

Análisis de alternativas para el uso o disposición final de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Paipa (Boyacá)

Alternative Analysis to the Use or final Disposition of the Sludge Generated by the Residual Water Treatment's Plant of Paipa City (Boyacá)

Édisson Ramiro Cepeda Arias*
José Salvador Montañez Pérez**

Resumen

Se presenta el análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas de los lodos producidos bajo un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales domésticas, específicamente de lodos activados con aireación extendida para una planta que trata un flujo de 103 m³/h. Se clasificó el lodo generado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Paipa según las concentraciones de metales pesados y patógenos presentes, de acuerdo con la normatividad internacional vigente, y se analizaron las diferentes alternativas de uso o disposición final, soportándose en normas preliminares colombianas y estándares internacionales; se incluye, además, el análisis de la disposición final sin ninguna intención de reciclaje o recuperación, como lo es el relleno sanitario y la incineración, junto con la evaluación de las diferentes alternativas para plantear la solución más viable desde el punto de vista ambiental, sanitario, económico y social.

Palabras clave: Biosólidos, Lodo de aguas residuales, Disposición de lodos.

Abstract

It is shown the analysis of the physical, chemical and microbiological characteristics of the sludge produced by a system of biological treatment of domestic residual waters, specifically for the slush activated with extended aeration that comes from a plant that treats a flow of 103 m³/h. The mud generated in the Wastewater Treatment's Plant of Paipa, was classified according the concentrations presence of heavy metals and pathogens, defined by the international normative in force.

Different alternatives uses and/or final disposition were analyzed, supported on preliminary Colombian norms and international standards. It is also included, the analysis of the final disposition without any recycle process or recovery intention such as: The sanitary filler and the incineration, also the evaluation of the different possibilities to outline the most viable solution from the environmental, sanitary, economic and social point of view.

Key Words: Biosolids, Wastewater sludge, Sludge use and disposal.

* Ingeniero Civil, Especialista en Ingeniería Ambiental. Estudiante Maestría en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia. Correo e.: ercepedaa@unal.edu.co

** Ingeniero Sanitario, Especialista en Ingeniería Ambiental. Correo e.: jososalvador@hotmail.com

1. Introducción

Encontrar para los lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales un uso adecuado, como agente de procesos o como materia prima, puede significar la conversión de un problema en un beneficio. La evaluación de la factibilidad de los usos posibles de los lodos, considerando las peculiares características del entorno natural y social, requiere plantear un proyecto de investigación.

Las políticas actuales y las prospectivas a futuro muestran que los desechos y residuos generados de las actividades humanas primarias tendrán una gran utilización en campos relacionados con la agricultura, la recuperación de suelos agotados, la horticultura, la utilización en jardines y el compostaje, ya que estos desechos, mejor conocidos como biosólidos, contienen gran cantidad de nutrientes y microorganismos potencialmente utilizables.

Muchos países del mundo han desarrollado estudios para determinar las características propias de los biosólidos generados en algunas de sus regiones y sus posibles aplicaciones, que dependen de las características de las aguas residuales y de los sistemas de tratamiento empleados para depurarlas. Colombia apenas comienza a incursionar en la utilización de estos recursos, bien sea porque son pocas las plantas de tratamiento de aguas residuales que han comenzado a operar en el país o por el temor a utilizar residuos generados del tratamiento de aguas contaminadas, los cuales puedan llegar a generar problemas sanitarios.

Paipa cuenta actualmente con la mejor planta de tratamiento de aguas residuales del departamento de Boyacá y una de las mejores a nivel nacional, la cual opera con eficiencias mayores del 90%, contribuyendo al mejoramiento de las condiciones ambientales de la región. Dicho proceso de tratamiento debe ser acompañado de una adecuada gestión integral de los lodos generados, para evitar la pérdida de estos recursos o su utilización en forma equivocada, generando perjuicios al medioambiente y la salud pública. La Planta de Tratamiento de Aguas

Residuales Domésticas del Municipio de Paipa es de tipo secundario, bajo el sistema de lodos activados con aireación extendida; fue diseñada por la Empresa Aguas de Colombia Ltda., en el año 2001; la construcción y operación fue realizada por la misma empresa en el periodo comprendido entre los años 2002 y 2004, bajo la interventoría de Uniboyacá. El caudal de diseño de la planta fue de 108 m³/h o 30 l/s. Los componentes más importantes de esta obra contratada por la Secretaría de Servicios Públicos del municipio de Paipa son:

- Desbaste por medio de tamices estáticos y trampas de grasas.
- Una fracción de 10 litros/s se trata previamente en el filtro percolador existente.
- Se utiliza un tanque para amortizar los caudales.
- Sistema de lodos activados de aireación prolongada que consiste en dos cámaras de aireación con cuatro cámaras de sedimentación.
- El agua es desinfectada por medio de cloro dispuesto en una bala de 38 kg y suministrado al agua en tubería por medio de eyectores en una cámara de contacto.
- El agua pasa por sistema de filtros de arena para filtración final.
- El tratamiento de los lodos se realiza primero con un concentrador de lodos y posteriormente con un filtro prensa; el agua de desecho retorna a la cabeza del proceso.

En esta investigación se estudian los diferentes parámetros agronómicos, químicos y microbiológicos, como lo son los metales pesados y la patogenicidad o sanidad de los lodos, todo con el fin de analizar la posibilidad de reutilización con fines agrícola y pecuario, forestal, de elaboración de fertilizantes y enmiendas orgánicas, cobertura final e intermedia en rellenos sanitarios y finalmente para contemplar opciones de disposición final: monodisposición, codisposición e incineración. Todos estos análisis enmarcados dentro de la normatividad nacional (todavía no oficial) e internacional (Comunidad Económica Europea y Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos, entre otras), que permiten realizar una clasificación del tipo de lodo generado.

2. Análisis y resultados

Caracterizar los lodos es fundamental para una adecuada gestión, pues dependiendo de la calidad se da prelación a una u otra alternativa de aprovechamiento o disposición final.

Los lodos se sometieron a análisis que permitieron determinar: contenido de metales pesados, contenido de nutrientes y contenido de patógenos y parásitos, ya que desde el punto de vista de reutilización son los parámetros más importantes. Adicionalmente se determinaron algunas propiedades físicas y químicas básicas.

Para determinar los valores y concentraciones de los diferentes parámetros, los análisis se realizaron con base en las técnicas establecidas por los Protocolos Internacionales de Laboratorio: Agencia de

Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA), Standard Methods (SM) y en normas nacionales para el Análisis de Suelos en Laboratorio, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Los muestreos para determinar las propiedades o características físicas, químicas y microbiológicas de los lodos se realizaron una vez acabado el proceso de tratamiento de las aguas residuales y teniendo en cuenta que fuesen representativos de los lodos producidos.

2.1 Caracterización física de los lodos

Los dos parámetros fueron determinados para 10 muestras simples, en 2 épocas diferentes, de dos años consecutivos: en los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2005, y en los meses de junio y julio de 2006. Los resultados se muestran en la tabla 1 y la gráfica 1.

Tabla 1. Resultados de la caracterización física de los lodos.

Muestra	Fecha	Contenido de humedad (%)	(%) De materia seca
1	22/09/2005	90	10
2	04/10/2005	86	14
3	07/10/2005	85,4	14,6
4	14/10/2005	89,2	10,8
5	21/10/2005	86	14
6	02/11/2005	91	9
7	16/11/2005	87	13
8	15/06/2006	88,5	11,5
9	21/06/2006	83,6	16,4
10	05/07/2006	84,5	15,5
Media		87	13

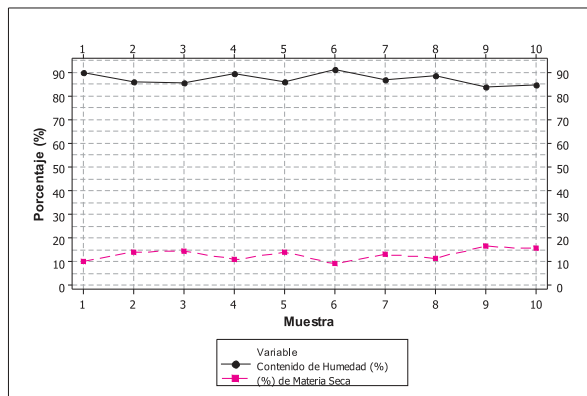


Figura 1. Contenido de humedad y porcentaje de materia seca de los lodos.

2.2 Caracterización química de los lodos

2.2.1 Química agronómica. Tendiente a determinar los diferentes tipos de nutrientes primarios y

secundarios que poseen los lodos. En la tabla 2 se relacionan los diferentes parámetros analizados y los métodos empleados; y en las gráficas 2 y 3 y en la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 2. Parámetros químicos agronómicos.

Parámetro	Método
Materia orgánica (M.O.) (%)	Walkley-Black
pH	Relación 1:1
Capacidad de intercambiocatiónico CIC	Acetato de amonio normal y neutro
Conductividad eléctrica CE. (ds/m)	Extracto de saturación (Conductivímetro)
Fósforo (P ₂ O ₅) (%) Disponible	Bray II - Colorimetría
Sodio (%) Potasio (K ₂ O) (%) Calcio (Ca ⁺⁺) (%) Magnesio (Mg ⁺⁺) (%)	Ext. NH ₄ Ac-Absorción Atómica
Fe Mn Cu Zn	Ext. DTPA-Absorción Atómica

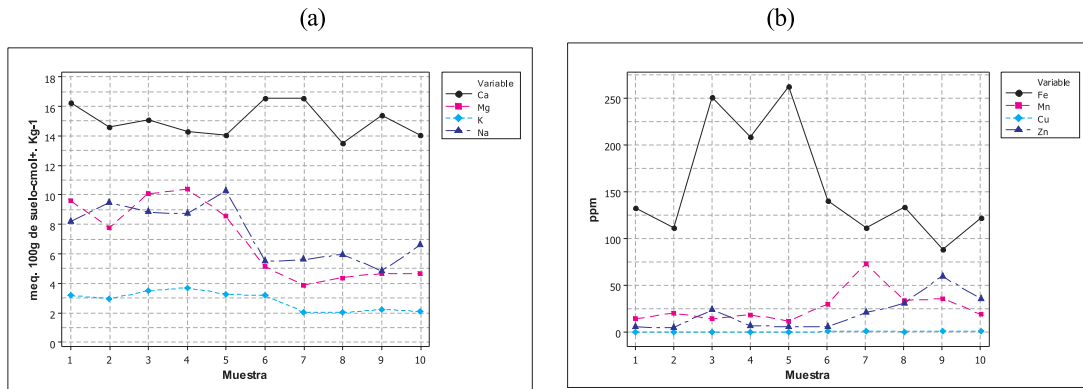


Figura 2. Contenido de nutrientes primarios (a). Contenido de nutrientes secundarios (b).

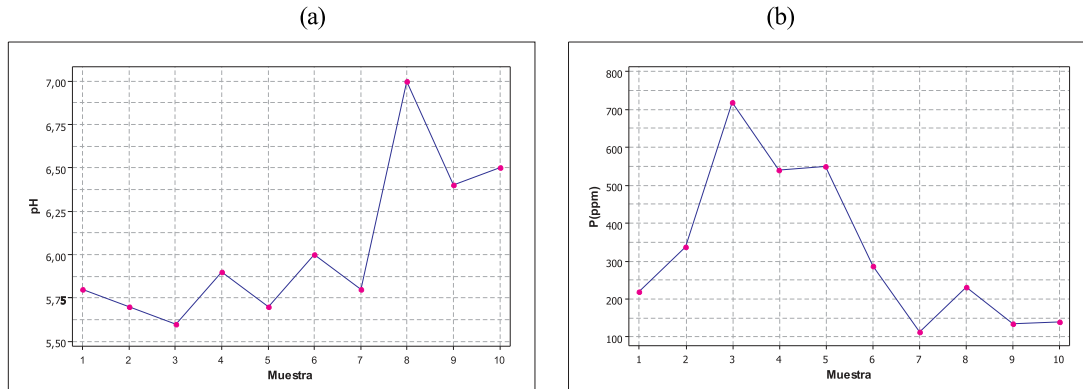
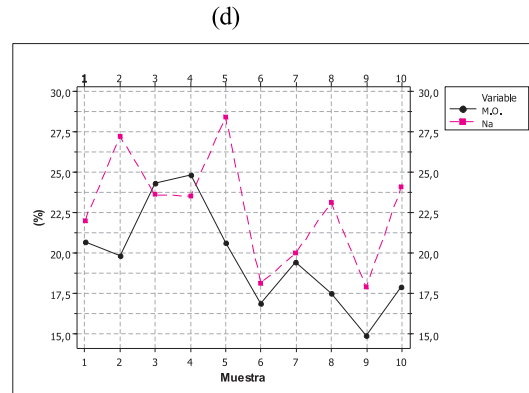
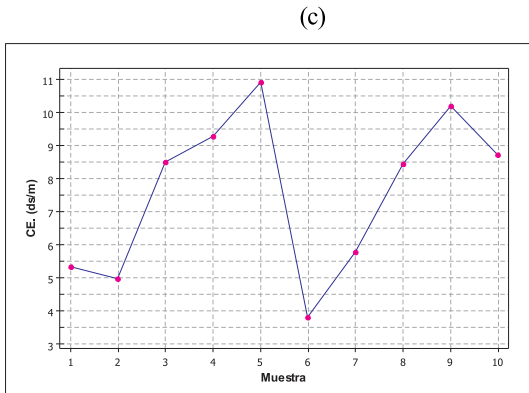


Figura 3. (a) Ph. (b) Concentración de fósforo. (c) Conductividad eléctrica. (d) Porcentaje de materia orgánica y sodio.



2.2.2 Química general. Se determinó la presencia de metales pesados; los parámetros fueron definidos a partir de los incluidos en las diferentes normatividades internacionales, abarcando la totalidad de estos, ya que algunas legislaciones no los incluyen todos. Se analizaron además otros parámetros adicionales, como el contenido de carbono, nitrógeno y azufre.

2.2.2.1 Determinación de metales pesados (ppm). El muestreo para determinar el contenido de

metales pesados constó de dos muestras simples con 15 días de intervalo, correspondiente a temporada seca del mes de junio y julio de 2006, correlacionadas con las muestras 9 y 10 de la caracterización física y química (tablas 1 y 3). Se reportó para estos dos resultados la media aritmética (ver tabla 4).

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Ambiental, Centro de Investigación en Ingeniería Ambiental (CIIA), de la Universidad de los Andes (ver resultados en la tabla 4).

Tabla 3. Resultados de la caracterización química agronómica.

Muestra	Fecha	pH	% M.O.		P(ppm)BrayII	meq. 100g de suelo-cmol+. Kg-1					Elementos menores (ppm)				% Na	CE. (ds/m)
			*	**		Ca	Mg	K	Na	CICE	Fe	Mn	Cu	Zn		
1	22/09/2005	5,8	20,7		219	16,3	9,61	3,17	8,23	37,31	132	14,1	0,14	5,11	22	5,33
2	04/10/2005	5,7	19,8		337	14,6	7,77	2,96	9,47	34,8	111	19,9	0,08	4,61	27,2	4,97
3	07/10/2005	5,6	24,3		719	15,1	10,1	3,49	8,85	37,54	251	13,8	0,04	23,9	23,6	8,48
4	14/10/2005	5,9	24,8		539	14,3	10,4	3,71	8,73	37,14	208	18,1	0,03	6,18	23,5	9,28
5	21/10/2005	5,7	20,6		549	14,1	8,57	3,26	10,3	36,23	262	11,7	0,01	5,71	28,4	10,9
6	02/11/2005	6	16,9		286	16,6	5,12	3,17	5,49	30,35	140	29,9	0,19	5,56	18,1	3,81
7	16/11/2005	5,8	19,4		113	16,6	3,87	2,05	5,63	28,15	111	72,4	0,33	20,6	20	5,76
8	15/06/2006	7,0	17,5		232	13,5	4,38	2,02	5,97	25,87	133	33,3	0,15	30,2	23,1	8,44
9	21/06/2006	6,4	14,9	75	135	15,4	4,69	2,23	4,86	27,18	88,4	35,6	0,64	59,8	17,9	10,2
10	05/07/2006	6,5	17,9	38,4	139	14,1	4,67	2,09	6,62	27,48	122	18,8	0,18	34,8	24,1	8,71
11	10/08/2006			59												
Promedio		6,0	19,7	58	326,8	15,1	6,9	2,8	7,4	32,2	155,8	26,8	0,18	19,6	22,8	7,6

* Método Walkey Black. ** Método a partir de cenizas.

Tabla 4. Resultados de concentración de metales pesados en lodos PTAR municipio de Paipa.

Parámetro	Concentración (mg/kg) base seca (ppm) Muestra 1	Concentración (mg/kg) base seca (ppm) Muestra 2	Media aritmética (mg/kg) base seca (ppm)
Arsénico	<0,03	<0.03	<0.03
Cadmio	2.0	1.9	2.0
Cobre	99	111	105
Plomo	38	36	37
Mercurio	<0.03	<0.03	<0.03
Níquel	17.1	18.7	17.9
Selenio	<0.01	<0.01	<0.01
Cromo	19	18	18.5
Cinc	593	583	588
Molibdeno	<3.2	<3.2	<3.2

Se puede observar que los resultados obtenidos para los dos muestreos arrojaron valores muy parecidos de concentraciones de metales pesados, es decir, el grado de variabilidad es mínimo.

2.2.2.2 Determinación de parámetros químicos generales, adicionales. Los parámetros químicos adicionales se incluyeron para tener mejores elementos de juicio al momento de analizar las diferentes alternativas de uso de los lodos.

El muestreo para estos parámetros consistió de tres muestras simples, correspondientes a los meses de junio, julio y agosto de 2006; las dos primeras correlacionadas con las muestras 9 y 10 de la caracterización física y química agronómica de las tablas 1 y 3; la tercera correspondiente a una nueva muestra (n.o 11). Estos ensayos se realizaron también en el Laboratorio Ambiental de la Universidad de los Andes; en la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5. Resultados parámetros químicos adicionales.

Muestra	Fecha	Carbono (C) (%)	Nitrógeno total NTK (%)	Azufre (S) (%)
9	21/06/2006	28,1	3,5	0,03
10	05/07/2006	33,8	3,1	0,04
11	10/08/2006	26,6	2,32	-
Media aritmética	29,5	3,0	0,035	

2.3 Caracterización microbiológica de los lodos

El muestreo para determinar el contenido de patógenos y parásitos constó de cinco muestras simples obtenidas en los meses de noviembre de 2005 y junio y julio de 2006. Los resultados se informan como la media geométrica para los coliformes fecales

y salmonella y la media aritmética para los huevos de helminto [1].

2.3.1 Helmintos. Se utilizó el método EPA/625/92/013(1999), modificado por Schwartzbrod (2002) (ver tabla 6). Las especies de huevos de Helminto encontradas se muestran en las fotos 1 y 2.

Tabla 6. Resultados de huevos de helminto en lodos.

Muestra	Fecha	Huevos de helminto/5 kg Húmedo	Huevos de helminto/4 gr Base seca	Género
6	02/11/2005	53	0,33	Ascaris sp.
7	16/11/2005	130	0,80	Hymenolepis sp.
8	15/06/2006	97	0,60	Hymenolepis sp.
9	21/06/2006	51	0,31	Hymenolepis sp.
10	05/07/2006	42	0,26	Hymenolepis sp.
Media aritmética	0,5			



Foto 1. Microfotografía. Huevos de helminto encontrados, especie hymenolepis sp.
Fuente: Pérez Ortiz, 2003.

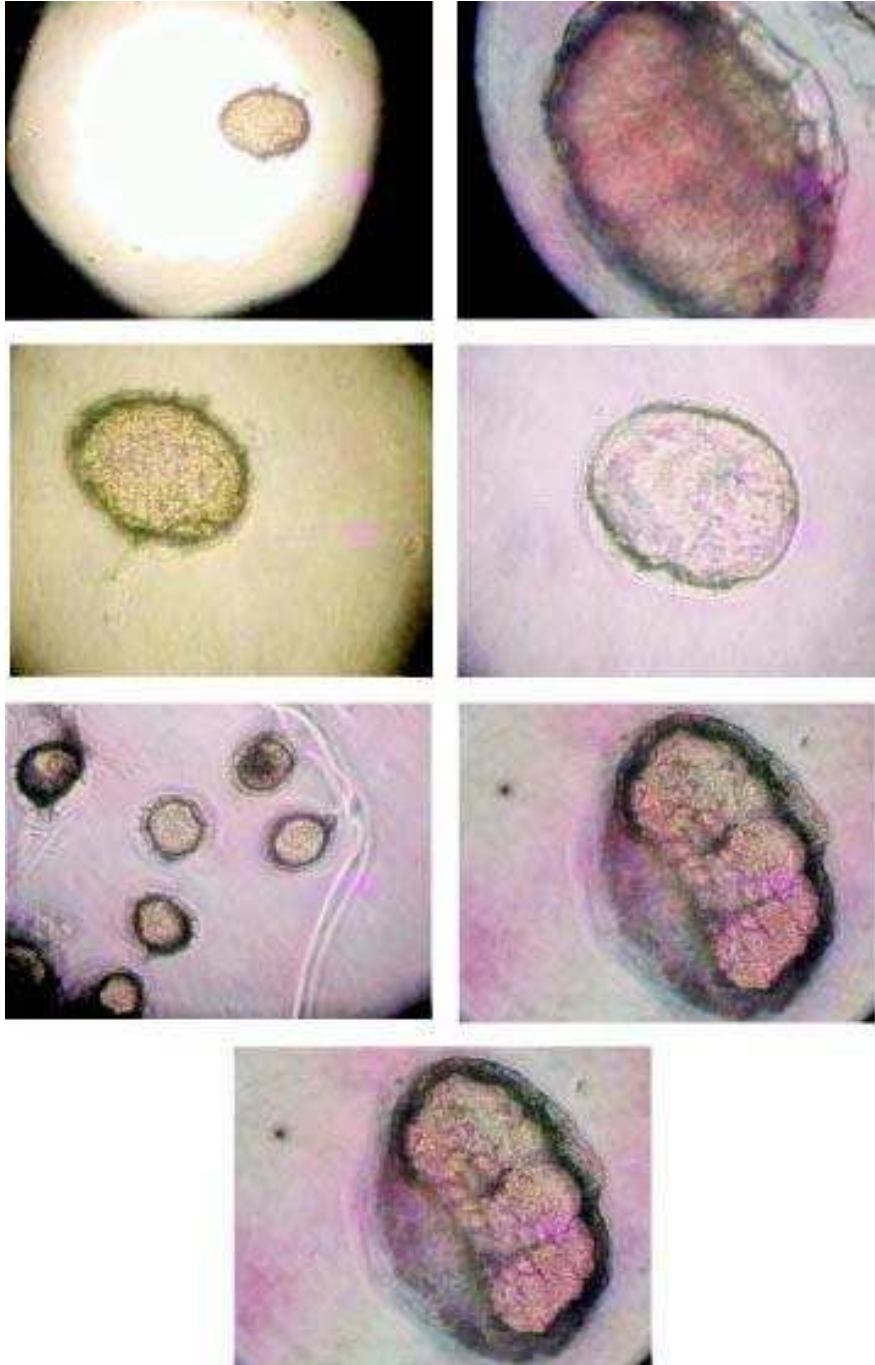


Foto 2. Microfotografía. Huevos de Helminto encontrados, género *Ascaris* sp.
Fuente: autores

2.3.2 Coliformes fecales. Método 9221 E, técnica probable (NMP) para coliformes fecales según de fermentación en tubo múltiple o número más Standard Methods (ver tabla 7).

Tabla 7. Resultados de contenido de coliformes fecales en lodos.

Muestra	Fecha	Tubos positivos Sol. A	Tubos positivos Sol. B	Tubos positivos Sol. C	Combinación	NMP/g
6	02/11/2005	5/5	4/5	1/5	5.4.1	3,4x10 ⁴
7	16/11/2005	0/5	0/5	0/5	0.0.0	-----
8	15/06/2006	4/5	1/5	0/5	4.1.0	5,7x10 ⁴
9	21/06/2006	3/5	0/5	0/5	3.0.0	4,0x10 ⁴
10	05/07/2006	4/5	1/5	1/5	4.1.1	4,2x10 ⁴
Media geométrica						4,25x10 ⁴

2.3.3 Salmonella sp. Método 9260 E, NMP para Salmonella sp. según Standard Methods. De los resultados se puede observar que el grado de variabilidad es cercano al del parámetro de huevos de helminto (ver resultados en la tabla 8).

Tabla 8. Resultados de contenido de Salmonella sp. en lodos.

Muestra	Fecha	Tubos positivos Sol. A	Tubos positivos Sol. B	Tubos positivos Sol. C	Combinación	NMP/g
6	02/11/2005	4/5	1/5	1/5	4.1.1	4,2x10 ⁴
7	16/11/2005	2/5	3/5	0/5	2.3.0	6,0x10 ⁴
8	15/06/2006	4/5	2/5	0/5	4.2.0	7,4x10 ⁴
9	21/06/2006	2/5	2/5	0/5	2.2.0	2,0x10 ⁴
10	05/07/2006	4/5	1/5	0/5	4.1.0	5,7x10 ⁴
Media geométrica						4,63x10 ⁴

2.4 Clasificación de los lodos

Se puede observar que los lodos producidos en el municipio de Paipa tienen concentraciones de metales pesados muy por debajo de los valores estipulados en las diferentes reglamentaciones (EPA [1] y CEE [2]), por lo que la calidad del lodo en este aspecto es muy buena y favorable para las diferentes aplicaciones. Específicamente, los parámetros son

inferiores a los estipulados por la EPA, es decir, que el lodo generado se puede considerar como lodo no peligroso. (Ver tabla 9)

Los lodos no peligrosos pueden ser de Buena Calidad o de Mala Calidad, según su contenido de metales pesados en forma más rigurosa, según la normatividad propuesta por la EPA, "Concentración del componente para una calidad excepcional" (ver tabla 10).

Tabla 9. Comparación entre la concentración de metales pesados obtenida y los límites máximos permisibles de la Normatividad Internacional.

Parámetro	Media Aritmética (mg/kg) base seca (ppm)	EPA (Environmental protection Agency) Estados Unidos	CEE Directiva	CEE Propuesto	Valores límite: suelos con pH<7 España	Valores límite: suelos con pH>7
Arsénico	<0.03	75	----	----	----	----
Cadmio	2.0	85	20-40	10	20	40
Cobre	105	4300	1000-1750	1000	1000	1750
Plomo	37	840	750-1200	750	750	1200
Mercurio	<0.03	57	16-25	10	16	25
Níquel	17.9	420	300-400	300	300	400
Molibdeno	<3.2	75	----	----	----	----
Selenio	<0.01	100	----	----	----	----
Cromo	18.5	----	----	----	1000	1500
Zinc	588	7500	2500-4000	2500	2500	4000

Fuente: Autores.EPA.

Tabla 10. Comparación entre la concentración de metales pesados obtenida y la concentración para una calidad excepcional.

Parámetro	Media Aritmética (mg/kg) base seca (ppm)	EPA (Environmental protection Agency) Estados Unidos	EPA concentración del componente para una calidad excepcional, (mg/kg)
Arsénico	<0.03	75	41
Cadmio	2.0	85	39
Cobre	105	4300	1500
Plomo	37	840	300
Mercurio	<0.03	57	17
Níquel	17.9	420	420
Molibdeno	<3.2	75	----
Selenio	<0.01	100	100
Cromo	18.5	----	----
Zinc	588	7500	2800

Fuente: Autores, EPA.

Se puede observar que la concentración de metales pesados está también por debajo de esta propuesta más rigurosa, por lo que los lodos se pueden considerar de buena calidad.

Un lodo de buena calidad se clasifica como Lodo Clase A o Lodo Clase B, de acuerdo con los límites de calidad microbiológica [3] presentados en la tabla 11. Se puede observar que clasifica como lodo clase B, ya que los valores de coliformes fecales, salmonella y huevos de helminto no cumplen para clase A.

Tabla 11 Comparación de las características microbiológicas de los lodos con los límites permisibles según normatividad.

Parámetro	Valor obtenido	Lodo Clase A	Lodo Clase B
Coliformes fecales o salmonella	4,25x10 ⁴ NMP/g 4,63x10 ⁴ NMP/g	<1000 NMP/g o UFC/g <3 NMP/4g	<2000000 NMP/g o UFC/g
Huevos de helminto	2,0 huevos/4 g	1 huevo viable/4 g	

Fuente: Autores. EPA.

En función de la clasificación mencionada anteriormente en la siguiente tabla se indican las posibilidades de aprovechamiento de los lodos.

Tabla 12. Susceptibilidad de aprovechamiento en función de la clasificación.

Usos	Tipo de lodo por utilizar				
	No Peligroso				Peligroso
	Buena Calidad		Mala Calidad		
	Clase A	Clase B	Clase A	Clase B	
Agrícola y pecuario	*	*			
Forestal	*	*	*		
Recuperación de suelos degradados	*	*	*		
Ornato y recreación	*	*			
Elaboración de abonos y enmiendas	*	*			
Cobertura final en rellenos sanitarios	*	*			
Cobertura intermedia en rellenos sanitarios	*	*	*	*	
Biorremediación	*	*			
Materiales de construcción	*	*	*	*	*

Fuente: Corantioquia.

2.5 Evaluación de alternativas

A continuación se realiza la evaluación de cada una de las alternativas de uso y de disposición final, con respecto a los cuatro aspectos más importantes por tener en cuenta, para la elección de la alternativa más viable (ver matriz de evaluación, tabla 13). De la matriz de evaluación se puede observar que las alternativas de utilizar los lodos tal como salen de la PTAR con fines agrícola, pecuario, forestal, de silvicultura, ornato y recreación, no serían viables socialmente, como consecuencia de los posibles efectos o impactos

negativos que podrían generarse; pero para los aspectos más importantes, es decir, ambiental, sanitario y económico, serían viables atendiendo las debidas restricciones. La alternativa de elaboración de fertilizantes no es viable económicamente, mientras que para la obtención de abonos y enmiendas orgánicas, y la de emplear lodos como material de cobertura final e intermedia en rellenos sanitarios son ambientalmente viables, al igual que para los demás aspectos. Finalmente, puede afirmarse que las alternativas de disposición final, excepto la codisposición, no son viables por las razones expuestas en el análisis de alternativas.

Tabla 13. Evaluación de alternativas de uso y disposición final de los lodos de la PTAR del municipio de Paipa.

Alternativa	Ambiental	Sanitario	Económico	Social
Agrícola y pecuario	Viable	Viable	Viable	No Viable
Forestal, silvicultura, ornato y recreación	Viable	Viable	Viable	No Viable
Elaboración de fertilizantes	Viable	Viable	No Viable	Viable
Elaboración de abonos y enmiendas	Viable	Viable	Viable	Viable
Cobertura final e intermedia en rellenos Sanitario	Viable	Viable	Viable	Viable
Monodisposición	No Viable	Viable	No Viable	Viable
Codisposición	No Viable	Viable	Viable	Viable
Incineración	No viable	No viable	No viable	No Viable

2.6 Alternativa recomendada

La alternativa más viable desde el punto de vista ambiental, sanitario, económico y social es la de elaboración de abonos o enmiendas orgánicas; en este caso, mediante el proceso de compostaje aerobio de lodos con la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, ya que esta permitiría un aprovechamiento con un valor mínimo de costos, y ambientalmente y sanitariamente no tendría ningún grado de riesgo, ya que si en algún momento la patogenicidad de los lodos llegase a sobrepasar la clasificación tipo A, podría subsanarse gracias a la estabilización e higienización de los lodos que se alcanzaría con este procedimiento, reduciéndolos por debajo de los niveles detectables, luego de lo cual haría completamente viables las dos alternativas de uso analizadas inicialmente (agrícola y pecuario; forestal, silvicultura, ornato y recreación).

3. Conclusiones y recomendaciones

La caracterización química agronómica permitió demostrar que los lodos generados en la PTAR del municipio de Paipa poseen un alto contenido de nutrientes primarios y secundarios que pueden mejorar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos.

La caracterización química general permitió establecer que los lodos tienen una buena relación carbono/nitrógeno (C/N), que los hace aptos para el proceso de compostaje; además, la concentración de metales pesados es muy baja, cumpliendo a plenitud con las normas internacionales, como las de la

Comunidad Económica Europea y la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos, entre otras, posibilitándolos para la mayoría de las opciones de uso o disposición final.

La caracterización microbiológica permitió establecer que la determinación de coliformes fecales por unidad de peso seco fue mayor a 103 NMP/g y menor de 106 NMP/g, con un valor medio de 4.25×10^4 NMP/g; que la presencia de salmonella sobrepasa el límite para lodo clase A >3 NMP/ 4g en base seca, con un valor medio de 4.63×10^4 NMP/g, y que la cantidad de parásitos (huevos de helminto) fue superior a los 1 huevo viable/4g especificados para lodo clase A.

Los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Paipa, según la caracterización física, química y microbiológica realizada, y su correspondiente clasificación de acuerdo con la normatividad internacional, son catalogados como biosólidos, es decir, lodos no peligrosos, de buena calidad. Además, según la cantidad de metales pesados en forma más rigurosa, poseen concentraciones de componentes para una calidad excepcional, y según las concentraciones de microorganismos patógenos pertenecen a la clasificación de lodos tipo B.

Estos materiales tienen potencial para ser aplicados como enmiendas en el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos, por su alto aporte de materia orgánica. Es conveniente realizar mezcla y compostaje de estos lodos con residuos sólidos urbanos u otros materiales de mayor contenido de

nutrientes y alta relación C/N, con el fin de enriquecerlos, estabilizar su composición y realizar aportes más significativos al suelo, además de contribuir mediante este proceso a la reducción de patógenos que puedan afectar la salud humana.

Los lodos pueden ser utilizados para los siguientes usos en forma segura (previo proceso de estabilización) o con algún grado de riesgo controlado (sin estabilizar teniendo en cuenta las debidas restricciones): como abono en jardines y macetas de casas de habitación y edificios públicos y privados, áreas verdes para recreación pública y privada con contacto directo humano, viveros y campos deportivos, en separadores urbanos, en taludes de vías de comunicación, panteones, bosques, en restauraciones paisajísticas y empradizaciones.

Los lodos pueden ser utilizados con fines agrícolas, pecuarios y para restauración de suelos, teniendo en cuenta las debidas precauciones de acuerdo con el contenido de microorganismos patógenos presentes en el lodo en función del tipo de cultivo por desarrollar y del grado de exposición a los animales y al ser humano; es decir, que para la aplicación en agricultura se debe tener en cuenta el tiempo de restricción previo al cultivo para reducir el riesgo sanitario, aunque lo ideal es aplicarlos una vez han sido estabilizados mediante procesos de compostaje.

Inicialmente pueden utilizarse los lodos en arborización, empradización y recuperación de áreas degradadas, en mezcla con el suelo, en forma de enmienda orgánica. Las dosis por aplicar dependerán del tipo de suelo y de estudios agronómicos previos.

De acuerdo con los resultados, es conveniente no utilizar estos lodos en suelos con problemas de salinidad, ya que por su alta conductividad eléctrica el problema empeoraría.

La disposición final es factible para cualquiera de sus opciones, pero ambientalmente y económicamente no es la más apropiada.

Los lodos destinados a cualquiera de los usos deberán someterse a monitoreo periódico, según la producción

de la planta de tratamiento de aguas residuales, que para el municipio de Paipa es menor a 120 toneladas anuales (producción en base seca), por lo que la frecuencia de muestreo debería ser de aproximadamente 18 meses, aunque recomendamos que sea anual, debido a la composición variable de los lodos.

Es conveniente evaluar el efecto que tenga la aplicación de los lodos residuales en diversos cultivos, dependiendo de la zona en la cual se vayan a utilizar. Estas evaluaciones deben ir encaminadas a buscar alternativas adecuadas de manejo de estos materiales, la viabilidad económica de su uso y su mejor aprovechamiento en la producción agrícola.

Antes de realizar aplicaciones al suelo del compost obtenido de los lodos, es conveniente llevar a cabo análisis fitopatológicos de este, a fin de determinar la presencia de patógenos que puedan representar problemas para el establecimiento de cultivos. Así mismo, es conveniente realizar pruebas adicionales como: densidad real, capacidad de retención de humedad y pérdidas por volatilización, para dar cumplimiento más estricto a las normas existentes en Colombia.

En todo caso de utilización de lodos para fines agrícolas, bien sea solos, en mezclas o como bioabonos, se deberá contar con un certificado del ICA que lo acredite para este uso, para lo cual la administración municipal deberá realizar la gestión pertinente.

Referencias

- [1] EPA, Code of Federal Regulations (CFR), 40 CFR, parte 503 de 1993.
- [2] Directiva 86/278 CEE del Consejo de la Comunidad Europea (12 diciembre de 1986).
- [3] EPA/625/R-92/013 de 1999 EPA, y Code of Federal Regulations (CFR), 40 CFR, parte 503 de 1993.

Bibliografía

Aguas de Colombia Ltda. Resumen del Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para el Municipio de Paipa. Agosto 2002. 20 p.

- Biosolids applied to land: advancing standards and practices. Committee on Toxicants and Pathogens in Biosolids Applied to Land. Board on Environmental Studies and Toxicology. Division on Earth and Life Studies. National Research Council. National Academy Press Washington, DC. 2003.
- Bruce, A.; Davis, R. Sewage sludge disposal: current and future options. *Wat.Sci. Tech.* 21:1113-1128. 1989.
- Castillo, G.; Ortega, A. Use in agriculture of sludge from chemical treatment of sewage. *Wat. Sci. Tech.* 19:139-145. 1987.
- Castro F. Hugo E. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Instituto Universitario Juan dDe Castellanos. Tunja. 1998. 360 p.
- Convenio IDEAM-UTP- CINARA. Proyecto de selección de tecnologías para el control de la contaminación ambiental por aguas residuales domésticas para poblaciones.. Cali, 2005
- Environmental Protection Agency. Process Design Manual. Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage. Office of Research and Development. EPA/625/K-95/001. Washington, DC 20460. 1995.
- Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. (Including Domestic Septage). Under 40 CFR Part 503.
- EPA. 1999. Environmental Protection Agency. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. EPA/625/R-92/013.
- Foster, D.; Southgate, D. Social institutions influencing land application of wastewater and sludge. *Journal WPCF* 56(5): 399-403. 1984.
- Hernández Muñoz, Aurelio. Depuración de aAguas rResiduales. Cátedra de Ing. Sanitaria y Medio Ambiente. Escuela Técnica de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Tercera edición. Madrid. 1994. 987 p.
- Hyde, H. C. 1976. Utilización of wastewater sludge for agricultural soil enrichment. *Journal WPCF* 45(1),77., 1976. En el artículo se reportan los resultados obtenidos, usando lodos como abono de diversos cultivos.
- Instituto Colombiano Agropecuario -ICA-. Resolución n.o 00150. Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia. 21 de enero de 2003. 18 p.
- Issue Editor H. Odegaard. Wastewater Sludge as a Resource. International Conference on Wastewater Sludge as a Resource - Biosolids 2003. Norway. June 2003.268p.
- Issue Editors: J.H. Tay y K.Y. Show. Resources from Sludge: Forging New Frontiers. IWA International Specialised Conference. Nanyang Technological University. Singapore. 2004. 256 p.
- Issue Editors: Jimenez, B; Spinosa, L; Odegaard, H; Lee,D- J. Sludge Management: Regulation, Treatment, Utilisation and Disposal. IWA Specialised Conference. Acapulco. México. 2001. 316 p.
- Matthews, P. (ed.), 1996. Global Atlas of Wastewater Sludge and Biosolids Use and Disposal. Scientific and Technical Report No. 4. London: International Association on Water Quality. 197 p.
- Medina Samper, Juliana Andrea; Bayona Romero, Julian Julián Alberto. Implementación y Validación del Modelo General de Lodos Activados ASM No. 1 Con el Software GPS - X 4.1 en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Paipa. Universidad de Boyacá. Octubre de 2004. 70 p.
- Metcalf y Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tercera edición. McGraw Hill. Volumen I y II. España. 1995.
- NTC-5167 "Materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores de suelos", ICONTEC. 2004.
- Pérez Ortiz, Omar Geovanny. Atlas de Parasitología. Estructuras parasitarias presentes en las aguas residuales. Instituto de Enfermedades Parasitarias Tropicales e infecciosas. Universidad de Pamplona. Colombia. 2003.
- Tchobanoglous, Crites. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. McGraw Hill. Bogotá. Colombia. 2000.
- Vitorio Andreoli, Cleverson; De Lara, Aderlene Ines; Fernández, Fernando. Reciclagem de Biosólidos. Companhia de Saneamento do Paraná. Curitiba: Sanepar. Finep. Brazil, 1999, 298 p.
- Webber, M.D., Monteith, H. d. y Corneau, D. G. "Assessment of heavy metal and PCBs at sludge application sites", *Journal WPCF* 55(2): 187, 1983. Estudio de sustancias potencialmente tóxicas en diversos sitios de los Estados Unidos, en los que se han usado lodos con fines agrícolas.

Fecha de recepción: 23 de octubre de 2006

Fecha de aprobación: 16 de mayo de 2007

