

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE SITIOS PARA MONORRELLENOS DE LODOS PAPELEROS

ADRIANA MARÍA QUINCHÍA*

SUSAN IRWIN**

ANA MARÍA URIBE RAMÍREZ***

RESUMEN

En el proceso de tratamiento de las aguas residuales de la industria papelera que utiliza fibras recicladas entre sus materias primas, se generan lodos ricos en fibras de celulosa, los cuales al ser deshidratados se llaman residuos papeleros y se han convertido en un problema ambiental, debido a su alta tasa de generación. Internacionalmente se han estudiado varias alternativas de valorización, sin embargo, ninguna se ha implementado en escala industrial en Medellín, Colombia; la necesidad de una disposición adecuada de dichos residuos persiste, por lo que se considera que la forma más inmediata de manejo es mediante su disposición final en el suelo.

Unido al problema de la disposición, está la selección del sitio adecuado para realizarla, por lo cual se desarrolló una metodología que permite aplicarse en la evaluación y selección de los sitios optativos para la disposición de los residuos provenientes de las industrias papeleras.

PALABRAS CLAVE: residuos papeleros; disposición final; matriz de viabilidad.

* Ingeniera Agrícola, Universidad Nacional Sede Medellín. Especialista en Ingeniería Ambiental y Magíster en Ingeniería con Énfasis en Ambiental Universidad Pontificia Bolivariana. Docente e investigadora del grupo de investigaciones Gestión del Ambiente para el Bienestar Social –Gabis–, EIA. pfadqui@eia.edu.co

** Ingeniera Ambiental, EIA. Jefe División Gestión Ambiental, Productos Familia Sancela S. A. susanip@familia.com.co

*** Ingeniera Ambiental, EIA. Analista de Investigación y Desarrollo Ambiental, Cementos Argos S. A. auribe@argos.com.co

ABSTRACT

The wastewater treatment at paper industry that uses recycled fibers as one of its raw materials generates a sludge rich in cellulose fibers, which once dehydrated is called "paper waste". This waste has become an environmental problem because of its high generation rate. Although several alternatives of valorization have been studied, in Medellín none of them has been implemented on an industrial scale; the necessity is still there, that is why the land disposal of this waste appears as the most immediate way to manage it.

Combined with the problem of disposition, it is the selection of the suitable site to make it, for which a methodology to be applied in the evaluation and selection of the operative sites for the disposition of remainders of paper industry was developed.

KEY WORDS: paper waste; final disposal; viability matrix.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de producción de papel se utiliza gran cantidad de agua y se generan, a su vez, efluentes cargados de fibras de celulosa que deben ser tratados, ya sea con el fin de recircular el agua al proceso o para cumplir las políticas de gestión ambiental de las compañías; el material removido en el tratamiento de las aguas residuales forma un lodo con un contenido de sólidos entre el 3% y el 6%, que se trata, con el fin de eliminar parte del agua y llevarlo al estado sólido para facilitar su manejo; como resultado de este tratamiento, se produce una suspensión fibrosa conocida como "lodo papeler" o torta de lodo según Gallón y Londoño (2000).

Las características del residuo papeler lo han convertido en objeto de estudio con miras a implementar a gran escala el uso del residuo como un subproducto industrial, que permita no sólo eliminar el problema de la disposición (que representa costos para la empresa y problemas sociales), sino que además represente ingresos adicionales y beneficios ambientales asociados a la adopción de procesos de producción más limpia. Pese a esto, los estudios de valorización requieren aún tiempo de investigación antes de ser aplicados como una solución viable técnica y económicamente.

Hasta que esto suceda las empresas generadoras se ven en la obligación de disponer el residuo

en escombreras, rellenos y sitios similares, los cuales no están diseñados para las características y el comportamiento de este material, ya que, aunque se ha demostrado que el residuo papeler no es peligroso (ver anexo 1), sus propiedades químicas, físicas y mecánicas no garantizan su estabilidad permanente una vez se encuentra expuesto a condiciones ambientales. Por lo anterior, se requiere el diseño y ubicación de llenos especiales para su disposición, en los que se tenga en cuenta el manejo de los impactos ambientales sobre las dimensiones física, biótica, social, económica y política.

Por los motivos expuestos, se plantea una metodología para la selección de los sitios adecuados y del método de disposición más recomendado, mediante una lista general de los aspectos económicos para tener en cuenta y una matriz de evaluación de los aspectos técnicos y ambientales. De esta manera se construye una herramienta útil para las autoridades ambientales y para las empresas en torno a la toma de decisiones relacionadas con la disposición de este material en el suelo.

1. METODOLOGÍA

La metodología que se siguió para la elaboración de la guía se basó en la consulta bibliográfica, tomando como referencia las disposiciones establecidas de 1988 a 1995 por la *Environmental Protection*



Agency (EPA) de los Estados Unidos y el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) de Colombia para el año 2000 sobre los métodos de disposición para residuos papeleros y de los aspectos técnicos, económicos y ambientales para tener en cuenta en el momento de establecer un lleno de este tipo de residuos. Con base en esta consulta se determinaron cuáles de los métodos de disposición eran técnicamente viables y se hizo una lista de los aspectos técnicos, económicos y ambientales involucrados en la selección del sitio para el establecimiento del lleno.

Para la determinación de los impactos ambientales, se utilizó un método matricial en el que se identificaron las *acciones del proyecto susceptibles de producir impactos* (ASPI) y los *factores ambientales receptores de impactos* (FARI), para luego diseñar una red de impactos relativa a este tipo de proyectos.

Para la matriz de viabilidad elaborada se utilizaron los criterios técnicos y ambientales consultados y, por medio de la elaboración de encuestas a un grupo interdisciplinario de expertos en diferentes áreas, se asignó a cada uno de los criterios un peso que representa su influencia dentro de la evaluación final

de la vulnerabilidad del sitio. Este peso se calculó como el promedio ponderado de los pesos otorgados al criterio por cada uno de los encuestados.

2. RESULTADOS

Como resultados de la guía se identifican la lista general de los criterios económicos para tener en cuenta, una matriz de viabilidad técnica y ambiental para la evaluación de sitios específicos probables para la disposición de residuos papeleros y la red de impactos para este tipo de proyectos.

2.1 ASPECTOS ECONÓMICOS

Con la finalidad de analizar desde todo punto de vista la viabilidad del establecimiento de un lleno de residuos papeleros en un sitio determinado y teniendo en cuenta la independencia de los factores económicos y los técnico-ambientales, se preparó una lista de las variables económicas que deben considerarse en el momento de calcular el costo de disposición por tonelada de residuo y, por ende, la viabilidad económica del sitio (tabla 1).

Tabla 1. Variables para analizar en los aspectos económicos

Nombre	Descripción	Indicador
Área	Corresponde al área necesaria calculada según la tasa de generación del residuo y el método de disposición seleccionado.	Hectáreas (ha)
Costo unitario	Valor del terreno por hectárea.	Pesos colombianos por hectárea (\$/ha)
Costo total del predio	Valor total según el costo del terreno por hectárea y el número de hectáreas necesarias.	Pesos colombianos (\$)
Descapote y excavación	Costo de las actividades de preparación del terreno, las cuales incluyen principalmente remoción de cobertura vegetal y suelo. Así mismo, se incluye en esta variable el costo de disposición de este material cuando se haga necesario.	Pesos colombianos (\$)
Cerca y portada	Costo de los materiales y mano de obra necesarios para la construcción de la cerca y la portada.	Pesos colombianos (\$)

→

Nombre	Descripción	Indicador
Vías internas	Costo del establecimiento de las vías internas, incluyendo la mano de obra, la maquinaria y el costo de disposición del material removido en caso de ser requerido.	Pesos colombianos (\$)
Sistema de impermeabilización del suelo	Incluye el costo de la mano de obra y los materiales requeridos para la impermeabilización del suelo. Entre estos materiales la geomembrana es el más costoso, por lo tanto, la magnitud de esta variable está altamente influida por el área impermeabilizada.	Pesos colombianos (\$)
Sistema de recolección de lixiviados	Incluye los costos de mano de obra y materiales necesarios para el establecimiento de los drenajes que permitirán la recolección del lixiviado generado en el lleno.	Pesos colombianos (\$)
Instalación del sistema de tratamiento del lixiviado	Costo de diseño y construcción incluyendo consultoría, mano de obra, maquinaria y materiales necesarios para la construcción del sistema de tratamiento del lixiviado. (Sólo en el caso en que el tratamiento se piense hacer <i>in situ</i>).	Pesos colombianos (\$)
Pozo séptico	Costo de la mano de obra y los materiales necesarios para la instalación del pozo séptico. (Sólo en caso de que no se cuente con servicio de alcantarillado).	Pesos colombianos (\$)
Sistema de drenaje de agua lluvia	Costo de los materiales y mano de obra requeridos para el establecimiento del sistema de recolección de agua lluvia.	Pesos colombianos (\$)
Reconstrucción de la vía de acceso principal	Costo de las obras requeridas para la adecuación de la vía principal de acceso al lleno. (Sólo cuando es necesario).	Pesos colombianos (\$)
Área techada para el parqueo de la maquinaria	Costo de la mano de obra y materiales necesarios para la construcción de un parqueadero techado donde la maquinaria de operación del lleno pueda permanecer cuando no se esté usando, sin estar expuesta al sol y a la lluvia.	Pesos colombianos (\$)
Ingeniería y estudios	Costo de las consultorías realizadas durante la etapa de establecimiento del lleno, así como de los muestreos y análisis de laboratorio requeridos para el conocimiento completo de las características de la zona.	Pesos colombianos (\$)
Licencias y permisos	Costo de los trámites necesarios para la obtención de las licencias y permisos requeridos para el establecimiento del lleno, entre los cuales se encuentran los trámites ambientales y municipales.	Pesos colombianos (\$)
Tratamiento o transporte del lixiviado	Para cumplir con la norma de vertimientos (Decreto 1594 de 1984), el sitio debe contar con una planta de tratamiento de aguas de lixiviado (PTAR) o, en caso de no ser posible el establecimiento de la planta, deben ser llevadas a la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio (PTAR municipal). Esta variable incluye, entonces, bien sea el costo de tratamiento de los lixiviados (productos químicos, mano de obra y mantenimiento de la planta de tratamiento principalmente) o el costo del transporte del lixiviado hasta la PTAR municipal y la tarifa que ésta cobra por recibirlo.	Pesos colombianos (\$)
Obtención del material de cobertura	Costo de la extracción y transporte de material de cobertura hasta el sitio, en el caso en que no se encuentre disponible en el sitio mismo.	Pesos colombianos (\$)

→



Nombre	Descripción	Indicador
Operario encargado del sitio	Costo de la nómina operativa del lleno.	Pesos colombianos (\$)
Operación y mantenimiento de la maquinaria	Costos operativos (combustible) y de mantenimiento (repuestos y mano de obra).	Pesos colombianos (\$)
Mantenimiento del sitio	Costos de mantenimiento de la cerca y la portada, las vías internas, el parqueadero y demás componentes de la infraestructura del lleno.	Pesos colombianos (\$)
Mantenimiento del pozo séptico	Costo de la mano de obra necesaria para el mantenimiento periódico del pozo séptico, y de la disposición final del lodo retirado de éste (dependiendo del destino que se le piense dar).	Pesos colombianos (\$)
Mantenimiento de las vías de acceso	Costo del mantenimiento requerido por la vía de acceso principal al lleno, debido al desgaste al cual es sometida por el tránsito constante de vehículos pesados (vehículos que transportan el residuo).	Pesos colombianos (\$)
Seguimiento	Costo de los muestreos y pruebas de laboratorio requeridos con cierta periodicidad, con el fin de controlar variables determinadas, ante todo en los acuíferos y en el biogás.	Pesos colombianos (\$)
Servicios	Costo de los servicios públicos utilizados, como acueducto y electricidad; en algunos casos, también alcantarillado.	Pesos colombianos (\$)
Transporte del residuo	Costo del transporte del residuo desde la fuente generadora hasta el sitio de disposición.	Pesos colombianos por tonelada de residuo (\$/ton)
Depreciación de la maquinaria	Pérdida de valor en el tiempo de la maquinaria. Generalmente se deprecia en línea recta a 5 años.	Pesos colombianos (\$)
Costo de oportunidad de la maquinaria cuando no está en uso	Costo de la maquinaria de repuesto, teniendo en cuenta los otros usos que podrían dársele a ese capital.	Pesos colombianos (\$)

2.2 RED DE IMPACTOS

Las principales actividades en el momento de establecer un lleno de residuos papeleros se presentan en la tabla 2. A partir de esta tabla, se determinaron los impactos relacionados con cada actividad y se elaboró la matriz ASPI-FARI, en la cual se identificaron los factores ambientales influyentes en cada uno de los impactos, para construir por fin una red en la que se determinaron las relaciones existentes (figura 1), con base en las siguientes consideraciones:

- En la red de impactos se hace una descripción exhaustiva de todas las posibles relaciones entre los impactos; cuando se apliquen a un caso específico algunos de los impactos, relaciones o cadenas que se presentan pueden sufrir modificaciones o ser irrelevantes.
- Los impactos deben considerarse como relevantes sólo en el caso de que se introduzcan al ambiente variaciones mayores a las que el medio está acostumbrado a asimilar naturalmente.

Tabla 2. Numeración de actividades para la red de impactos

Número	Actividad
<i>Acondicionamiento del terreno</i>	
1	Limpieza y desmonte (descapote)
2	Transporte de materiales
3	Construcción de vías internas
4	Cerramiento del terreno
5	Siembra de árboles perimetrales
6	Construcción de drenajes
7	Preparación del suelo de soporte
8	Impermeabilización del suelo
9	Instalación del sistema de drenaje de lixiviados
10	Instalación del sistema de ventanillas de gases
11	Construcción de oficinas de manejo y de instalaciones sanitarias (construcciones auxiliares)
12	Construcción de la planta de tratamiento de lixiviados
13	Excavación de pozos de seguimiento
<i>Operación del lleno</i>	
14	Transporte de materiales y del residuo papelerero
15	Carga y descarga
16	Mezcla del residuo con suelo
17	Disposición del residuo papelerero
18	Compactación del residuo
19	Recolección y vertimiento de las aguas de escorrentía
20	Recolección y tratamiento de lixiviados
21	Recolección y transporte de lixiviados
22	Estabilización de vías
<i>Desmantelamiento</i>	
23	Puesta en marcha del plan de abandono
<i>Actividades permanentes</i>	
24	Operación de oficinas y de construcciones auxiliares
25	Tratamiento de las aguas residuales domésticas
26	Contratación de personal
27	Mantenimiento de maquinaria
<i>Inicio del proyecto</i>	
28	Instalación en el sitio
29	Caracterización inicial
30	Diseño del lleno

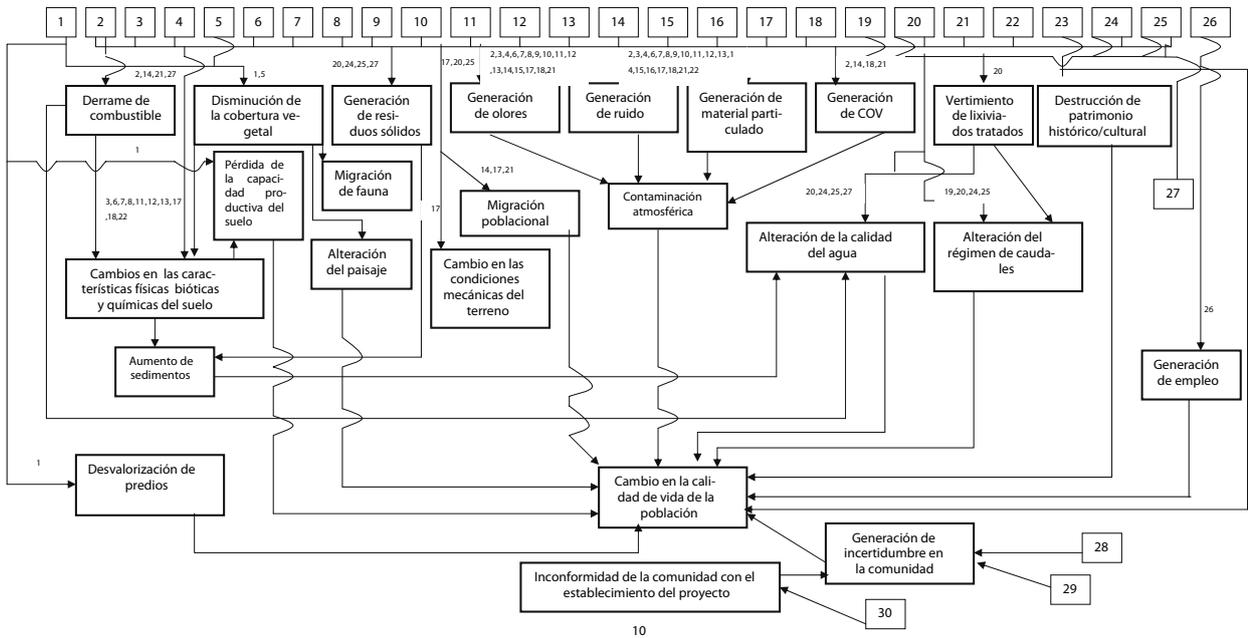


Figura 1. Red de impactos

2.3 MATRIZ DE VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL

El objetivo de la matriz es permitir al usuario determinar la viabilidad técnico-ambiental de un sitio específico introduciendo en ella los valores de vulnerabilidad de cada criterio. Para la determinación de dichos valores se estableció una fórmula o un sistema de correspondencia numérica según el caso. A manera de ejemplo, se presenta el análisis desarrollado para el cálculo de la vulnerabilidad relacionada con uno de los criterios considerados en la matriz, como es la distancia del sitio a cuerpos de agua superficiales:

Según la legislación vigente, la distancia mínima de un sitio de disposición final a un cuerpo de agua debe ser de 500 m a partir del centro del cauce (RAS-2000). Cuando la distancia es menor que este

valor, las restricciones impedirán el establecimiento del lleno en ese lugar, y se considera para efectos de este trabajo como vulnerabilidad nula el doble del rango establecido por la ley. Para lo anterior la función lineal aplicable es la siguiente:

$$V = -0.01d + 10;$$

donde:

V: valoración de la vulnerabilidad.

d: distancia del borde del lleno en metros.

La matriz utiliza un peso fijo asignado a cada criterio como resultado de las encuestas realizadas y la vulnerabilidad de cada uno de ellos para calcular una “vulnerabilidad total”, la cual finalmente se traduce en la viabilidad del sitio siguiendo las correspondencias presentadas en la tabla 3.

Tabla 3. Correspondencias entre vulnerabilidad y viabilidad

Vulnerabilidad	Viabilidad	Calificación
Muy alta	Nula	No viable
Alta	Baja	No viable
Media	Media baja	No viable
Media baja	Media	Viable
Baja	Alta	Viable
Nula	Muy alta	Viable

En la tabla 4 se presenta un ejemplo ficticio de los resultados que arroja esta herramienta. La columna de valoración debe llenarla el usuario teniendo en cuenta las fórmulas o sistemas de correspondencia numéricos mencionados. Los rangos de valoración para la vulnerabilidad se presentan en la tabla 5.

Tabla 4. Matriz de viabilidad técnica y ambiental

Criterios		Peso en %	Valoración	Vulnerabilidad	Participación
Topografía		9,31	3	Media	0,28
Variables climatológicas	Vientos	3,31	4	Alta	0,13
	Precipitación media anual	5,00	3	Media	0,15
Agua superficial	Uso aguas abajo	5,46	2	Media baja	0,11
	Distancia	4,08	1	Baja	0,04
Vías de acceso		6,31	0	Nula	0,00
Vegetación	Tipo	3,85	5	Muy alta	0,19
	Cantidad para remover	3,31	4	Alta	0,13
Distancia al sitio		5,92	5	Muy alta	0,30
Áreas restringidas	Áreas ambientalmente sensibles	4,15	5	Muy alta	0,21
	Áreas de importancia arqueológica o histórica	3,62	5	Muy alta	0,18
Uso actual y potencial del suelo		5,92	5	Muy alta	0,30
Participación comunitaria		6,54	5	Muy alta	0,33
Distancia a aeropuertos		4,00	5	Muy alta	0,20
Geotecnia	Zonas de falla	4,31	3	Media	0,13
	Zonas erosivas	3,77	2	Media baja	0,08
Paisaje		5,23	1	Baja	0,05
Valor del predio		5,46	5	Muy alta	0,27
Disponibilidad de servicios públicos		4,00	5	Muy alta	0,20
Vida útil		6,46	5	Muy alta	0,32
TOTAL		100%		Alta	3,60

VIABILIDAD DEL SITIO	BAJA
----------------------	------



Tabla 5. Valoración de la vulnerabilidad en rangos

Rango valoración	Tipo vulnerabilidad
0-0,5	Nula
0,6-1,5	Baja
1,6-2,5	Media-baja
2,6-3,5	Media
3,6-4,5	Alta
4,6-5,0	Muy alta

3. CONCLUSIONES

Entre los impactos ambientales más significativos se encontraron el cambio en las características físicas y químicas del suelo, que pueden llevar a la pérdida en su capacidad productiva, el cambio en las condiciones mecánicas del terreno, la alteración de la calidad del agua y el régimen de caudales, la contaminación atmosférica por diferentes contaminantes como compuestos orgánicos volátiles (COV), material particulado y olores y la alteración de la calidad de vida de la población aledaña al lleno como punto final de encuentro de todos estos impactos.

La matriz desarrollada muestra que los impactos ambientales generados por la instalación de un lleno de residuos papeleros pueden generalizarse, con el fin de establecer los criterios más importantes para tener en cuenta al preparar un proyecto de este tipo; sin embargo, la magnitud e importancia de cada uno de ellos depende de las condiciones específicas del sitio donde pretende desarrollarse el proyecto, por lo cual su adecuada selección constituye la principal herramienta para la minimización de los impactos ambientales potenciales.

A una menor viabilidad, por lo general, los costos pueden ser mayores en los aspectos ambientales, técnicos y económicos; la inversión finalmente depende del gestor del proyecto, por tanto, la decisión final del establecimiento o no del lleno de residuos papeleros depende exclusivamente de él.

Puede decirse que la matriz de viabilidad técnica y ambiental de sitios, la lista de aspectos económicos y la red de impactos ambientales constituyen en conjunto una guía aplicable a la evaluación de sitios para la ubicación de llenos de disposición final de los residuos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria papelera que utiliza dentro de sus materias primas fibras recicladas.

4. BIBLIOGRAFÍA

- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Technical support document: Landfilling of sewage sludge. EPA. (EPA/600/2-88/027), 1988.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Process design manual: Surface disposal of sewage sludge and domestic septage. EPA. (EPA/625/K-95/002), 1995.
- GALLÓN RAMÍREZ, Ángela María y LONDOÑO VARGAS, Lina María. Alternativa de utilización de los lodos provenientes de la industria papelera en elementos constructivos. Medellín, 2000. Proyecto de Grado (Ingeniería de Producción). Universidad EAFIT. Facultad de Ingeniería.
- IRWIN PIZANO, Susan y URIBE RAMÍREZ, Ana María. Disposición de residuos papeleros en suelos. Envigado, 2004. Trabajo de Grado Exploratorio (Ingenieras Ambientales). Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- LOAIZA, Hugo Alberto y GOMEZ, Alfredo. Disposición de lodos en una planta papelera. Medellín, 1997. Trabajo de Grado (Ingenieros Químicos). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química. 275 p.

ANEXO 1. PRUEBA DE PELIGROSIDAD DEL RESIDUO PAPELERO

Tabla 1.1 Resultados de la prueba CRETIB para residuo papelerero típico proveniente de tratamiento primario

CARACTERÍSTICA	RESIDUO PAPELERO
Corrosividad	Negativa
Reactividad	Negativa
Inflamabilidad	Negativa
Biológica (<i>Pseudomona aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus coag+</i> , <i>Salmonella</i> , Nematodos, Protozoos)	Ausencia
Biológica NMP Coliformes totales NMP Coliformes fecales	>2400 20

* Fuente: Confidencial (Planta sector papelerero en Colombia)

Tabla 1.2 Resultados del test de lixiviación TCLP para un residuo papelerero típico proveniente de tratamiento primario

Elemento	Límite de detección (ppm)	Límite regulatorio TCLP (ppm)	Análisis TCLP MWRDGC (ppm)	Residuo papelerero (ppm)
Arsénico	0,0005	5,0	< 0,1	0,0031
Bario	0,04	100,0	< 0,1	< 0,04
Cadmio	0,0005	1,0	0,25	0,041
Cromo	0,001	5,0	0,04	0,074
Níquel	0,004			< 0,004
Mercurio	0,065	0,2	< 0,0001	< 0,065
Plomo	0,001	5,0	< 0,02	< 0,001
Selenio	0,005	1,0	< 0,1	0,023385
Plata	0,001	5,0	< 0,01	< 0,01

* Fuente: Confidencial (Planta sector papelerero en Colombia)