Lodo 2</i> contenido en el <i>Lodo 1</i>)	2,5 %
Volumen diario de lodo espeso (<i>Lodo 2</i>)	2000 cm ³
Densidad promedio del lodo espeso (<i>Lodo 2</i>)	1,04 g/cm ³
Cantidad de lodo espeso (<i>Lodo 2</i>) disponible para la incineración	2080 g
	2,08 kg
PCI promedio	2964,3 kcal/kg
	3,5 kWh/kg
Energía diaria	7,2 kWh/día
Energía anual	2619,2 kWh/año
Ahorro económico	314 USD/año

CONCLUSIONES

- Se logró conocer la composición, calidad y volumen de los lodos.
- La producción diaria de lodos residuales en la planta piloto es de 80 L, de los cuales el 2,5% es útil en la incineración, 2 kg/día disponibles.
- A mayor humedad es más difícil producir combustión y por ende el aprovechamiento energético será de menor eficiencia.
- Los lodos residuales presentan valores de poder calórico que permiten que su energía liberada sea aprovechada en procesos de valorización energética.
- La planta piloto funciona a pequeña escala por lo que es capaz de cubrir únicamente hasta el 5% de los gastos energéticos necesarios para su operación. En plantas de mayor escala se puede llegar a generar más energía.
- Los valores obtenidos de carga microbiológica en los lodos residuales fueron altos. No obstante, la incineración es un método de gestión que nos permite disminuir estas concentraciones y estabilizar los lodos de manera que no existan riesgos para la salud humana o el ambiente.
- Durante el tiempo de investigación, los valores obtenidos en los diferentes parámetros demuestran una tendencia a permanecer constantes o dentro de un rango poco variable.

CONCLUSIONES

- Existen ciertas variaciones dentro del rango que pueden deberse en gran parte a cambios estacionales con mayor presencia de lluvias y a factores de funcionamiento de la planta como es la frecuencia de las purgas llevadas a cabo por los operadores.
- La gestión de lodos residuales por incineración generaría mayores costos a la EPMAPS que los que se tienen actualmente con su disposición final en el Río Machángara.
- La concentración de azufre contenido en los lodos residuales es inferior a la encontrada en algunos combustibles fósiles utilizados comúnmente en Latinoamérica y que producen emisiones que afectan a la calidad ambiental.
- Los valores obtenidos de materia orgánica y nutrientes no coinciden con aquellos indicados en fertilizantes para la enmienda agrícola y pueden generar cambios en las propiedades del suelo, por lo que se confirma la importancia de direccionar este estudio al aprovechamiento de los lodos en la generación de energía u otro tipo de aprovechamiento.
- El análisis realizado a los lodos residuales permitió conocer la concentración de metales pesados en los mismos, de manera que se realice una gestión adecuada.
- Durante el periodo de investigación, los lodos no superaron los límites permitidos para metales pesados según la normativa nacional e internacional, por lo que no se realizó un análisis de las emisiones de contaminantes generados durante el proceso de incineración, ni de su concentración en las cenizas producidas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar las emisiones de contaminantes a la atmósfera durante la incineración de los lodos residuales para verificar que se cumpla con la normativa y de ser necesario incorporar un sistema de depuración de gases en el proceso de combustión.
- Se recomienda implementar un sistema de secado mecánico y térmico que reduzca el porcentaje de humedad a un valor máximo de 10%, valor óptimo para la incineración.
- Para una planta a gran escala, es recomendable mejorar el proceso de deshidratación de los lodos utilizando un filtro prensa, lecho de secado u otro.
- Se plantea la posibilidad de almacenar los lodos de la planta por un periodo largo de tiempo para incrementar su volumen, o recuperar los lodos de varias plantas de tratamiento para reunir la cantidad necesaria de lodos residuales para que un proceso de incineración sea factible desde un punto de vista económico y de operación. Esta actividad de almacenamiento por largos periodos, puede generar contaminación atmosférica por los fuertes olores que desprenden los lodos.
- Se recomienda a los operadores de las nuevas PTARs mantener un control adecuado en el funcionamiento de la misma para evitar tener malos olores y presencia de vectores.
- Se sugiere realizar estudios sobre la estabilización de los lodos por digestión anaerobia que permita estabilizar los lodos residuales y analizar el poder calorífico del metano producido en este proceso. Se conoce que el metano tiene un poder calorífico cercano a 8 551 kcal/kg, lo que puede representar mayores beneficios en la generación de energía vs. el valor de 2 964 kcal/kg presentes en los lodos analizados en esta investigación.

REFERENCIAS

- Arauzo, I., & Permuy Vila, D. (2008). La gestión de lodos y el protocolo de Kioto . El secado térmico y la valorización en cementera. *VII Coloquios de Directores Y Técnicos de Fábricas de Cemento: "Desarrollo, Innovación Y Sostenibilidad: Los Tres Pilares de La Industria Cementera,"* 12.
- Barrena, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso.* Universitat Autònoma de Barcelona.
- Becton, Dickinson and Company. (2013). BD Endo Agar: Instrucciones de uso - medio en placas listo para su uso. Alemania. Retrieved from <https://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8766>
- Blanco Jara, P. A. (2014). *Aprovechamiento de lodos residuales para cerrar el ciclo urbano del agua, mejorar la eficiencia energética y reducir los GEI: caso de la PITAR Nuevo Laredo.* *Journal of Chemical Information and Modeling.* Colegio de la Frontera Norte.
- Cabrera, M. (2016). *Cuantificación del poder calorífico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: papel, cartón, madera y materia orgánica de la Parroquia Limoncocha. Año 2015 - 2016.* Universidad Internacional SEK.
- Cáceres, L. (2013). Determinación de Materia Orgánica en Suelos y Sedimentos. Procedimiento operativo estándar. *Química Analítica Aplicada Inorgánica QMC-613,* 1–7.
- Calderón, A. (2017). *Caudales planta piloto de tratamiento de aguas de EPMAPS - Agua de Quito.* Quito.
- Campos Medina, E., García Rojas, N., Velásquez Rodríguez, A., & García Fabila, M. (2009). Análisis básico del reúso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca. *Universidad Autónoma Del Estado de México, 11(2),* 35–51.
- Colomer, F. J., Carlos, M., Gallardo, A., Bovea, M. D., & Herrera, L. (2009). Posibilidades de valorización de diferentes lodos de depuradoras. *XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos,* pp. 1–12. Badajoz.
- Conesa, J. (2014). *Lodos de depuración: Secado térmico y valorización energética.* Universidad de Alicante. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10045/36058>
- De Andrés, J. M. (2010). *Gasificación de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR).* Universidad Politécnica de Madrid.
- Donado, R. (2013). *Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los LLanos en el departamento del Meta.* Pontificia Universidad Javeriana.
- Egevasa. (2008). Biowin. *Tecnología Del Agua,* (299), 0–1.
- EPMAPS. (2016, June 16). EPMAPS con parámetros de tratamiento de aguas residuales en planta a pequeña escala. *Alcaldía Quito,* p. 1. Quito. Retrieved from http://prensa.quito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=19778&umt=EPMAPS con par%E1metros de tratamiento de aguas residuales en planta a peque%F1a escala
- García, R. (2001). Combustión y combustibles. *Teoría de La Combustión,* 1, 1–23.
- Granados González, I. (2015). *Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR.* Universidad de Córdoba. Retrieved from <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13199>
- Hammeken, A., & Romero, E. (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula.* Universidad de las Américas Puebla. Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo8.pdf
- Hierro Guilmain, J. (2003). Los lodos de depuración de aguas residuales urbanas. In *Los residuos urbanos y asimilables* (Consejería, pp. 495–550). Andalucía: Junta de Andalucía.
- Leppe, A., López, A., & Nelson, P. (2002). *Lodos provenientes de plantas de aguas servidas: potencialidades y restricciones; temores y realidades.* Cancún.
- Limón Macías, J. (2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Guadalajara.
- Melgratti, de I. M. R. (2005). Procedimientos analíticos para suelos normales y salinos. Técnicas usadas en el laboratorio de suelos y agua. *INTA, Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña,* (Laboratorio de Suelos y Agua), 1–26.
- Mendoza, F. J. C., Alberola, M. C., Herrera, L., Gallardo, A., & Bovea, M. D. (2009, Marzo). Viabilidad de la valorización energética de lodos procedentes de distintos tipos de depuradoras. *Residuos 110,* 32–37.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación de España. (1990, Noviembre). Real Decreto 1310/1990: Utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. *BOE Núm. 262,* 32339–32340.
- Ministerio de Medio Ambiente de España. (2003). Real Decreto 653/2003: Incineración de residuos. *BOE Núm. 142,* 22966–22980.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España. (2009). *Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España.* España.
- Norma Mexicana. (2013). *Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. NMX-AA-004-SCFI-2013 ANÁLISIS.*
- Osorio, P. C., & Peña, D. (2009). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región., 1–18.
- Peñaherrera Proaño, M. A. (2015). *Estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante digestión anaerobia.* Universidad de las Américas, Quito.
- Pistonesi, C., Haure, J. L., & D'Elmar, R. (2013). Energía a partir de las aguas residuales. *Editorial de La Universidad Tecnológica Nacional,* 1–63.
- Pliengo Bravo, Y., García, M., Urrea, G., & Vergara, M. (2014). Simulación del proceso termoquímico sugerido para el aprovechamiento de los lodos residuales como fuente de energía alterna. *Revista Mexicana de Ingeniería Química,* 13(2), 619–629.
- Redacción AINIA. (2012). FACSA y ainia estudian maximizar la obtención de energía a partir de lodos de depuradora. Retrieved April 19, 2017, from <http://www.ainia.es/noticias/facsa-y-ainia-estudian-maximizar-la-obtencion-de-energia-a-partir-de-lodos-de-depuradora/>
- Rodríguez, E., Isac, L., Fernández, N., & Salas, M. D. (2004). Beneficios medio ambientales de la depuración de las aguas residuales. Optimización del reciclado. *Ingeniería Municipal,* 17–20.
- Secretaría de Ambiente del DMQ. (2016). *Norma técnica de desechos peligrosos y especiales (NT005).* Quito.
- Sixtos, C. (2011). Procedimientos y técnicas para la realización de estudios coproparásitoscópicos. *Virbac Al Día,* 3(24), 12.
- Torres, E. (2005). *Reutilización de aguas y lodos residuales.* Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaar/efulltext/gestion/lodos.pdf>

¡GRACIAS!
