

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO  
SANITARIO DE LAGO AGRIO.**

**TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA QUÍMICA**

**AUTOR: ALEXANDRA MARCELA DÁVILA CIFUENTES**

**QUITO**

**2013**

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO  
SANITARIO DE LAGO AGRIO.**

**TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA QUÍMICA**

**AUTOR: ALEXANDRA MARCELA DÁVILA CIFUENTES  
TUTOR: ING. LUIS ALBERTO AGUIRRE**

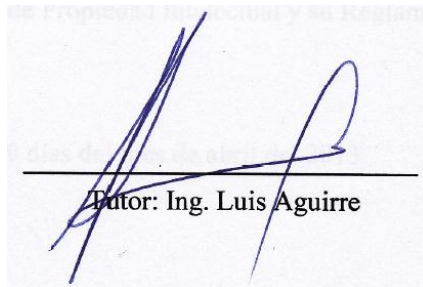
**QUITO**

**2013**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Certifico que la Tesis de Grado titulada “ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE LAGO AGRIO”, es original y ha sido desarrollada por la Señorita: Alexandra Marcela Dávila Cifuentes bajo mi dirección y conforme a todas las observaciones realizadas.

En la ciudad de Quito, a los 9 días del mes de abril del 2013.



Tutor: Ing. Luis Aguirre

## **AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL**

Yo, Alexandra Marcela Dávila Cifuentes en calidad de autor de la tesis de grado realizada sobre “ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE LAGOA AGRIO”, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los conocimientos que me pertenecen o de parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

En la ciudad de Quito, a los 9 días del mes de abril del 2013.



ALEXANDRA MARCELA DÁVILA CIFUENTES

C.C. 171430205-4

marceladavila60@gmail.com

A Dios por ser mi alto  
refugio y fortaleza.  
A mi Madre porque  
con su inmenso amor,  
me enseñó que no  
necesita pies por que  
tiene alas para volar.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia Olguita, Byron, Paulina, Esteban, Mateo y Victoria, por su cariño, comprensión y apoyo en todo momento. Juntos lo logramos.

Al Ing. Nelson Cevallos, por abrirme las puertas de su prestigiosa empresa. Y creer en la juventud como un motor transformador de ideas y realidades.

A Santiago por su buen corazón y amor.

A mis amigas y amigos, especialmente a Karina, Raquel, Rubén y Ana, por hacer de cada momento en la universidad más alegre e irrepetible.

A mis compañeras de trabajo Silvia, Yadira, Grace y Pamela, por su valiosa ayuda.

A las profesoras y profesores de la Facultad de Ingeniería Química, que con sus valores y conocimientos forjan excelentes profesionales al servicio del progreso del Ecuador, en especial al Ing. Luis Aguirre por guiarme durante la realización de este trabajo de grado.

## CONTENIDO

	pág.
LISTA DE TABLAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
LISTA DE ANEXOS.....	xviii
GLOSARIO.....	xix
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT.....	xxiv
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.1.1 <i>Botadero de basura a cielo abierto o basurero.</i> ....	3
1.2 Relleno Sanitario.....	4
1.2.1 <i>Tipos de rellenos sanitarios.</i> ....	4
1.2.1.1 <i>Relleno sanitario mecanizado.</i> ....	4
1.2.1.2 <i>Relleno sanitario semimecanizado.</i> .....	5
1.2.1.3 <i>Relleno sanitario manual.</i> ....	5
1.2.2 <i>Métodos de construcción de un relleno sanitario.</i> .....	6
1.2.2.1 <i>Método de trinchera o zanja.</i> ....	6
1.2.2.2 <i>Método de Área.</i> .....	7
1.2.2.3 <i>Combinación de ambos métodos.</i> .....	7
1.2.3 <i>Ventajas de un relleno sanitario</i> .....	8
1.2.4 <i>Desventajas de un Relleno Sanitario.</i> .....	9
1.2.5 <i>Uso futuro de un relleno sanitario.</i> .....	10
1.2.6 <i>Reacciones que se generan en un relleno sanitario.</i> .....	10
1.2.6.1 <i>Cambios físicos.</i> .....	10
1.2.6.2 <i>Reacciones químicas</i> .....	11
1.2.6.3 <i>Reacciones biológicas</i> .....	11
1.3 Generación de Lixiviados.....	11
1.3.1 <i>Lixiviados.</i> .....	11
1.3.2 <i>Características.</i> .....	12

1.3.3 <i>Generación</i> .....	14
1.3.3.1 <i>Precipitación</i> .....	14
1.3.3.2 <i>Infiltración</i> .....	14
1.3.3.3 <i>Evapotranspiración</i> .....	15
1.3.3.4 <i>Saturación</i> .....	15
1.3.3.5 <i>Percolación</i> .....	15
1.3.4 <i>Movimiento del lixiviado en vertederos sin aislamiento</i> .....	15
1.3.4.1 <i>Tiempo de penetración</i> .....	17
1.3.5 <i>Control de la lixiviación en vertederos</i> .....	17
1.3.5.1 <i>Sistemas de Aislamientos para monorellenos</i> .....	17
1.3.5.2 <i>Construcción de aislamientos de arcilla</i> .....	17
1.3.6 <i>Sistemas para la Recogida de Lixiviados</i> .....	18
1.3.6.1 <i>Terrazas inclinadas</i> .....	18
1.3.6.2 <i>Fondo con tuberías</i> .....	18
1.4 <i>Sistemas de Tratamiento de Lixiviados</i> .....	18
1.4.1 <i>Evaporación</i> .....	20
1.4.2 <i>Procesos Anaerobio</i> .....	20
1.4.3 <i>Procesos Aerobios</i> .....	21
1.4.4 <i>Sistemas naturales</i> .....	22
1.4.5 <i>Recirculación de los lixiviados</i> .....	22
1.4.6 <i>Sistemas de membranas</i> .....	23
1.4.7 <i>Bioreactores con membrana, MBR</i> .....	23
1.4.8 <i>Osmosis Inversa</i> .....	23
1.4.9 <i>Tratamiento Físico-Químico</i> .....	23
1.4.9.1 <i>Tratamiento Primario</i> .....	24
1.4.9.2 <i>Tratamiento Secundario</i> .....	26
1.4.9.3 <i>Tratamiento Terciario</i> .....	31
1.5 <i>Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos</i> .....	36
1.5.1 <i>Residuos Sólidos</i> .....	36
1.5.2 <i>Gestión de los residuos sólidos urbanos</i> .....	36
1.5.2.1 <i>Recogida</i> .....	36
1.5.2.2 <i>Transporte</i> .....	37
1.5.2.3 <i>Tratamiento</i> .....	38
1.5.3 <i>Manejo moderado de los residuos sólidos urbanos</i> .....	39
1.5.3.1 <i>Reciclaje</i> .....	39
1.5.3.2 <i>Generación</i> .....	52



1.5.3.3 Almacenamiento de los residuos .....	55
1.5.3.4 Recolección y barrido .....	56
1.5.3.5 Limpieza de vías y áreas públicas .....	57
1.5.4 Disposición final. ....	59
1.6 Marco Legal. ....	60
1.6.1 Constitución Política de la República del Ecuador .....	60
1.6.2 Ley de Gestión Ambiental. ....	62
1.6.3 Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre. ....	62
1.6.4 Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. ....	63
1.6.5 Código Penal: Delitos contra el Medio Ambiente. ....	68
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO DE LAGO AGRIO.....	70
2.1 Ubicación. ....	70
2.2 Entidad operativa del relleno sanitario.....	71
2.2.1 Personal y turnos para la disposición de residuos. ....	71
2.2.2 Operación Diaria. ....	71
2.3 Infraestructura y operación del relleno sanitario.....	72
2.3.1 Producción de Residuos.....	74
2.3.1.1 Datos Aplicados. ....	74
2.3.1.2 Métodos Aplicados. ....	74
2.3.1.3 Resultados. ....	76
2.3.2 Proyección de Residuos. ....	77
2.3.2.1 Información sobre caracterización de residuos producidos.....	78
2.3.3 Aspectos de ingeniería del relleno sanitario. ....	78
2.3.3.1 Diseño de las Celdas, Niveles y Etapas de Relleno .....	79
2.3.3.2 Material de cobertura. ....	80
2.3.3.3 Capacidad de las celdas.....	80
2.3.3.4 Impermeabilización de las áreas intervenidas.....	81
2.4 Generación y drenaje de lixiviados. ....	82
2.4.1 Drenaje de Lixiviados. ....	82
2.4.1.1 Sistema de drenaje de lixiviados. ....	84
2.4.2 Generación de Lixiviados.....	86
2.4.2.1 Resultado del modelo de generación de Lixiviados. ....	87
2.4.3 Factores que afectan la calidad del lixiviado .....	88
2.4.3.1 Calidad de los desechos. ....	88
2.4.3.2 Tiempo transcurrido de operación. ....	88

2.4.3.3	<i>Temperatura Ambiente</i> .....	89
2.4.3.4	<i>Contenido de humedad</i> .....	89
2.4.3.5	<i>Contenido de Oxígeno</i> .....	89
2.4.4	<i>Factores que influncian la cantidad de lixiviado</i> .....	89
2.4.4.1	<i>Precipitación</i> .....	89
2.4.4.2	<i>Humedad de los desechos</i> .....	89
2.4.4.3	<i>Introducción de aguas subterráneas</i> .....	90
2.4.4.4	<i>Diseño de la cobertura final</i> .....	90
2.4.5	<i>Clima de la ubicación geográfica del Relleno Sanitario</i> .....	90
2.4.5.1	<i>Precipitación</i> .....	91
2.4.5.2	<i>Temperatura del aire</i> .....	91
2.4.5.3	<i>Humedad atmosférica</i> .....	92
2.4.5.4	<i>Viento</i> .....	92
2.4.5.5	<i>Insolación</i> .....	93
2.4.5.6	<i>Nubosidad</i> .....	93
2.4.6	<i>Monitoreo del relleno sanitario</i> .....	93
2.4.6.1	<i>Resultados del muestreo del Lixiviado</i> .....	98
2.5	<i>Red de Captación de Biogas</i> .....	100
2.5.1	<i>Red de captación de Biogas, relleno sanitario en construcción</i> .....	100
2.6	<i>Evaluación técnica del funcionamiento del relleno sanitario y la recuperación de gases y lixiviados</i> .....	101
2.6.1	<i>Identificación de Impactos Ambientales actuales</i> .....	102
2.6.1.1	<i>Componente Social</i> .....	102
2.6.1.2	<i>Componente Abiótico y Biótico</i> .....	102
2.7	<i>Mejoras Sugeridas en la Operación del Relleno Sanitario</i> .....	106
2.7.1	<i>Manejo de emisiones a la atmósfera</i> .....	106
2.7.2	<i>Calidad del agua</i> .....	107
2.7.3	<i>Calidad del suelo</i> .....	107
2.7.4	<i>Control de insectos, roedores y aves</i> .....	108
2.7.5	<i>Control de biogas</i> .....	108
2.7.6	<i>Nivel Sonoro</i> .....	108
3.	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	110
3.1	<i>Selección del Proceso Experimental</i> .....	110
3.1.1	<i>Recolección de Lixiviado Nativo</i> .....	110
3.2	<i>Metodología</i> .....	111

3.2.1 <i>Diseño Experimental</i> .....	111
3.2.1.1 <i>Diseño Experimental del Tratamiento con Aireación- Coagulación- Floculación</i> .....	111
3.2.2.2 <i>Diseño Experimental del Tratamiento con Ozonización- Coagulación- Floculación.</i> .....	112
3.3 <i>Procedimiento</i> .....	112
3.3.1. <i>Tratamiento con aireación -coagulación- floculación</i> .....	112
3.3.2 <i>Tratamiento con Ozonización –Coagulación-Floculación.</i> .....	113
3.4 <i>Materiales y Sustancias</i> .....	114
3.4.1 <i>Reactivos</i> .....	114
3.4.2 <i>Materiales</i> .....	115
3.4.3 <i>Sustancias</i> .....	115
3.5 <i>Datos Experimentales</i> .....	116
3.5.1 <i>Parámetros Iniciales de la Muestra</i> .....	116
3.5.2 <i>Tratamiento con Aireación- Coagulación – Floculación</i> .....	117
3.5.3 <i>Tratamiento con Ozonización - Coagulación – Floculación</i> .....	120
3.6 <i>Datos Adicionales</i> .....	122
3.6.1 <i>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en el TULAS</i> .....	122
4. <b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b> .....	123
4.1 <b>Cálculos</b> .....	123
4.1.1 <i>Cálculos realizados en el tratamiento con Aireación- coagulación-floculación.</i> .....	123
4.1.1.1 <i>Cálculo del porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento con Aireación- coagulación-floculación.</i> .....	123
4.1.2 <i>Cálculos realizados en el tratamiento con Ozonización- coagulación- floculación.</i> .....	125
4.1.2.1 <i>Cálculo del porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento con Ozonización- coagulación-floculación.</i> .....	125
4.2 <b>Resultados</b> .....	127
4.2.1 <i>Resultados del Tratamiento con aireación, coagulación y floculación.</i> .....	127
4.2.2 <i>Resultados del Tratamiento con ozonización, coagulación y floculación.</i> .....	129
4.2.3 <i>Resultados de análisis de diferentes lixiviados nativos, generados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio.</i> .....	133
4.3 <b>Propuesta de tratamiento a Gran Escala</b> .....	133
5. <b>DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	137

6. CONCLUSIONES .....	139
6.1 Conclusiones Generales .....	139
6.2 Conclusiones sobre la Experimentación.....	140
7. RECOMENDACIONES .....	141
CITAS BIBLIOGRÁFICAS .....	143
BIBLIOGRAFÍA.....	148
ANEXOS.....	149

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Tipos de rellenos sanitarios y cantidad de residuos sólidos urbanos generados. ....	4
Tabla 2. Composición de lixiviado de rellenos sanitarios fases Acética y Metanogénica .....	13
Tabla 3. Coeficientes típicos de permeabilidad para varios suelos .....	16
Tabla 4. Caracterización de los diferentes tipos de Lixiviados .....	24
Tabla 5. Ventajas y desventajas de algunos métodos de reciclaje .....	
de residuos sólidos orgánicos .....	42
Tabla 6. Cuadro información básica de los residuos sólidos y su aplicación práctica .....	52
Tabla 7. Relaciones para conocer las características básicas de los residuos sólidos. ....	55
Tabla 8. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce .....	66
Tabla 9. Datos históricos poblacionales de Lago Agrio.....	74
Tabla 10. Proyección de habitantes para el cantón Lago Agrio .....	76
Tabla 11. Proyección de Residuos Sólidos por componente (Ton).....	
para el cantón Lago Agrio.....	77
Tabla 12. Composición física de los residuos generados .....	78
Tabla 13. Capacidad volumétrica de las etapas I, II y III.....	81
Tabla 14. Capacidad de almacenamiento de las celdas 1 a 9 .....	81
Tabla 15. Especificaciones del sistema de drenaje de lixiviados .....	84
Tabla 16. Especificaciones laguna de lixiviado principal .....	85
Tabla 17. Resumen resultado cálculo de generación de Lixiviado .....	87
Tabla 18. Parámetros meteorológicos estación Santa Cecilia .....	90
Tabla 19. Límites máximos de conductividad eléctrica para agua de riego.....	94
Tabla 20. Valores guía y límites máximos de concentración.....	96
Tabla 21. Resultado muestra de lixiviado .....	98
Tabla 22. Especificaciones del sistema de captación de biogás. ....	101
Tabla 23. Parámetros iniciales de la muestra .....	116
Tabla 24. Condiciones de aireación .....	117
Tabla 25. Valores de DQO para el primer día de Aireación .....	117
Tabla 26. Valores de DQO para el segundo día de Aireación.....	117
Tabla 27. Valores de DQO para el cuarto día de Aireación .....	118
Tabla 28. Valores de DQO para el sexto día de Aireación .....	118

Tabla 29. Valores de DQO para el octavo día de Aireación .....	118
Tabla 30. Mejor dosificación equipo de prueba de jarras .....	118
Tabla 31. Mejor dosificación del Tratamiento de .....	
aireación, floculación y coagulación .....	119
Tabla 32. Parámetros mejor dosificación Método Aireación, Coagulación, Floculación .....	119
Tabla 33. Condiciones de Ozonización.....	120
Tabla 34. Valores de DQO para el primer día de Ozonización.....	120
Tabla 35. Valores de DQO para el Segundo día de Ozonización .....	120
Tabla 36. Valores de DQO para el Cuarto día de Ozonización.....	121
Tabla 37. Mejor dosificación equipo de Prueba de Jarras.....	121
Tabla 38. Mejor dosificación equipo de Prueba de Jarras.....	121
Tabla 39. Parámetros mejor dosificación Método Ozonización,Coagulación, Floculación.....	121
Tabla 40. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en el TULAS.....	122
Tabla 41. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Primer Día.....	123
Tabla 42. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Segundo Día.....	124
Tabla 43. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación,coagulación y floculación. Cuarto Día. ....	124
Tabla 44. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Sexto Día. ....	124
Tabla 45. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Octavo Día.....	125
Tabla 46. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Mejor Dosificación muestra de 3000 mL. ....	125
Tabla 47. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento ozonización, coagulación y floculación. Primer Día.....	126
Tabla 48. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento ozonización, coagulación y floculación. Segundo Día.....	126
Tabla 49. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento ozonización, coagulación y floculación. Cuarto Día.....	126
Tabla 50. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento ozonización, coagulación y floculación. Mejor Dosificación muestra de 3000 mL. ....	126

Tabla 51. Reducción del DQO mediante la aplicación del tratamiento con aireación-coagulación-floculación. ....	127
Tabla 52. Reducción del DQO mediante la aplicación del tratamiento con ozonización-coagulación-floculación.....	129
Tabla 53. Comparativa entre los principales parámetros de muestras de lixiviado nativo y límites permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce. ....	133
Tabla 54. Variables de Diseño para el Tratamiento a Gran Escala Propuesto .....	134

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Compactador de Basura. ....	5
Figura 2. Equipo Multiuso (Transcavo). ....	5
Figura 3. Volqueta.....	6
Figura 4. Método de Zanja o Trinchera.....	6
Figura 5. Método de Área. ....	7
Figura 6. Método Combinado. ....	8
Figura 7. Balance de agua en un Relleno Sanitario.....	14
Figura 8. Tecnologías para tratamiento de lixiviados .....	19
Figura 9. Equipo industrial para producción de ozono .....	26
Figura 10. Equipo de prueba de Jarras .....	28
Figura 11. Consumo de cloro por reacciones secundarias. ....	33
Figura 12. Desinfección por adición de cloro en forma de gas. ....	35
Figura 13. Secuencia lógica en el reciclaje .....	40
Figura 14. El reciclaje .....	43
Figura 15. Reciclaje de Papel.....	44
Figura 16. Sello de papel reciclado .....	45
Figura 17. Proceso de reciclaje de plástico. ....	46
Figura 18. Reciclaje del vidrio .....	46
Figura 19. Reciclaje de Materia Orgánica.....	48
Figura 20. Diagrama de flujo de una planta de compostaje manual. ....	50
Figura 21. Diagrama de flujo de una planta de compostaje semimecanizada .....	51
Figura 22. Herramienta sencilla para el barrido.....	57
Figura 23. Vehículos de recolección .....	58
Figura 24. Carro recolector tipo carga posterior .....	58
Figura 25. Ubicación del Relleno Sanitario de Lago Agrio. ....	70
Figura 26. Domo 1. Para la disposición final de residuos sólidos completamente cubierto. ....	72
Figura 27. Domo 2 Semi impermeabilizado. ....	72
Figura 28. Vertido de residuos sólidos en el Domo 2 .....	73
Figura 29. Acomodación mecánica de residuos sólidos en el Domo 2 .....	73



Figura 30. Cisternas para almacenamiento de Lixiviados.....	83
Figura 31. Cisterna para almacenamiento de Lixiviados. ....	83
Figura 32. Producción de Lixiviado.....	87
Figura 33. Precipitación Media Mensual (mm). Estación Santa Cecilia.....	91
Figura 34. Temperatura media, máxima y mínima. Estación Santa Cecilia. ....	92
Figura 35. Infiltración de lixiviados en el Domo 2. ....	103
Figura 36. Contaminación con lixiviado disposición directa. ....	103
Figura 37. Presencia de aves de carroña. ....	104
Figura 38. Presencia de animales domésticos en la celda. ....	104
Figura 39. Acumulación de aguas lluvia en las celdas.....	105
Figura 40. Erosión en taludes de material de excavación. ....	105
Figura 41. Diagrama de Flujo del Tratamiento con aireación-coagulación-floculación.....	111
Figura 42. Diagrama de Flujo del Tratamiento con ozonización-coagulación- floculación.....	112
Figura 43. Diagrama de flujo proceso a gran escala Propuesto .....	136

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Localización general del proyecto, del relleno Sanitario de Lago Agrio. ....	150
ANEXO B. Diseño de los Domos uno y dos, del Relleno Sanitario de Lago Agrio. ....	151
ANEXO C. Diseño de las nueve celdas para residuos sólidos relleno sanitario de Lago Agrio. ....	152
ANEXO D. Red de captación de lixiviados Domo uno y dos.....	153
ANEXO E. Red de captación de lixiviados de la celda uno a la nueve. ....	154
ANEXO F. Generación de lixiviados en el relleno sanitario de Lago Agrio. ....	155
ANEXO G. Red de captación de biogas del Domo uno y del Domo dos. ....	158
ANEXO H. Red de captación de biogas de las celdas uno a la nueve. ....	159
ANEXO I. Parámetros del lixiviado nativo generado en el relleno sanitario de Lago Agrio, muestra tomada en Septiembre del 2011. ....	160
ANEXO J. Parámetros del lixiviado nativo generado en el relleno sanitario de Lago Agrio, muestra tomada en Septiembre del 2012. ....	162
ANEXO K. Parámetros del lixiviado tratado por el método de aireación, coagulación- floculación, muestra tomada en Septiembre del 2012, en el relleno sanitario de Lago Agrio. ....	164
ANEXO L. Parámetros del lixiviado tratado por el método de ozonización, coagulación-floculación, muestra tomada en Septiembre del 2012, en el relleno sanitario de Lago Agrio. ....	166
ANEXO M. Fotografías del tratamiento de lixiviados en las piscinas de recolección del relleno sanitario de Lago Agrio.....	168
ANEXO N. Permiso de descarga al medio ambiente emitido por el MAE, Sucumbíos. ....	172
ANEXO O. Fotografías relleno sanitario de Lago Agrio.....	174
ANEXO P. Fotografías tratamiento de aireación, coagulación -floculación. ....	176
ANEXO Q. Fotografías Tratamiento de ozonización, coagulación -floculación.....	180

## GLOSARIO

**ABIÓTICO.** Es un factor climático, geológico o geográfico inerte presente en el medio ambiente que afecta a los ecosistemas.

**AEROBIO.** Se denominan aerobios o aeróbicos a los organismos que pueden vivir o desarrollarse en presencia de oxígeno diatómico.

**AIREACIÓN.** Proceso en el cual se inyecta aire al agua residual en tratamiento para producir una oxidación en la materia orgánica contaminante.

**ANAEROBIO.** Que prolifera en ausencia de oxígeno. Por extensión, microorganismo que crece y que vive en ausencia completa o casi completa de oxígeno.

**BIODEGRADABILIDAD.** Es un parámetro determinante en el comportamiento ambiental de las sustancias químicas y una propiedad deseable de los productos que se liberan en grandes cantidades al medio natural

**BIOGAS.** El biogás se forma de la descomposición de la materia orgánica en la que intervienen bacterias que realizan el proceso en condiciones anaerobias.

**BIOREACTOR.** Es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un bioreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos.

**BIÓTICO.** Son los seres vivos de un ecosistema que sobreviven. Pueden referirse a la flora, la fauna, los humanos de un lugar y sus interacciones.

**COLORO RESIDUAL O COLORO LIBRE.** Que representa la concentración de cloro disponible para inactivar microorganismos causantes de enfermedades.

**COAGULACIÓN.** La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo o precipitado.

**COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.** Es una característica de los suelos, específicamente está ligado a la Ley de Darcy que se refiere al flujo de fluidos a través de los suelos.

**COLOIDES.** Son sustancias que consisten en un medio homogéneo y de partículas dispersadas en dicho medio. Estas partículas se caracterizan por ser mayores que las moléculas pero no lo suficientemente grandes como para ser vistas en el microscopio.

**COMPOST.** Es el producto que se obtiene del compostaje, y constituye un “grado medio” de descomposición de la materia orgánica, que ya es en sí un buen abono.

**COMPOSTAJE.** Una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables.

**COTA.** En topografía se llama cota a la altura del terreno en un punto.

**DECANTACIÓN.** Es un método mecánico de separación de mezclas heterogéneas, estas pueden estar formadas por un líquido y un sólido, o por dos líquidos.

**DECLORACIÓN.** Es la práctica que consiste en la eliminación de la totalidad del cloro combinado residual.

**DESINFECCIÓN.** Es un proceso físico o químico que mata o inactiva agentes patógenos tales como bacterias, virus y protozoos

**DIFUSOR.** Componente del sistema de contacto de ozono en el generador de ozono que permite la difusión del ozono contenido como gas.

**DOMOS.** Son montañas con forma de cúpula.

**ELECTRODIÁLISIS.** El proceso de electrodiálisis es un procedimiento mediante el cual se pueden extraer los iones disueltos en agua, haciéndola pasar por una serie de membranas ion-selectivas, con ayuda de energía eléctrica.

EPA. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (por su nombre oficial, en inglés, United States Environmental Protection Agency)

ESCORRENTÍA. La escorrentía es un término geológico de la hidrología, que hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida.

EVAPOTRANSPIRACIÓN. Es la consideración conjunta de los procesos de evaporación y transpiración. La diferencia entre estos dos conceptos está en la participación de los seres vivos en el segundo, que es el proceso físico a través del cual sus superficies pierden agua a la atmósfera mediante el proceso de transpiración.

FLOCULACIÓN. Trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar.

FLÓCULO. Es formado por la acumulación de partículas suspendidas.

FLUOROSIS. Es una anomalía de la cavidad oral, en especial de las piezas dentales originada por ingestión excesiva y prolongada de flúor.

GEOMEMBRANA. Las geomembranas son una barrera impermeable, su uso de en los rellenos sanitarios constituye una alternativa confiable como sistema de protección ambiental.

HUMEDAD ATMOSFÉRICA. Es la cantidad de vapor de agua existente en el aire

INFILTRACIÓN. En hidrología, se denomina capacidad de infiltración a la velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo.

INSOLACIÓN. Es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual).

IMPERMEABILIZANTES. Son sustancias o compuestos químicos que tienen con objetivo detener el agua, impidiendo su paso

LAGUNAJE. Es un procedimiento de depuración natural, que parte del principio de utilizar la vegetación acuática como agente depurador de aguas residuales.

LIXIVIADO. Es el agua que se filtra a través de los residuos, está formado por la mezcla de las aguas de lluvia infiltradas en el depósito y otros productos procedentes de los procesos de degradación de los residuos.

LOMBRICULTURA. Es una BIOTECNOLOGIA que utiliza, a una especie domesticada de lombriz (Lombriz Roja de California), como una herramienta de trabajo. Recicla todo tipo de materia orgánica.

METANOGÉNICO. Proceso generado por bacterias metanogénicas que son las responsables de la formación de metano a partir de substratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato,  $H_2$ ,  $CO_2$ , formato, metanol y algunas metilaminas.

NANOFILTRACIÓN. Es un proceso relacionado con la presión durante el cual ocurre una separación basada en el tamaño molecular. Las membranas producen la separación. La técnica es principalmente aplicada para la eliminación de sustancias orgánicas, tales como micro contaminantes e iones multivalentes.

NUBOSIDAD. Es la fracción de cielo cubierto con nubes, en un lugar en particular.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Es la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas

ORGANOCOLORADOS. Son hidrocarburos con alto contenido de átomos de cloro

ÓSMOSIS DIRECTA. Método de tratamiento de aguas basado en la búsqueda fundamental del equilibrio. Si dos fluidos que contienen diferente concentración de sólidos disueltos son puestos en contacto, estos se mezclarán hasta que la concentración se uniformice. Cuando estos dos fluidos están separados por una membrana semi-permeable (que deja pasar el fluido y no los sólidos disueltos), un fluido que contenga una menor concentración se moverá a través de la membrana hacia el fluido que contenga una mayor concentración de sólidos disueltos. Después de un tiempo el nivel de agua será mayor a uno de los lados de la membrana.

ÓSMOSIS INVERSA. Método de Tratamiento de aguas que aplica en la columna del fluido una presión superior a la presión osmótica, obtendremos el efecto inverso. Los fluidos son presionados de vuelta a través de la membrana, mientras que los sólidos disueltos permanecen en la columna.

**OZONIZACIÓN.** Proceso de tratamiento de aguas, mediante la dosificación de ozono como agente oxidante y desinfectante.

**PERCOLACIÓN.** Proceso mediante el cual el agua, al atravesar una capa de suelo, disuelve sus componentes solubles y los arrastra hacia las raíces de las plantas o los mantos freáticos.

**PRECIPITACIÓN.** En meteorología, la precipitación es cualquier forma de agua que cae del cielo. Esto incluye lluvia, nieve, neblina y rocío.

**RECICLAJE.** Es un proceso fisicoquímico o mecánico o trabajo que consiste en someter a una materia o un producto ya utilizado (basura), a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto.

**RESIDUO PELIGROSO.** Es un desecho con propiedades intrínsecas que ponen en riesgo la salud de las personas o que pueden causar un daño al medio ambiente. Entre las propiedades que convierten a un residuo en peligroso se encuentran la inflamabilidad, la toxicidad, la corrosividad, la reactividad y la radioactividad.

**RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES (RSM).** Son los que se originan en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos.

**REUTILIZAR.** Es la acción de volver a utilizar los bienes o productos.

**SEDIMENTACIÓN.** La sedimentación es el proceso por el cual el sedimento en movimiento se deposita.

**TALUD.** Es la pendiente de un muro, la que es más gruesa en el fondo que en la parte superior de éste, de modo que así resista la presión de la tierra tras él.

**ULTRAFILTRACIÓN.** El principio de la micro y ultrafiltración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos.

**VECTORES.** En el manejo de residuos sólidos, los vectores representan insectos como moscos que proliferan en las acumulaciones de basura.

## **ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE LAGO AGRIO.**

### **RESUMEN**

Se determinó el mejor sistema de tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario del cantón Lago Agrio. Se inicia el estudio con la caracterización fisicoquímica de los lixiviados generados en dos celdas (Domas uno y dos) donde actualmente se vierten totalmente los residuos sólidos generados en este cantón. Para su tratamiento, se plantearon dos métodos: 1) aireación – coagulación –floculación y cloración 2) ozonización– coagulación –floculación y cloración. Se evalúan los resultados de cada tratamiento en función de las siguientes variables: pH, DQO, tiempo de reacción y cantidad de químicos utilizados.

Los resultados indican que la mejor alternativa es el método uno, de aireación- coagulación- floculación y cloración con hipoclorito de sodio ya que permite la reducción de hasta 99,23 % de DQO y los otros parámetros como pH, Nitrógeno Amoniacal, DBO<sub>5</sub> y Sólidos totales, entre otros se encuentran dentro del rango establecido por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), para la descarga a un cuerpo de agua dulce.

**PALABRAS CLAVES:** / RELLENOS SANITARIOS /LIXIVIADOS/ TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS/CANTON LAGO AGRIO/.



## **STUDY OF THE LEACHATE TREATMENT SYSTEM IN THE LAGO- AGRIO LANDFILL**

### **ABSTRACT**

It was determined the best leachate treatment system in the Lago Agrio Landfill. The study begins with the physicochemical characterization of leachate produced in two cells (domes, one and two), where currently; all solid residues generated in this town are discharged. There were used two methods for this treatment. The first one was aeration- coagulation and flocculation - chlorination. The second one was ozonation-coagulation-flocculation and chlorination. There was evaluated the results of each treatment depending on the following variables: pH, DQO, reaction time y the amount of chemical which were used. The results show that the best alternative is the method number one, aeration- coagulation and flocculation –chlorination with Sodium hypochlorite due to the fact that it reduces the DQO demand until 99,23%. In addition, the other parameter such as, pH, ammonia nitrogen, DBO5 and total solids among others, they are in a range established by Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULAS), for the discharge to sweet water.

**KEYWORDS:** / LANDFILL/LEACHATE/LEACHATE TREATMENT/ LAGO- AGRIO TOWN/.

## INTRODUCCIÓN

Enterrar los residuos sólidos urbanos ha sido, y es aún, la práctica más utilizada por las sociedades del mundo para su manejo. A pesar de la creciente conciencia mundial sobre la necesidad de Reducir, Reusar y Reciclar los materiales que fluyen a través de la sociedad, la implementación real de estas políticas ha encontrado numerosos obstáculos que han impedido su materialización en hechos concretos. Parte del problema se encuentra en la poca internalización de los costos ambientales en que se incurre en la producción de bienes que finalmente se descartan convirtiéndose en residuos. La comparación final sobre qué hacer con un bien descartado se hace en términos de las alternativas para su manejo final, mas no en los impactos ambientales que generó su producción, distribución y uso, siendo con frecuencia la alternativa más económica su disposición en un relleno sanitario. En sociedades en donde el costo del capital es alto, como en Latinoamérica, y en donde existen numerosas necesidades insatisfechas que compiten por los recursos, con frecuencia terminan los rellenos sanitarios siendo las opciones más utilizadas a pesar de la clara conciencia de que las prioridades las fijan las tres R.

Una vez que se han enterrado los residuos sólidos es necesario minimizar los impactos de esta práctica. Para empezar, el agua que ha entrado en contacto con la basura recoge gran cantidad de las sustancias que originalmente estaban dentro del residuo, quedando de esa manera altamente contaminada. Esta agua se denomina lixiviado, y es uno de los líquidos más contaminados y contaminantes que se conozcan. De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón, y para evitar que esto ocurra, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados recogidos por estos drenes, se deben tratar.

En Lago Agrio existe un botadero de basura a cielo abierto creado hace dos años, donde se realiza la disposición final de aproximadamente 324 toneladas semanales de residuos sólidos provenientes del área residencial, comercial y de servicios, entre ellos también residuos hospitalarios. La disposición final se la realiza mediante vertido directo del 100% de los residuos.

Mensualmente se generan alrededor de 90 m<sup>3</sup>, esto se debe también a que en esta región del

país, las lluvias son constantes, generándose gran cantidad de lixiviados.

El presente trabajo fue realizado gracias al apoyo de SAMBIES (Soluciones Ambientales Especializadas), que es una empresa privada creada hace dos años por Nelson Cevallos Ingeniero Químico de profesión, está ubicada en La joya de los Sachas, provincia de Orellana. La empresa tiene múltiples actividades entre ellas el tratamiento químico de crudo intemperizado, tratamiento de aguas para reinyección, tratamiento de lodos de floculación-coagulación, venta de productos químicos. Además se realiza investigaciones relacionadas con el tratamiento de aguas residuales de diferentes sectores industriales.

El objetivo general del presente trabajo fue estudiar un sistema de tratamiento para los lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio.

Se plantearon dos alternativas de tratamientos fisicoquímicos, con aireación-coagulación-floculación, y con ozonización-coagulación-floculación. Los objetivos específicos fueron determinar cuáles son los principales contaminantes en los lixiviados, según esto encontrar el mejor método en eficiencia, midiendo la disminución de estos parámetros. Además que el método encontrado se adapte a las condiciones actuales del relleno sanitario.

Resulta de gran importancia realizar el tratamiento de estos lixiviados, ya que si no se controlan adecuadamente, los lixiviados pueden contaminar los suelos, las aguas superficiales, subterráneas (acuíferos). Otro factor que debe considerarse es la megadiversidad en flora y fauna que existe en esta región. Como se trata de un proceso contaminante que se produce de manera lenta, sus efectos no suelen percibirse hasta varios años después. Esto es urgente porque existen comunidades cercanas como lo es la Comunidad de Puerto Rico que utilizan las aguas de los ríos y estereros colindantes para sus actividades diarias.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Antecedentes

Durante siglos los desechos de las poblaciones arrojaban en forma indiscriminada, creando basurales en las cercanías de las ciudades. Como la mayoría de los residuos eran orgánicos, terminaban incorporándose naturalmente al suelo y prácticamente no existía lo que hoy conocemos como contaminación.

La revolución industrial incorporó nuevos tipos de desechos, y sin embargo no hubo variaciones sustanciales en la forma de disponerlos. Comenzaron a aparecer vertederos en los que la basura se tapaba con, tierra pero sin controles que eviten la contaminación del suelo y del agua. “Hacia 1950 comenzó la aplicación de técnicas de ingeniería sanitaria que propician el aislamiento de los residuos para no afectar el medio ambiente. De allí surge el método del relleno sanitario, como una forma de darle destino final y seguro a los desechos” [1].

**1.1.1 Botadero de basura a cielo abierto o basurero.** El botadero de basura es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de deshacerse de los residuos que él mismo produce en sus diversas actividades. “Se le llama botadero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural” [2].

Allí no existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente; el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemas y humos, polvo y olores nauseabundos. Los botaderos de basura a cielo abierto son cuna y hábitat de fauna nociva transmisora de múltiples enfermedades. En ellos se observa la presencia de vectores como moscas, roedores y animales carroñeros entre otros animales que representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores de la zona, especialmente para las familias de los segregadores que sobreviven en condiciones infrahumanas sobre los montones de basura o en sus alrededores.

## 1.2 Relleno Sanitario.

El Relleno Sanitario es una técnica de eliminación final de desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo.

Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que pueden causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

**1.2.1 Tipos de rellenos sanitarios.** Dependiendo de la cantidad de residuos sólidos urbanos que se generen, es el tipo de relleno sanitario que se utilizará (Tabla 1).

**Tabla 1. Tipos de rellenos sanitarios y cantidad de residuos sólidos urbanos generados.**

<b>Tipo de Relleno Sanitario</b>	<b>Residuos Sólidos urbanos Ingresados (Ton/día)</b>	<b>Tipo de Municipio</b>
Mecanizado	>40	Urbano
Semimecanizado	16 a 40	Urbano y semirural
Manual	15 o menor	Rural

**Fuente:** MELÉNDEZ Carlos, “Guía Práctica para la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios pequeños y medianos”,2004. Cuadro 1. p.3.

**1.2.1.1 Relleno sanitario mecanizado.** “El relleno sanitario mecanizado es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 ton /día. Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere el uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc” [3].



**Figura 1. Compactador de Basura.**

**1.2.1.2 Relleno sanitario semimecanizado.** “Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 a 40 ton/día de RSM en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno” [4].



**Figura 2. Equipo Multiuso (Transcavo).**

**1.2.1.3 Relleno sanitario manual.** “Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen (menos de 15

Ton/día)” [5], además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

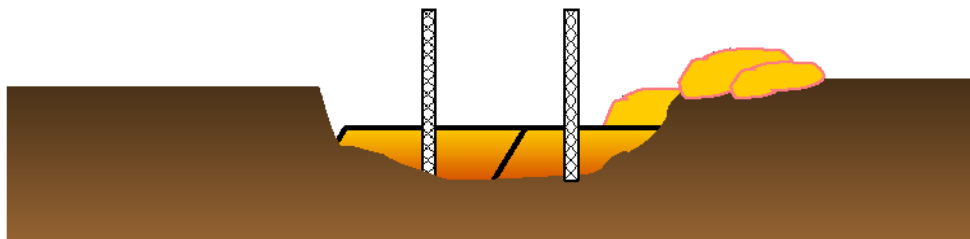


**Figura 3. Volqueta**

Ocasionalmente, este mismo equipo podrá emplearse en la realización de algunas obras públicas en el municipio, con lo que se aprovechará al máximo la inversión realizada.

**1.2.2 Métodos de construcción de un relleno sanitario.** El método constructivo y la subsecuente operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque depende también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras básicas de construir un relleno sanitario.

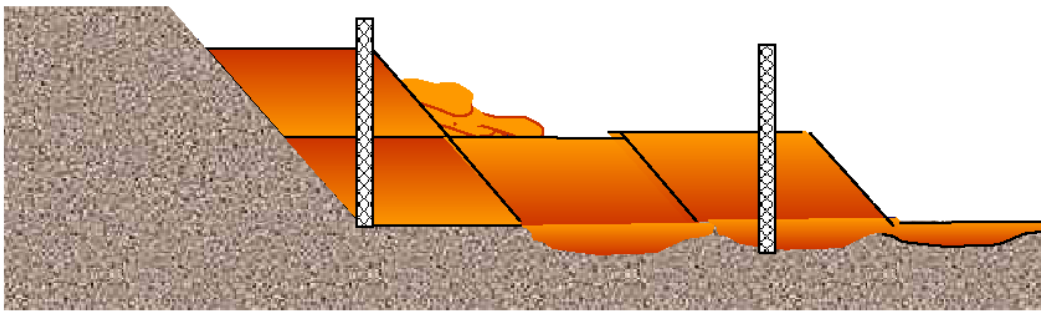
**1.2.2.1 Método de trinchera o zanja.** “Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. Es de anotar que existen experiencias de excavación de trincheras hasta de 7m de profundidad para relleno sanitario. (Ver Figura 4. Método de Zanja o Trinchera)” [6].



**Figura 4. Método de Zanja o Trinchera**

La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de una trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra. Se debe tener cuidado en época de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas.

**1.2.2.2 Método de Área.** En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno. (Figura 5. Método de Área)

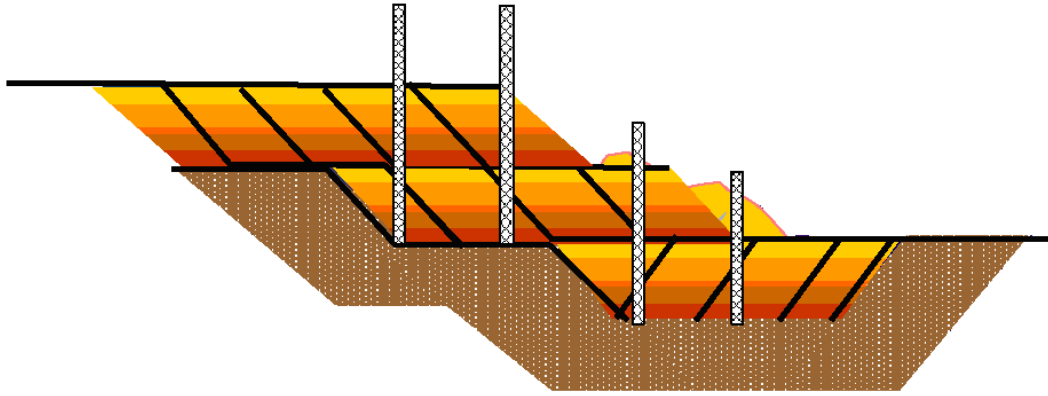


**Figura 5. Método de Área.**

“La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba. El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno, es decir, la basura se vacía en la base del talud, se extiende y apisona contra él, y se recubre diariamente con un capa de tierra de 0,10 a 0,20 m de espesor; se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 30 grados en el talud y de 1 a 2 grados en la superficie” [7].

**1.2.2.3 Combinación de ambos métodos.** Es necesario mencionar que, dado que estos dos métodos de construcción de un Relleno Sanitario tienen técnicas similares de operación, pueden combinarse lográndose un mejor aprovechamiento del terreno del material de cobertura y rendimientos en la operación. (Ver Figura 6.)





**Figura 6. Método Combinado.**

### **1.2.3 Ventajas de un relleno sanitario**

- El relleno sanitario, como método de disposición final de los desechos sólidos urbanos, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente para nuestros países. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.
- La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquier otro método de tratamiento como la incineración o la compostación.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Un relleno sanitario es un Método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación.
- Generar empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.
- Recuperar gas metano en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía.

- Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- Recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc.
- Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación.
- Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

**1.2.4 Desventajas de un Relleno Sanitario.** La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como:

- La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
- Asociarse el término “relleno sanitario” al de un “botadero de basuras a cielo abierto”.
- La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.
- El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.
- La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones. En las pequeñas poblaciones, la supervisión de rutina diaria debe estar en manos del encargado del servicio de aseo, debiendo éste contar a su vez con la asesoría de un profesional responsable, dotado de experiencia y conocimientos técnicos adecuados, quien inspecciona el avance de la obra cada cierto tiempo, a fin de evitar fallas futuras.

- Existe un alto riesgo de transformarlo en botadero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales, ya que se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.
- Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.
- Los asentamientos más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno, por lo tanto se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona [8].

**1.2.5 *Uso futuro de un relleno sanitario.*** El uso futuro de un relleno sanitario depende del clima, de su localización respecto al área urbana, de su distancia de las zonas habitadas, de su extensión o área superficial y de las características constructivas. Estas últimas tienen que ver con la configuración final del relleno, la altura y el grado de compactación y, por supuesto, la capacidad económica de la población.

El terreno de un relleno sanitario clausurado se presta para desarrollar programas de recuperación paisajística y social como un parque, un campo deportivo o una zona verde. Por fortuna ya existen en la Región experiencias de aprovechamiento de estos sitios transformados en parques y áreas recreativas en México D.F, Santiago de Chile y Buenos Aires, entre otras ciudades.

No se recomienda la construcción de edificaciones, viviendas, escuelas ni infraestructura pesada sobre la superficie del relleno, debido a su poca capacidad para soportar estructuras pesadas, además de los problemas que pueden ocasionar los hundimientos y la generación de gases.

**1.2.6 *Reacciones que se generan en un relleno sanitario.*** Los RSM depositados en un relleno sanitario presentan una serie de cambios físicos, químicos y biológicos de manera simultánea e interrelacionada. Estos cambios se describen a continuación a fin de dar una idea de los procesos internos que se presentan cuando los residuos son confinados.

**1.2.6.1 *Cambios físicos.*** Los cambios físicos más importantes están asociados con la compactación de los RSM, la difusión de gases dentro y fuera del relleno sanitario, el ingreso de

agua y el movimiento de líquidos en el interior y hacia el subsuelo, y con los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de la materia orgánica depositada.

El movimiento de gases es de particular importancia para el control operacional y el mantenimiento del sistema. Por ejemplo. Cuando el biogás se encuentra atrapado, la presión interna puede causar agrietamiento de la cubierta y fisuras, lo que permite el ingreso de agua de lluvia al interior del relleno sanitario. Lo que provoca mayor generación de gases y lixiviados [9].

**1.2.6.2 Reacciones químicas** [10]. Las reacciones químicas que ocurren dentro del relleno sanitario e incluso en los botaderos de basura abarcan la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que se infiltran a través de la masa de RSM, la evaporación de compuestos químicos y agua, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y las reacciones de óxido-reducción, que afectan la disolución de metales y sales metálicas. (La importancia de la descomposición de los productos orgánicos reside en que estos materiales pueden ser transportados fuera del relleno sanitario o del botadero de basura con los lixiviados).

**1.2.6.3 Reacciones biológicas** [11]. Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son realizadas por los microorganismos aerobios y anaerobios, y están asociadas con la fracción orgánica contenida en los RSM. El proceso de descomposición empieza con la presencia del oxígeno (fase aerobia); una vez que los residuos son cubiertos, el oxígeno empieza a ser consumido por la actividad biológica. Durante esta fase se genera principalmente bióxido de carbono. Una vez consumido el oxígeno, la descomposición se lleva cabo sin él (fase anaerobia): aquí la materia orgánica se transforma en bióxido de carbono, metano y cantidades traza de amoníaco y ácido sulfhídrico.

### **1.3 Generación de Lixiviados**

**1.3.1 Lixiviados.** Se entiende por lixiviado al líquido residual que es generado en la descomposición bioquímica de los residuos, además de la percolación de agua a través de estos en proceso de degradación, que a su vez extrae materiales disueltos, que por gravedad tienden a salir por la parte inferior del Relleno Sanitario, hasta que una capa impermeable impida su paso.

**1.3.2 Características.** Las características de los lixiviados provenientes de los Rellenos Sanitarios, dependerán de las características típicas de los residuos sólidos urbanos que lleguen al Relleno, además de varios factores como la temperatura, el contenido de humedad, la calidad y cantidad del agua que entra en contacto con la masa de residuos sólidos dispuestos, además de la edad del relleno sanitario.

Las características fisicoquímicas de los lixiviados son inherentes tanto a la calidad de los residuos sólidos como a su grado de estabilización. Desde que los residuos sólidos son generados y aún temporalmente dispuestos, tiene lugar la degradación aeróbica.

“Debido a la alta compresión de los residuos, el oxígeno tomado de la atmósfera no es suficiente para compensar la demanda de oxígeno de los microorganismos, por lo que se originan condiciones anaerobias. Esta situación, es la causa del cambio de la biocenosis de aerobia a anaerobia facultativa y más tarde a microorganismos anaerobios obligados” [12].

El incremento de las bacterias metanogénicas, afecta negativa y progresivamente la producción de Ácidos Grasos Volátiles. Después de un período de 7 a 9 años la biocenosis alcanza un estado estable, denominada fase metanogénica, en la cual el relleno se caracteriza por la generación elevada de metano.

“La contaminación orgánica del lixiviado disminuye rápidamente lo que da como resultado que la  $DBO_5$  presente valores más bajos y la relación  $DBO/DQO$  sea más bajo.

Los rangos típicos de la concentración del lixiviado según Ehrig (1989), se presentan en la Tabla 2. En esta tabla se identifican las características del lixiviado según la fase acética que ocurre al momento de disponer o la fase metanogénica que ocurre en un período estrictamente anaerobio.

La fase de fermentación ácida en un Relleno Sanitario puede durar de 3 a 7 años, dependiendo de la forma y factores ambientales que predominen.

En la disposición los lixiviados pueden presentar concentraciones muy altas de  $DQO$  y  $DBO_5$ , parámetros que deben ser tomados muy en cuenta para el diseño o tratamiento de los lixiviados. Durante este lapso de tiempo de 3 a 7 años, la relación  $DBO_5 / DQO$  es aproximadamente 0.6. En este caso, alrededor del 90% de la  $DBO_5$  es causada por ácidos grasos volátiles (AGV), lo que significa que la biodegradabilidad del lixiviado durante este período de tiempo es alta” [13].

**Tabla 2. Composición de lixiviado de rellenos sanitarios fases Acética y Metanogénica**

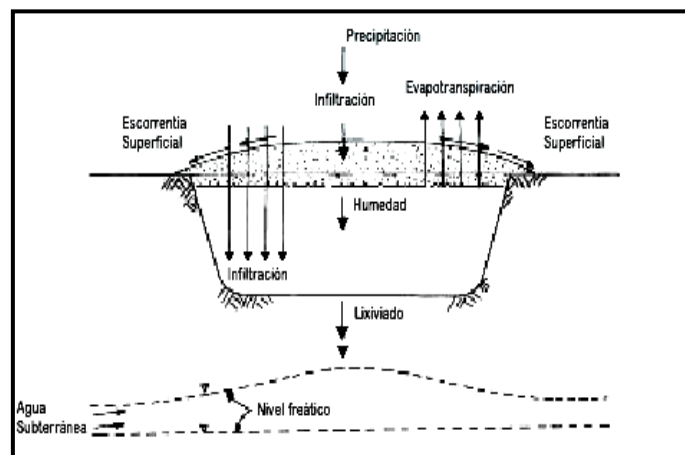
PARÁMETRO	VALOR PROMEDIO	RANGO
<b>FASE ACIDOGÉNICA</b>		
pH	6.10	4.5 – 7.5
DBO <sub>5</sub> ( mg/l)	13000.00	4000 - 40000
DQO (mg/l)	22000.00	6000 – 60000
DBO <sub>5</sub> /DQO	0.58	
SO <sub>4</sub> (mg/l)	500.00	70 – 1750
Ca (mg/l)	1200.00	10 – 2500
Mg (mg/l)	470.00	
Fe (mg/l)	780.00	20 – 2100
Mn (mg/l)	25.00	0.3 – 65
Zn (mg/l)	5.00	0.1 – 120
<b>FASE METANOGENICA</b>		
pH	8.00	7.5 – 9
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	180.00	20 – 550
DQO (mg/l)	3000.00	500 – 4500
DBO <sub>5</sub> / DQO	0.06	
SO <sub>4</sub> (mg/l)	80.00	10 – 420
Ca (mg/l)	60.00	20 – 600
Mg (mg/l)	180.00	40 – 350
Fe (mg/l)	15.00	3 – 280
Mn (mg/l)	0.70	1q0.03 –CE 45
Zn (mg/l)	0.60	0.03 – 4
<b>CUANDO NO SE OBSERVAN DIFERENCIAS ENTRE LAS DOS FASES</b>		
Cl (mg/l)	2100.00	100 – 5000
Na (mg/l)	1350.00	50 – 4000
K (mg/l)	1100.00	10 – 2500
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	6700.00	300 – 11500
NH <sub>4</sub> (mg N/l)	750.00	30 – 3000
Norg (mg N/l)	600.00	10 – 4250
Total N (mg N/l)	1250.00	50 – 5000
NO <sub>3</sub> (mgN/l)	3.00	0.1 – 50
NO <sub>2</sub> (mg N/l)	0.50	0 – 25
P Total (mg N/l)	6.0	0.1 – 30
As (µg /l)	160.00	5 – 1600
Cd (µg /l)	6.00	0.5 – 140
Co (µg /l)	55.00	4 – 950
Ni (µg /l)	200.00	20 – 2050
Pb (µg /l)	90.00	8 – 1020
Cr (µg /l)	300.00	30 – 1600
Hg (µg /l)	10.00	50

**Fuente:** Tchobanoglous Agudelo G. Rubén; Tratabilidad de Lixiviados producidos en rellenos sanitarios, 1996 Medellín, Relleno Curva de Rodas. p. 54

**1.3.3 Generación.** El agua que se introduce y tiene contacto con residuos debido principalmente a fuentes externas como el agua lluvia, drenaje superficial, entre otras, se filtra a través de los residuos sólidos en descomposición lo que produce la lixiviación de materiales biológicos y compuestos químicos, tanto orgánicos como inorgánicos.

Este proceso da lugar a la aparición de un fluido líquido denominado como lixiviado, el cual se caracteriza principalmente por un gran número de sustancias, con valores a menudo extremos de pH, carga orgánica y metales pesados, y caracterizado por su mal olor.

“Para conocer un volumen de lixiviado se realiza el balance hidrológico el cual implica la suma de todas las cantidades de agua que entran en el Relleno Sanitario y la sustracción de las cantidades de agua consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale en forma de vapor de agua” [14]. Uno de los modelos con los cuales se estima la producción de lixiviado involucra los componentes mostrados en la Figura 7.



**Figura 7. Balance de agua en un Relleno Sanitario.**

**1.3.3.1 Precipitación (P).** “La precipitación es la cantidad de lluvia que cae sobre el terreno del relleno sanitario, siendo (RO) la fracción de esta que escurre superficialmente (escorrentía)” [15].

**1.3.3.2 Infiltración (I).** La infiltración es la fracción de (P) que se infiltra entre las capas de los residuos dispuestos. “La tasa de infiltración depende del tipo de superficie con que se cuente, sea este el material de cobertura final, cobertura vegetal, material de cobertura diaria e intermedia o residuos descubiertos” [16].

**1.3.3.3 Evapotranspiración (ETP).** Corresponde a la parte del líquido que se evapora de la superficie y se transpira (T) por acción de la cobertura vegetal.

**1.3.3.4 Saturación (S).** Es la deficiencia en el almacenamiento de humedad del terreno, es la diferencia de la capacidad de campo (FC) y el volumen de humedad existente en el área (MC).

**1.3.3.5 Percolación (PERC).** Es el porcentaje de precipitación (P) que no se infiltra, ni escurre y que tampoco es sometido a la evapotranspiración, la cual se convierte luego en lixiviado (L). La percolación puede ser aumentada por la intrusión al relleno de aguas subterráneas (G).

El procedimiento de cálculo de generación de lixiviados que involucra estos elementos se denomina Método de Equilibrio del Agua (WB) el cual ha sufrido diversas variaciones desde su formulación en 1975 por Fenn (1989). Este método consistía en un procedimiento de cálculo manual resuelto de acuerdo con los registros mensuales de precipitación.

Una predicción exacta del flujo de lixiviados es muy difícil de lograr debido a las incertidumbres asociadas a la estimación de las variables que componen el método, cuya formulación algebraica es:

$$\text{PERC} = P - RO - \text{ETP} - S + G \quad (1)$$

Este método requiere conocer datos básicos como temperatura, precipitación, índice de calor, crecimiento vegetal, coeficiente de escorrentía, compactación, capacidad de almacenamiento de humedad, etc.

“El primer estudio exitoso, realizado para predecir la producción de lixiviados fue publicado por Kmet(1982), quien utilizó el método de equilibrio del agua para simular la producción de lixiviado estimando su flujo en porcentajes comprendidos entre el 16,6% y 22,1% de la precipitación media anual” [17].

**1.3.4 Movimiento del lixiviado en vertederos sin aislamiento.** “En condiciones normales, el lixiviado se encuentra en el fondo de los rellenos sanitarios. Desde allí el movimiento es a través de los estratos subyacentes, aunque también ocurre algún movimiento lateral, dependiendo de las características del material circundante y de la forma del suelo que soporta el lleno como es su topografía, pendiente, tipo de suelo” [18].



Para determinar la velocidad de filtración de los lixiviados del fondo del vertedero se puede determinar mediante la Ley de Darcy que se expresa de la siguiente manera:

$$Q = -KA \frac{dh}{dl} \quad (2)$$

Donde:

Q = descarga de lixiviado por unidad de tiempo, m<sup>3</sup>/año.

K = coeficiente de permeabilidad, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.año.

A = área en perfil a través de la cual corre el lixiviado, m<sup>2</sup>.

Dh/dl = gradiente hidráulico, m/m.

h = pérdida de carga, m.

l = longitud del camino de flujo, m.

**Tabla 3. Coeficientes típicos de permeabilidad para varios suelos**

Material	Coeficiente de Permeabilidad, K	
	m/d	l/m <sup>2</sup> d
Arena gruesa uniforme	406	405779
Arena mediana uniforme	100	101343
Arena y grava bien graduadas y limpias	100	101343
Arena fina uniforme		
Arena de lodo y grava bien graduadas	4	4074
Arena de lodo	0,4	392
Lodo uniforme	0,1	89,54
Arcilla arenosa	0,04	48,84
Arcilla de lodo	0,004	4,8
Arcilla (tamaños de arcilla del 30 al 50%)	10 <sup>-4</sup>	8,9x10 <sup>-2</sup>
Arcilla coloidal	10 <sup>-5</sup>	8,9x10 <sup>-3</sup>
	10 <sup>-6</sup>	8,9x10 <sup>-5</sup>

**Fuente:** Tchobanougous Agudelo G. Rubén; Tratabilidad de Lixiviados producidos en rellenos sanitarios, 1996 Medellín, Relleno Curva de Rodas. p. 65

**1.3.4.1 Tiempo de penetración.** El tiempo de penetración es un parámetro expresado en años que corresponde a lo que tardan los lixiviados en traspasar un recubrimiento de arcilla de un espesor dado puede estimarse utilizando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{d^2 \alpha}{K(d + h)} \quad (3)$$

Donde:

t = tiempo de penetración, años.

d = espesor de recubrimiento de arcilla, m.

$\alpha$  = porosidad efectiva.

K = coeficiente de permeabilidad, m/año.

h = carga hidráulica, m.

**1.3.5 Control de la lixiviación en vertederos.** Por el gran riesgo que involucra la filtración del líquido lixiviado hacia las aguas subterráneas, se debe realizar su eliminación o contención, para lo cual los sistemas más utilizados son:

**1.3.5.1 Sistemas de Aislamientos para monorellenos.** El sistema de aislamiento consisten en la protección del suelo, con la utilización de polietileno de alta densidad (geomembranas), con una capa de drenaje y un sistema de recogida de lixiviado. En muchas instalaciones se usa una capa de arcilla espesa (1 a 1.5m) debajo de las dos geomembranas para mayor protección.

**1.3.5.2 Construcción de aislamientos de arcilla.** “La construcción de aislamientos con arcilla es muy utilizada para prevenir que los lixiviados filtren a las aguas superficiales, el problema del aislamiento con arcilla es su propensión a agrietarse debido a la desecación, para asegurar un buen rendimiento, se debe instalar en capas de 10 a 15cm, con una adecuada compactación antes de colocar capas subsiguientes” [19].

Otro problema es cuando se utiliza arcilla de distintos tipos, se da una rotura debido a la diferencia de hinchamiento, para evitar esto es necesario utilizar un solo tipo de arcilla.

**1.3.6 Sistemas para la Recogida de Lixiviados.** En un Relleno Sanitario el lixiviado debe ser tratado, para lo cual este debe ser recogido para un posterior almacenamiento y tratamiento por lo que existe varios métodos para la recolección de estos tales como:

**1.3.6.1 Terrazas inclinadas.** Para evitar la acumulación de lixiviado en el fondo de un vertedero, la zona del fondo se gradúa en una serie de terrazas inclinadas, que están construidas para que el lixiviado se acumule en la superficie de las terrazas para que luego drene hasta los canales de recogida del lixiviado, se utiliza una tubería perforada colocada en cada canal para transportar el lixiviado recogido hasta una localización central, a partir de la cual se separa para su tratamiento o para su reaplicación sobre la superficie del vertedero.

“La pendiente transversal de las terrazas es normalmente del 1 al 5%, y la pendiente de los canales de drenaje es de 0,5 al 1%, la pendiente y la longitud máxima del canal de drenaje se seleccionan en base a la capacidad de las instalaciones de drenaje” [20].

**1.3.6.2 Fondo con tuberías.** “La zona del fondo se divide en una serie de tiras rectangulares con barreras de arcilla colocadas a distancias apropiadas, el espaciamiento de la barrera se corresponde con una celda del vertedero, se coloca la tubería de recogida del lixiviado, longitudinalmente por encima de la geomembrana, los tubos de recogida del lixiviado son de 10cm de diámetro y tienen perforaciones con láser, éstos cortes de láser están espaciados en 0,6cm y el tamaño del corte es 0,00025cm, que corresponde al tamaño más pequeño de la arena, Para proporcionar un drenaje efectivo se inclina el fondo desde 1,2 hasta 1,8%, los tubos de recogida están espaciados cada 6m, se cubren con una capa de arena de 60cm que sirve para filtrar los lixiviados antes de recogerlos para su tratamiento” [21].

## **1.4 Sistemas de Tratamiento de Lixiviados**

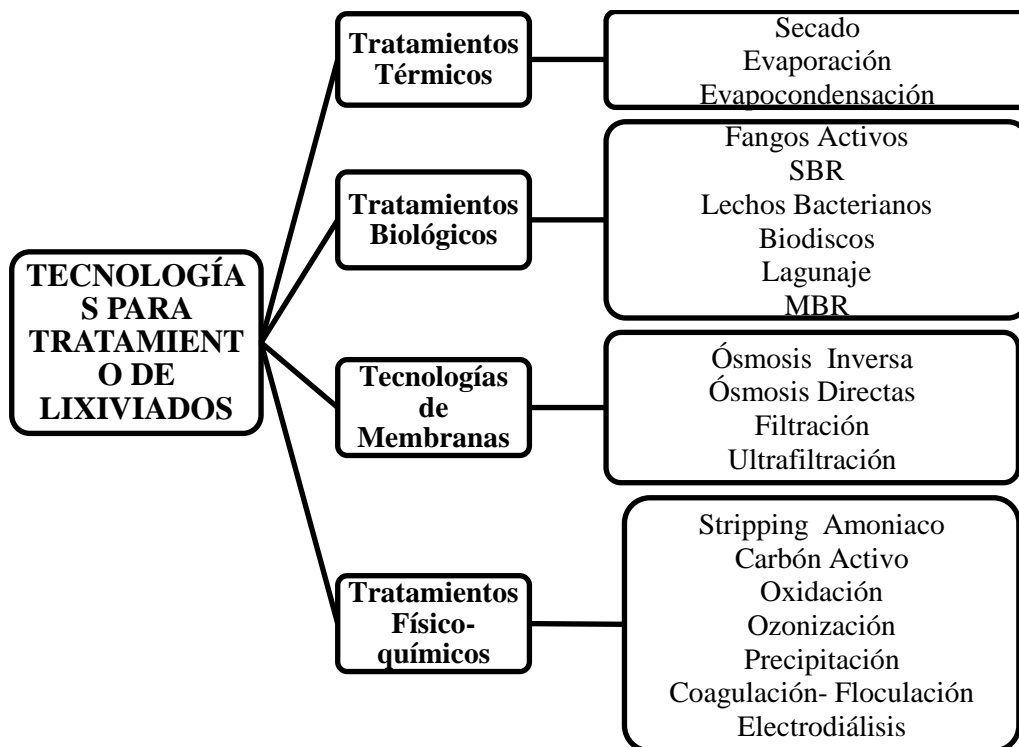
El tipo de instalaciones de tratamiento utilizadas dependerá principalmente de las características del lixiviado, motivo por lo cual se debe realizar una caracterización física, química y biológica del líquido contaminante para determinar los parámetros que deben ser tomados más en cuenta para el tratamiento, otro factor importante es el área disponible y la localización geográfica del relleno sanitario.

Las características más preocupantes del lixiviado incluyen la DQO, DBO<sub>5</sub>, metales pesados entre otros, por lo que el tratamiento a ser utilizado debe ser el adecuado para su descontaminación.

También debe considerarse las características del medio receptor de los efluentes tratados, así como los límites legales de vertido. Muchos tratamientos generan a su vez otras fracciones residuales y concentrados que deben a ser gestionados. Pero además de los factores técnicos y legales hay que valorar los aspectos económicos, inversión y costes de explotación.

Los técnicos de los depósitos controlados deben seleccionar e implantar las mejores tecnologías disponibles adaptándolas a cada tipo de instalación. En el momento que se requiere la instalación de una planta de tratamiento de lixiviado se debe realizar un estudio de viabilidad tecnológica y seleccionar la mejor tecnología disponible. Dada la complejidad química de los lixiviados, normalmente su tratamiento adecuado implica una combinación de distintas tecnologías.

En la siguiente figura se presenta las tecnologías disponibles para el tratamiento de los lixiviados:



**Figura 8. Tecnologías para tratamiento de lixiviados**

Debido a la complejidad de la matriz del lixiviado es muy difícil que un solo tipo de tratamiento consiga un efluente apto para ser vertido al medio natural, por lo que en muchas ocasiones los tratamientos completos consisten en la suma de diferentes procesos en serie, lo que confiere una complejidad importante al tratamiento.

**1.4.1 Evaporación** [22]. La utilización de la evaporación como sistema de tratamiento de lixiviados es una aplicación nueva. En ella se utiliza la energía que se tiene en el biogás del relleno sanitario en evaporar el lixiviado por calentamiento.

Existen varios tipos de tecnologías ya desarrolladas para lograr el objetivo. Las tecnologías existentes permiten lograr el control del total de emisiones de lixiviados del relleno sanitario, quedando un lodo que se dispone nuevamente en el relleno.

La experiencia y los cálculos de producciones de gas y lixiviados en los rellenos sanitarios indican que se tiene gas en exceso para suplir las necesidades energéticas de evaporación del lixiviado.

Dependiendo del tipo de lixiviado en algunos casos existe la necesidad de hacer un post-quemado de la mezcla gas-vapor de agua que sale del evaporador para lograr la destrucción de emisiones de COVs que se arrastran durante el proceso de evaporación, de tal manera que la cantidad requerida de biogás se aumenta con respecto a los cálculos termodinámicos normales. Sin embargo, una vez quemados los COVs las emisiones del proceso se limitan a vapor de agua y a un lodo espesado.

**1.4.2 Procesos Anaerobio** [2]. Las tecnologías clásicas para la remoción de materia orgánica, que como en el caso de los lixiviados es predominantemente materia orgánica disuelta, son los procesos biológicos de tratamiento. Para el caso de un lixiviado joven, en especial lixiviados de rellenos con altos contenidos de materia orgánica parecieran idealmente apropiados para la aplicación de los procesos anaerobios de tratamiento. De hecho existen numerosos reportes de trabajo de todo tipo de tecnologías anaerobias, desde las más simples lagunas anaerobias, hasta complicados sistemas de lecho fluidizado, pasando por filtros anaerobios y reactores UASB.

Las principales ventajas que tienen los procesos anaerobios en este contexto son la mayor simplicidad en el sistema de tratamiento y la menor producción de lodos. Sin embargo, existen varias precauciones que hay que tener en cuenta al aplicar este tipo de procesos.

Los altos contenidos de amoníaco y de minerales disueltos pueden generar problemas de toxicidad para los microorganismos. Esto implicaría una remoción previa del amoníaco en caso de que este fuera el problema, o la aplicación de cargas de trabajo reducidas debido a las limitaciones en la actividad microbiana por motivo de la toxicidad. Por otra parte los investigadores que han trabajado con los sistemas de tratamiento anaerobio para lixiviados en rellenos sanitarios coinciden en indicar una acumulación muy significativa de material inorgánico precipitado dentro del reactor y en los lodos mismos del sistema anaerobio.

La acumulación de material precipitado dentro del reactor termina por formar incrustaciones que limitan el volumen activo del reactor, limitan la actividad de los lodos, y taponan los sistemas de conducciones de los reactores acabando finalmente en un colapso del sistema de tratamiento, o alternativamente, en costos y complicaciones muy grandes en la operación y mantenimiento de las plantas.

**1.4.3 Procesos Aerobios** [24]. Los procesos aerobios al igual que los anaerobios han sido ampliamente estudiados para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Existe experiencia con una gran variedad de tipos de sistemas, desde las tradicionales lagunas aireadas, hasta sofisticados sistemas que acoplan reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas.

Se utilizan cuando se requiere obtener una baja concentración de DBO en los efluentes. Vale la pena aclarar que como usualmente las concentraciones de DBO en los lixiviados son muy altas es relativamente fácil tener remociones porcentuales superiores al 90% en este parámetro.

Sin embargo la DBO remanente puede ser todavía alta. Los costos de inversión y de operación y mantenimiento son significativamente superiores a los de los procesos anaerobios cuando los lixiviados son concentrados, como es el caso de un lixiviado joven, por lo que se logran mejores relaciones beneficio / costo cuando se utilizan para tratar lixiviados con concentraciones medias o bajas de DBO. Por esta razón, y dependiendo de las exigencias del vertimiento, se usan preferencialmente como postratamiento a los sistemas anaerobios, o para lixiviados viejos con bajos niveles de DBO.

En los reportes operativos se mencionan problemas con la generación de espumas, con la precipitación de hierro, y en el caso de los lodos activados, problemas para aceptar altas variaciones en las cargas hidráulicas y orgánicas que caracterizan a los lixiviados.

**1.4.4 Sistemas naturales** [25]. Los sistemas naturales, lagunas y humedales artificiales, también se han propuesto como alternativas para el tratamiento de lixiviados. Tienen la ventaja de la simplicidad en su operación, y la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento, desde un pretratamiento, hasta un tratamiento terciario en caso de necesitarse.

La combinación de las lagunas y los humedales puede manejar adecuadamente muchos de los problemas que en otras tecnologías aparecen como son la acumulación de precipitados, la formación de espumas, la toxicidad a los microorganismos, y las variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas. Esto se logra al tener tiempos de retención hidráulica muy altos y volúmenes de procesos igualmente grandes, que permiten acomodar variaciones en caudal, acumulaciones de precipitados, junto con una baja producción de gases y por lo tanto de espumas.

**1.4.5 Recirculación de los lixiviados** [26]. La recirculación de los lixiviados se ha propuesto desde hace varios años como una alternativa para su tratamiento. Más recientemente se conoce su uso como la tecnología del relleno bioreactor.

Se pretende utilizar el relleno sanitario como un gran reactor anaerobio de tal manera que dentro del mismo relleno se logre la conversión a metano de los ácidos grasos que están presentes en el lixiviado. Al recircular los lixiviados se logra un aumento en la humedad de los residuos dispuestos, que a su vez genera un aumento de la tasa de producción de gas metano en el relleno.

Una vez los ácidos grasos han sido metanizados, el pH del lixiviado aumenta, y al aumentar el pH la solubilidad de los metales disminuye de tal forma que se logra una disminución de los metales en solución que son transportados por el lixiviado. De esta manera se logra una reducción significativa tanto de la DBO como de los metales que finalmente arrastra el lixiviado.

Adicionalmente, por el aumento de la humedad y la tasa de generación de gas, la recirculación de los lixiviados en el relleno sanitario puede generar aumentos significativos de las presiones de internas de los fluidos, gases y líquidos, que comprometan la estabilidad estructural de los taludes. Es necesario mirar con cuidado los aspectos de seguridad geotécnica en los rellenos sanitarios cuando se considere el uso de la recirculación de los lixiviados como un método de pretratamiento.

**1.4.6 Sistemas de membranas** [27]. Se encuentra en la literatura aplicaciones de la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración, la ósmosis inversa, la ósmosis directa e inclusive la preevaporación al tratamiento de los lixiviados, bien sea de manera directa, o acoplada a otro tipo de proceso de tratamiento. Por ejemplo, se observa que tanto la microfiltración como la ultrafiltración se han acoplado a procesos biológicos de tratamiento aerobio, en reemplazo de los sedimentadores, tanto para la remoción de DBO, como para la nitrificación del amoníaco.

Igualmente se encuentran reportes de la aplicación en serie de procesos de ósmosis inversa con procesos de precipitación-cristalización y nanofiltración para la remoción de sustancias precipitables de lixiviados con alto contenido de sólidos disueltos inorgánicos.

De la misma manera se tienen reportes de la aplicación directa de la ósmosis inversa, y la ósmosis directa en el tratamiento de lixiviados.

**1.4.7 Bioreactores con membrana, MBR** [28]. Los bioreactores con membrana se utilizan de la misma manera como se utilizan los sistemas biológicos de tratamiento, siendo la principal diferencia la sustitución del sedimentador como sistema de separación sólido-líquido por un sistema de micro o ultrafiltración.

**1.4.8 Ósmosis Inversa** [29]. En general se reportan unos excelentes rendimientos de la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Igualmente se observa que las aplicaciones han sido para lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, menores a 1000 mg/l, es decir, lixiviados viejos, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo.

Se han reportado problemas de colmatación asociados a la precipitación del calcio y el hierro en las membranas, obligando a la incorporación de sistemas de pretratamiento que minimicen estos efectos.

**1.4.9 Tratamiento Físico-Químico.** Una de las ventajas que presentan los tratamientos físico-químicos se puede resumir en el que requieren de corto tiempo para su puesta en marcha, simplicidad de equipamiento y material, fácil automatización y poca sensibilidad a los cambios de temperatura. Costos de operación elevados por la utilización de productos químicos y posible toxicidad derivada del propio uso de compuestos químicos.



Este tratamiento se puede aplicar dependiendo del tipo de lixiviado que se tenga y de la edad del vertedero.

**Tabla 4. Caracterización de los diferentes tipos de Lixiviados**

Parámetro	Tipo de lixiviado		
	Joven	Intermedio	Estable
Edad del vertedero (años)	< 1	1 – 5	> 5
pH	< 6,5	6,5 – 7,5	> 7,5
DBO <sub>5</sub> /DQO	0,6 – 1	0,3 – 0,6	0 – 0,3
DQO (g/L)	> 15	5 – 15	< 5
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	< 400	<i>nd</i>	> 400
Metales pesados (mg/L)	> 2	< 2	< 2

**Fuente:** MARTÍNEZ Oscar, Mejoras en el Tratamiento de lixiviados de vertederos de RSU mediante procesos de oxidación Avanzada. Tesis Doctoral. Doctor. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Química. Cantabria 2008. Capítulo 4. Tabla 4.1. p.136.

**1.4.9.1 Tratamiento Primario.** Consiste en una oxidación de la materia orgánica presente en el lixiviado usando aire u ozono.

- **Aireación.** Es uno de los tratamientos físico- químicos más utilizados en el tratamiento de lixiviados debido a la alta concentración de Nitrógeno Amoniacal que presentan los mismos. Consiste en burbujear aire a través de los lixiviados, de tal forma que se reduce la concentración de NH<sub>3</sub>, que pasa desde la fase líquida (el lixiviado) a la fase gas (el aire). Para poder realizar este tratamiento es necesario elevar el pH hasta 11, lo que se consigue normalmente con adición de cal.
- **Ozonización.** La desinfección por ozono merece atención especial, ya que es un método que se está difundiendo por sus grandes ventajas sobre otras opciones posibles. El ozono es un gas que se produce en gran escala por la acción del paso de oxígeno o de una corriente de aire a través de dos electrodos sometidos a una gran diferencia de potencial. Esta diferencia de potencial origina la ionización de algunas moléculas de oxígeno que se combinan con moléculas de oxígeno no ionizadas para formar el ozono.

Esta molécula de ozono es sumamente reactiva, y tiene un potencial de oxidación mayor que el cloro y sus derivados (ácido hipocloroso e ión hipoclorito), lo cual le confiere una gran actividad química.

El ozono, en forma similar a como ocurre con el cloro, destruye o inactiva las enzimas de los microorganismos y esa es la razón de su capacidad bactericida. También reacciona con sustancias de carácter orgánico e inorgánico presentes en el agua, con lo cual mejora la calidad del agua tratada, ya que los productos oxidados producidos, generalmente no son objetables o al menos son menos indeseables que las sustancias originales contenidas en el agua.

Las desventajas del uso del ozono son principalmente que éste no tiene efecto residual, y su gran inestabilidad, que hacen necesario el producirlo en el mismo sitio de uso.

Para esto se cuenta con equipos que producen ozono en cantidades desde g/hora hasta kg/hora.

El sistema de producción de ozono más elemental, consiste de una lámpara ultravioleta de alta intensidad que provoca la disociación de algunas de las moléculas de oxígeno que contiene el aire y los átomos de oxígeno producidos se combinan con las moléculas de oxígeno no disociado produciendo moléculas de ozono, como lo indican las reacciones de abajo.



Estas moléculas de ozono son sumamente reactivas y se combinan fácilmente con material orgánico y celular, destruyendo de ésta manera las enzimas y coenzimas necesarias para la vida y supervivencia de los microorganismos presentes en el medio.

Otra forma más eficiente de producir ozono es a través de un generador de efecto corona, que consiste en someter un flujo de aire a el paso de una corriente de alto voltaje, lo cual genera también, de forma análoga a como ocurre en la atmósfera cargada de electricidad, ozono en grandes cantidades.

En este tipo de generadores se produce ozono y son los empleados para procesos donde se requiere de grandes volúmenes de ozono para la desinfección. También si en lugar de aire se alimenta oxígeno puro, la eficiencia en producción de ozono es mayor, y es lo convencional cuando la demanda de ozono es muy alta.

Como desinfectante el ozono es más eficiente que el cloro y solo es necesario tener un ozono residual de 0.4 ppm para que se asegure la total desinfección del agua.

La principal desventaja del ozono es su alto costo de inversión y servicio, así como lo complejo del equipo y de su operación.



**Figura 9. Equipo industrial para producción de ozono y difusores de burbuja fina para inyección del aire rico en ozono.**

**1.4.9.2 Tratamiento Secundario.** El tratamiento secundario es un proceso físico- químico que implica la remoción de una amplia variedad de compuestos contaminantes, regularizando las variaciones de caudal y concentración de compuestos en los efluentes.

Las principales operaciones del tratamiento primario de un efluente son la neutralización y la clarificación, que comprende, floculación y sedimentación.

“La flotación permite separar las partículas sólidas o líquidas, mediante la inyección de aire, el cual se adhiere a estas formando conjuntos, de tal manera que disminuye su densidad, haciéndolas ascender a la superficie, donde pueden fácilmente separarse.

La importancia de la aplicación del tratamiento secundario se debe a que puede llegar a eliminar del 80% al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la demanda bioquímica de oxígeno y del 30 al 40% de la demanda química de oxígeno” [30].

**1.4.9.2.1 Coagulación- Floculación.** Es un proceso físico-químico, de desestabilización de las partículas coloidales (menos de una micra) mediante la aplicación de una sustancia química llamada coagulante, que por adsorción, anulan las fuerzas repulsivas, dando como resultado la formación de coloides, los cuales pueden aglomerarse y sedimentar, mediante la acción de una sustancia floculante.

La aglomeración de coloides producidos por la desestabilización, se realiza por la acción de varias fuerzas de atracción existentes entre partículas que están en contacto, por movimiento browniano hasta alcanzar un tamaño de aproximadamente 1 micra, para posteriormente, mediante agitación externa, aumentar el tamaño de los flóculos, de tal manera que puedan sedimentar.

Por lo tanto se emplea para la eliminación de sustancias coloidales presentes en el agua y consta de cuatro etapas: Mezclado, coagulación, floculación y decantación.

“El mezclado tiene varios propósitos, ya que suele ser muy rápida para distribuir el coagulante en el agua a tratar, y desestabilizar los coloides presentes. Generalmente la velocidad de agitación para alcanzar los propósitos mencionados anteriormente es de 80 a 100 RPM, durante 1 a 3 minutos.

Luego el mezclado debe ser lento, es decir, de 20 a 30 RPM; ya que una vez añadido el floculante, luego de 20 a 30 minutos, se tiene la formación de flóculos, los que finalmente, sedimentarán por lo que la velocidad de agitación será nula. El asentamiento de flóculos se alcanza de 5 a 10 minutos. Sin embargo, la velocidad de agitación y el tiempo, necesarios para alcanzar los diversos propósitos mencionados, se determinan por métodos experimentales de laboratorio, ya que estas variables dependen de la naturaleza de las aguas a tratar, del coagulante

y floculante a emplear, del pH, del proceso del cual se generan estas agua, la cantidad y concentración de los contaminantes presentes” [31].

**1.4.9.2.2 Coagulación.** Las partículas coloidales y las cargas negativas presentes en el agua, repartidas en su superficie, proporcionan estabilidad a las suspensiones coloidales. La coagulación, es el fenómeno de desestabilización de partículas coloidales, por la adición de una sustancia llamada coagulante, el cual neutraliza las cargas eléctricas de estas partículas, dando lugar a la formación de coágulos de mayor densidad, capaces de sedimentar. La acción coagulante es función de la valencia del ion que posee una carga opuesta a la de las partículas coloidales, es decir que, la coagulación será mejor mientras mayor sea la valencia.

Por esta razón, generalmente se emplean las sales de metales, específicamente las sales de aluminio y hierro trivalentes en el tratamiento de aguas.

Por razones económicas se emplean con gran frecuencia el sulfato de aluminio y el cloruro férrico; pero también se pueden emplear como coagulantes a orgánicos sintéticos (poliamidas) y naturales (taninos), o polielectrolitos catiónicos.

La dosificación de los diversos coagulantes, puede variar según la calidad del agua bruta en la clarificación, la calidad del agua residual y los parámetros de calidad que debe cumplir.

La concentración necesaria de coagulante se determina mediante la prueba de jarras. Este equipo está compuesto por un set de agitadores mecánicos controlados por un aparato que regula su velocidad, una lámpara de iluminación y 4 vasos de precipitación de un litro respectivamente, como se puede ver en la siguiente figura:



**Figura 10. Equipo de prueba de Jarras**

Los factores que afectan la coagulación son:

- **Naturaleza del coloide.** Ya que coloides hidrofílicos, es decir, aquellos afines al agua, reaccionan con el coagulante usado en el proceso de tratamiento.
- **pH.** La clarificación es deficiente cuando no se encuentra dentro del rango de pH establecido para cada coagulante, ya que puede solubilizar iones metálicos del coagulante empleado.

Generalmente el pH para la coagulación es de 6 a 7, pero, cada coagulante presenta un rango en el cual su acción coagulante es óptima y que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

Si el pH del agua no es el adecuado, se puede modificar con el uso de coadyuvantes o ayudantes de los coagulantes como óxido de calcio, hidróxido de calcio, carbonato de sodio, hidróxido de sodio y ácidos minerales.

- **Composición química del agua.** Como se mencionó anteriormente, depende de la cantidad y concentración de contaminantes presentes en el agua a tratar.
- **Gradiente de velocidad o grado de agitación del agua.** “En la coagulación, debe ser rápida para distribuir el coagulante y desestabilizar coloides, pero todo depende de la naturaleza del agua a tratar. Se la puede determinar mediante la prueba de jarras, aplicando mismas dosis de coagulantes y variando la agitación en un intervalo de tiempo determinado. El gradiente de velocidad recomendado por Degrémont es de 100 a 1000 s<sup>-1</sup>” [32].
- **Tipo de coagulante.** En el campo industrial, sulfato de aluminio, cloruro férrico, entre otros, son los coagulantes más empleados no solo por su facilidad en el manejo, sino también por su bajo costo.

Sin embargo, estos coagulantes presentan ciertos inconvenientes, ya que, debido a la hidrólisis que experimentan, pueden modificar las características físico-químicas como el pH y conductividad del líquido a tratar, ya que acidifican el medio, además que, un exceso en su dosificación, produce mayor cantidad de fangos y el precipitado puede no tener las características deseadas. Por estas razones, se ha recomendado el uso de poliaminas, taninos o inorgánicos y orgánicos en mezcla. Un muy usado en la actualidad es el **Polímero de**

**Aluminio**, Policloruros básicos de Aluminio (PCBA) se obtienen polímeros  $Al_6(OH)^{6+}_{12}$  a  $Al_{54}(OH)^{8+}_{144}$ . Y su dosificación se determina mediante pruebas de Laboratorio.

**1.4.9.2.3 Floculación.** Es la agrupación de partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras, dando lugar a la formación de flóculos capaces de ser retenidos en la fase posterior del tratamiento del agua.

Es decir, que es la etapa en donde los coágulos formados en la coagulación se juntan formando aglomerados (flóculos); de tal manera que se puedan sedimentar.

El flóculo formado por la aglomeración de varios coloides, no sedimenta fácilmente, ya que no tiene el peso y volumen suficiente para hacerlo. Por lo tanto se aplican sustancias floculantes, es decir, sustancias que aumentan la densidad de los flóculos haciendo más fácil el proceso de sedimentación.

Los factores que afectan a la floculación son:

- Generalmente los floculantes son polímeros de cadena larga (acrilamida), naturales o sintéticos, con grupos cargados como los que se muestran a continuación:
- ✓ **Polímeros aniónicos.** Se caracterizan por la presencia de grupos que permiten la adsorción (acrilamida) y grupos ionizados negativamente generalmente son carboxilatos o sulfúricos; los cuales provocan la extensión del polímero, de tal manera que el flóculo gana volumen y peso suficiente para su separación. Dentro de los más comunes se encuentran las poliacrilamidas parcialmente ionizada por sosa.
- ✓ **Polímeros catiónicos.** Son moléculas cargadas positivamente, por lo que neutralizan las cargas negativas del coloide, anulando así, las fuerzas electrostáticas de repulsión entre partículas, ya que aumenta el número de macromoléculas, generando así, más probabilidad de encuentro con los coloides.
- ✓ **Polímeros no iónicos.** Son poliacrilamidas o óxidos de polietileno de masa molecular comprendida entre uno y treinta millones.

- **Tiempo de floculación.** Generalmente el tiempo óptimo para la floculación se encuentra entre 20 y 40 minutos; sin embargo es necesario determinar el tiempo de floculación óptimo mediante ensayos de prueba de jarras.
- **Intensidad de agitación.** Para la formación de flóculos se recomienda velocidades de agitación lentas para no romper los flóculos formados. Por lo general, se recomienda de 20 a 30 revoluciones por minuto.

**1.4.9.3 Tratamiento Terciario.** Este es un paso de afinación de parámetros, con el fin de cumplir con los respectivos parámetros para la descarga.

**1.4.9.3.1 Desinfección por cloro y derivados.** El cloro y sus derivados son por mucho los agentes desinfectantes que más se emplean en el mundo. Es posible emplear compuestos tales como: el cloro gas, el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio o compuestos organoclorados como el ácido tricloroisocianurico (cloro 90).

Eventualmente todos ellos producen el ácido hipocloroso HClO y el ión hipoclorito ClO<sup>-</sup> que son los agentes activos, y su efectividad depende de la cantidad de estos componentes que el compuesto clorado proporcione al estar en solución acuosa.

En el caso de una sal de hipoclorito, como es el caso del hipoclorito de sodio, la reacción es la siguiente:



Con el hipoclorito de calcio ocurre la siguiente reacción:



En ambos casos, el ácido hipocloroso HClO formado por la hidrólisis del hipoclorito de sodio o por el hipoclorito de calcio, se disocia a iones hidrogeno e ion hipoclorito.

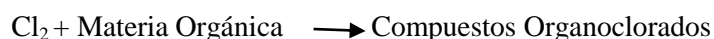


Por su alto poder oxidante, el cloro empleado en la desinfección causa daños irreversibles al entrar en contacto con las células microbianas, lo cual modifica y destruye la pared celular y el ADN de los microorganismos impidiendo su reproducción.

- **Reacciones del cloro con componentes del agua.** El cloro cuando genera hipoclorito y ácido hipocloroso no solo reacciona con las células microbianas. Es un agente químico sumamente activo y reacciona con el material orgánico y con otras especies químicas que se encuentran presentes en el agua a desinfectar.

Si hay iones metálicos como Hierro Fe(II) y Manganeso (II), es capaz de modificarlos a estados superiores de oxidación como Fe(III) y Mn(VII).

También destruye materia orgánica formando compuestos organoclorados:



Con el ácido sulfhídrico produce azufre elemental

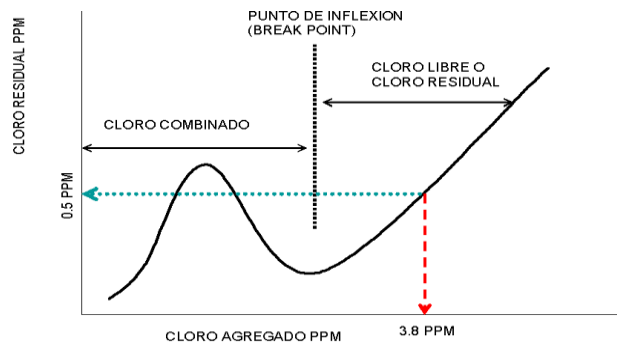


Algunas de estas reacciones son deseables, ya que de esta manera es posible eliminar el ácido sulfhídrico de intenso olor y sabor desagradable, que se encuentra disuelto en algunas aguas naturales.

También la oxidación y precipitación de hierro y manganeso es empleada cuando los niveles de estos elementos causan problemas en la calidad del agua.

La formación de organoclorados cuando hay presente materia orgánica en el agua, es uno de los principales argumentos para los que no están de acuerdo en que la cloración es la mejor forma de desinfectar el agua.

- **Cloración a punto de corte o punto de inflexión.** Si se dosifican cantidades variables de cloro al agua, típicamente se obtiene una grafica como la mostrada en la figura siguiente.



**Figura 11. Consumo de cloro por reacciones secundarias. Después del punto de inflexión la concentración de cloro detectada es el cloro libre o residual.**

En esta Figura 11. “Se observa que a medida que se agrega cloro la concentración aumenta, pero posteriormente la cantidad de cloro residual o cloro disponible disminuye a medida que la dosificación se incrementa.

Se alcanza después de una dosis determinada un punto de corte o punto de inflexión, después del cual si se sigue agregando cloro la cantidad de cloro residual nuevamente se incrementa y ya después de este punto de inflexión es posible tener una concentración de cloro residual, proporcional a la cantidad agregada.

La explicación a esta conducta observada en las aguas que se desinfectan con cloro, es que inicialmente el cloro reacciona con la materia orgánica, los metales que se oxidan, el amoníaco presente, o reacciones similares a las que se han ejemplificado.

Cuando todo el material y componentes han reaccionado, el cloro agregado ya no forma otros compuestos y es posible alcanzar el cloro residual deseado, determinando de esta manera la dosis de cloro que requiere esa muestra de agua en particular,

En nuestro ejemplo la dosis requerida es de 3.8 ppm. El cloro libre o residual es de 0.5 ppm y el cloro combinado es de  $3.8 - 0.5 = 3.2$  ppm

La primera dosis de cloro agregado (3.2 ppm) reacciona con componentes del agua y se le llama cloro combinado. La concentración de cloro después del punto de inflexión es el cloro libre o cloro residual” [33].

- **Factores que afectan la eficiencia de un desinfectante químico.** La eficiencia de los desinfectantes químicos está en función de parámetros tales como:

✓ **Tiempo de contacto.** Ha sido observado que mientras mayor sea el tiempo de contacto mayor es la efectividad del desinfectante.

La dosis de cloro es letal para la mayoría de los microorganismos cuando el tiempo de contacto es de minutos y aún de segundos.

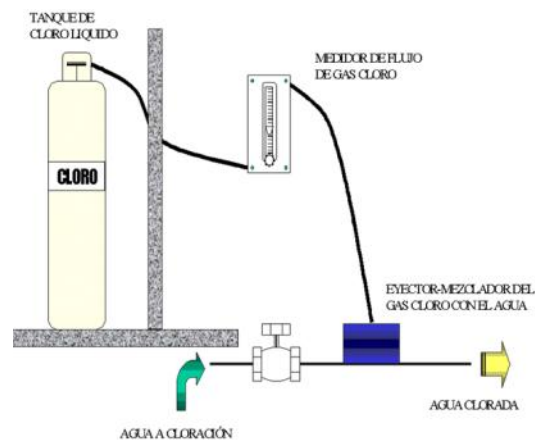
Los microorganismos que forman esporas y quistes son muy resistentes al cloro y requieren de mayor tiempo de contacto y/o mayores dosis de cloro a una temperatura determinada a un pH específico.

- ✓ **Concentración y tipo de bactericida.** A mayor concentración mayor es el poder bactericida, aunque se llega a un límite en el cual el efecto bactericida permanece constante aún cuando se incrementa la concentración del bactericida.
- ✓ **Temperatura.** La temperatura también es factor de importancia en la efectividad germicida; a mayor temperatura mayor efectividad de la sustancia bactericida.
- ✓ **Numero de microorganismos.** Otro factor a considerar en el proceso de desinfección, es la población de microorganismos. Mientras mayor sea el número de microorganismos a destruir mayor es el tiempo de contacto requerido y/o la concentración del bactericida empleado.
- ✓ **Tipo de microorganismos.** Algunas bacterias mueren fácilmente en contacto con el agente bactericida; otros son altamente resistentes y requieren de una acción más intensa.
- ✓ **Naturaleza del líquido suspendido.** El medio en que se encuentran los microorganismos es factor importante para la efectividad bactericida. En aguas turbias, en presencia de partículas coloidales, la efectividad bactericida disminuye. Esto se debe a que el microorganismo puede cubrirse al encapsularse entre las partículas de material suspendido, evitando así el contacto directo con el agente bactericida, sobreviviendo a su acción.

En la desinfección por cloro se emplean los siguientes agentes:

- **Cloro gaseoso  $Cl_2$ .** El cloro gas cuando entra en contacto con el agua se disocia y produce ácido hipocloroso y posteriormente ion hipoclorito.

La alta toxicidad del gas que causa daños aún a niveles de 0.1 ppm en el aire, hacen necesario el manejo de este producto solo con equipos especiales, con programas de salvamento y contingencias debidamente establecidos por personal capacitado.



**Figura 12. Desinfección por adición de cloro en forma de gas. El tanque de cloro está físicamente separado por el peligro en el manejo de este gas.**

- **Hipoclorito de sodio  $NaOCl$ .** Este se presenta en forma de un líquido que es altamente corrosivo. Se obtiene al burbujear gas cloro en una solución altamente concentrada en hidróxido de sodio, donde el cloro es muy soluble. La cantidad de cloro activo en una solución comercial de este tipo es de un 12 a un 15% en volumen.
- **Decloración del Agua.** El cloro es muy tóxico para algunas especies vivientes en las concentraciones empleadas para desinfección del agua y existen regulaciones ambientales que no permiten desechar aguas cloradas al medio ambiente (ríos, lagos y lagunas), ya que dañan algunas especies acuáticas principalmente los peces.

Una forma de remover el cloro es por estancamiento del agua antes de verterla al receptor. El sol, el viento y los componentes presentes en el agua causan la pérdida del cloro por evaporación y por otras reacciones secundarias.

## **1.5 Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos.**

**1.5.1 Residuos Sólidos** [34]. Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona (ó que tenga la obligación de desprenderse), rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas.

**1.5.2 Gestión de los residuos sólidos urbanos.** Se considera como gestión de los residuos sólidos urbanos al conjunto de operaciones que se realizan con ellos desde que se generan en los hogares y servicios hasta la última fase en su tratamiento [35]. Abarca pues tres etapas:

- Depósito y recogida.
- Transporte.
- Tratamiento.

**1.5.2.1 Recogida.** La recogida de los residuos urbanos consiste en su recolección para efectuar su traslado a las plantas de tratamiento.

Básicamente existen dos tipos fundamentales de recogida:

- Recogida no selectiva.
- Recogida selectiva.

En la primera, los residuos se depositan mezclados en los contenedores, sin ningún tipo de separación. Ha sido lo habitual hasta hace algunos años.

La recogida selectiva se hace separando los residuos según su clase y depositándolos en los contenedores correspondientes. Así, existen normalmente contenedores para el papel, vidrio, envases y la materia orgánica.

Este sistema requiere un elevado grado de concienciación y colaboración ciudadana para funcionar.

Los contenedores de envases en ocasiones se disponen del mismo modo pero en otras se ubican por comunidades de vecinos. Igual ocurre con los contenedores de materia orgánica con la salvedad de que en éstos sólo está autorizado el depósito de los residuos en determinado horario para evitar molestias y malos olores al vecindario y en el caso de las comunidades de vecinos han de permanecer en la vía pública por un periodo de tiempo limitado.

Por otra parte es usual la creación de servicios donde habitualmente se efectúa la recogida de los residuos peligrosos generados en los domicilios como pinturas, disolventes, pilas, radiografías, etc.

También se suelen recoger voluminosos (colchones, muebles, etc.) y residuos inertes como escombros fruto de pequeñas reparaciones domésticas.

La recogida en sí es un proceso complicado donde se deben conjugar las necesidades del servicio con la minimización de las molestias que se generan a los ciudadanos.

Por último existe una forma de recogida informal de los residuos que afortunadamente tiende a desaparecer en los países desarrollados.

Ésta consiste en un submundo marginal de personas necesitadas, que en condiciones muy penosas de precariedad, falta de higiene y medios materiales proceden a la recogida de ciertos residuos de los que obtienen alguna rentabilidad económica.

Esto genera múltiples inconvenientes derivados de la interferencia en los sistemas organizados de recogida. Además, la ausencia de cualquier atisbo de planificación implica graves problemas, además de las durísimas condiciones que estas personas han de soportar.

La mejora de las condiciones socioeconómicas, la atención de los servicios sociales y programas adecuados de integración, que no siempre existen, conseguirán acabar con esta lacra en un futuro.

**1.5.2.2 Transporte.** En esta etapa se realiza el transporte de los residuos hacia las estaciones de transferencia, plantas de clasificación, reciclado, valorización energética o vertedero.

Las estaciones de transferencia son instalaciones en las cuales se descargan y almacenan temporalmente los residuos para poder posteriormente transportarlos a otro lugar para su tratamiento. Una vez allí se compactan y almacenan y se procede a trasportarlos en vehículos de mayor capacidad a la planta de tratamiento.

Normalmente han de estar dotados de sistemas de compactado de la basura para optimizar su transporte. De esta forma se reducen los costes de transporte y se alarga la vida de los vehículos de recogida.

En otras ocasiones en que el centro de tratamiento está próximo a los núcleos habitados, los propios vehículos de recogida son los que realizan el transporte a planta.

Hay que tener en cuenta la problemática que se asocia con el traslado diario de camiones camino de la planta de tratamiento.

Este traslado tiene un claro impacto sobre las vías de circulación que deben estar adecuadamente acondicionadas y es fuente de molestias para los vecinos: ruidos, malos olores, contaminación, etc.

**1.5.2.3 Tratamiento.** Es la etapa final del proceso y la de mayor importancia. Si los residuos vienen ya separados desde el origen como es el caso del papel o el vidrio se dirigen directamente a la planta de reciclado. Si vienen juntos como es el caso de los envases hay que separar según su naturaleza.

Idéntico proceso se realiza con la bolsa de restos donde predomina la materia orgánica pero existen residuos de otra naturaleza debido a errores o a la fracción decreciente de personas que no separan correctamente sus residuos.

Una vez separados los residuos hay que realizar su tratamiento. A grandes rasgos puede consistir en una de estas opciones, que se aplicará según la naturaleza y estado de los residuos, etc. y del modelo de gestión implantado:

- Reciclado.
- Valorización energética.
- Vertido controlado.

**1.5.3 Manejo moderado de los residuos sólidos urbanos.** La sostenibilidad ambiental necesita que la cantidad y el ritmo de la emisión y vertido de residuos no superen la capacidad del aire, del agua y del suelo para absorberlos y regenerarlos.

La generación de residuos no puede superar la capacidad de asimilación que de forma natural tienen los ecosistemas.

Es imprescindible mantener en la naturaleza el máximo nivel de la capacidad de regeneración y de la capacidad de asimilación. Estas capacidades son una parte de los recursos naturales.

“Se reconoce los límites que la naturaleza impone a la actividad de los seres humanos sobre el Planeta.

Los municipios, y demás territorios, deben demostrar la transformación verde, ecologista y medioambiental que han logrado entre dos períodos electorales.

El tratamiento de los residuos debe realizarse en zonas lo más próximas posible al lugar donde se generan. La proximidad del tratamiento de los residuos invita a la reducción. Mantener la equidad y el equilibrio entre los territorios. No echar la basura en el terreno del vecino” [36].

**1.5.3.1 Reciclaje.** Se define como todo proceso industrial cuyo objeto sea la recuperación o transformación de los recursos contenidos en los residuos como bienes de consumo.

El aprovechamiento que se haga de estos recursos puede referirse tanto al potencial energético de los residuos o a la recuperación de alguno o varios de sus componentes.





**Figura 13. Secuencia lógica en el reciclaje**

La recuperación de subproductos se hace generalmente durante la recolección, separando el material reutilizable como cartón, vidrio, Hierro, papel, trapo, o bien directamente en los tiraderos de cielo abierto a través de la pepena.

Los procesos de aprovechamiento pueden hacerlos directamente el ayuntamiento y vender los productos a las empresas interesadas. Cabe mencionar que ésta puede ser una fuente adicional que genere ciertos ingresos para el municipio, fortaleciendo así su hacienda pública.

Es importante mencionar que toda iniciativa encaminada al reciclado o recuperación de ciertos productos permitirá el ahorro y un cambio de mentalidad de la ciudadanía, para que evite el despilfarro de muchos productos que encierran en sí un valor considerable.

En términos generales, las ventajas ambientales del reciclaje resultan indiscutibles; sin embargo, los proyectos de reciclaje deben considerar el aspecto de sostenibilidad económica para garantizar que sus beneficios sean permanentes. Antes de iniciar un proyecto de reciclaje es conveniente evaluar los siguientes aspectos:

- Volumen y tipo de residuo sólido que se desea reciclar
- Tecnología de reciclaje
- Costos de inversión inicial, operación y mantenimiento del sistema de reciclaje

- Uso y demanda de los productos reciclados
- Precio de los productos reciclados.

Los proyectos de reciclaje se deben desarrollar con pleno conocimiento de sus implicancias económicas. En muchos casos, estos esfuerzos han atravesado dificultades económicas que han desalentado y paralizado este tipo de iniciativas. Sin embargo, sus ventajas no sólo se deben evaluar desde un punto de vista netamente económico sino también ambiental, por los beneficios que se derivan del mejor aprovechamiento de los recursos.

En ciudades pequeñas y zonas rurales no existen muchas posibilidades de reciclar residuos sólidos inorgánicos. Aparte de consideraciones económicas, la escasa demanda por parte de la industria y el bajo contenido de materiales inorgánicos reciclables en los residuos sólidos constituyen dos factores que limitan el reciclaje en estas zonas.

De otro lado, el reciclaje de residuos sólidos orgánicos, como restos de cocina, maleza, estiércol, etc., en determinados poblados pequeños y zonas rurales merece ser considerado como una alternativa viable. Esta práctica reduce considerablemente el volumen de residuos que se debe recolectar y disponer. Además, posibilita la recuperación y aprovechamiento de la fracción putrescible que normalmente causa molestias ambientales y acarrea riesgos a la salud.

En los poblados pequeños y zonas rurales, el reciclaje y disposición final se puede realizar en el mismo predio o cerca de la vivienda porque es común encontrar espacio suficiente para ello. De esta manera, se evita gastos y esfuerzos innecesarios de transporte y disposición final. Existen las siguientes alternativas para el reciclaje de residuos orgánicos:

- Compost
- Crianza de cerdos
- Lombricultura.

El cuadro señala las ventajas y desventajas de cada uno de estos métodos de reciclaje.

**Tabla 5. Ventajas y desventajas de algunos métodos de reciclaje de residuos sólidos orgánicos.**

Descripción	Ventajas	Desventajas
Compost	Fácil implementación a diversas escalas Bajo costo de operación y mantenimiento	Baja demanda del compostado por desconocimiento de sus ventajas La calidad del compostado puede no ser aceptable Rechazo a la forma de desarrollar la compostificación
Crianza de cerdos	Provee una fuente de alimento para la población La crianza “tecnificada” de cerdos es una buena opción para adecuar las prácticas informales de crianza de cerdos	Requiere personal técnico capacitado Riesgo de salud pública Alta inversión inicial Exige monitoreo sanitario permanente Resistencia de la población a ingerir esta carne de cerdo
Lombricultura	El humus de lombriz es fácilmente aceptado por los agricultores La lombricultura tiene poco riesgo de generar impactos ambientales negativos	Dificultad para obtener las lombrices

**Fuente:** CEPIS. Recolección selectiva de Residuos urbanos de la Ciudad de Cascavel. Parama, Brasil, 2002. p.52.

Existen tres actividades principales en el proceso del reciclaje:

- ✓ **Recolección.** Se deben de juntar cantidades considerables de materiales reciclables, separar elementos contaminantes o no reciclables y clasificar los materiales de acuerdo a su tipo específico.
- ✓ **Manufactura.** Los materiales clasificados se utilizan como nuevos productos o como materias primas para algún proceso.
- ✓ **Consumo.** Los materiales de desperdicio deben ser consumidos. Los compradores deben demandar productos con el mayor porcentaje de materiales reciclados en ellos. Sin demanda, el proceso de reciclaje se detiene.

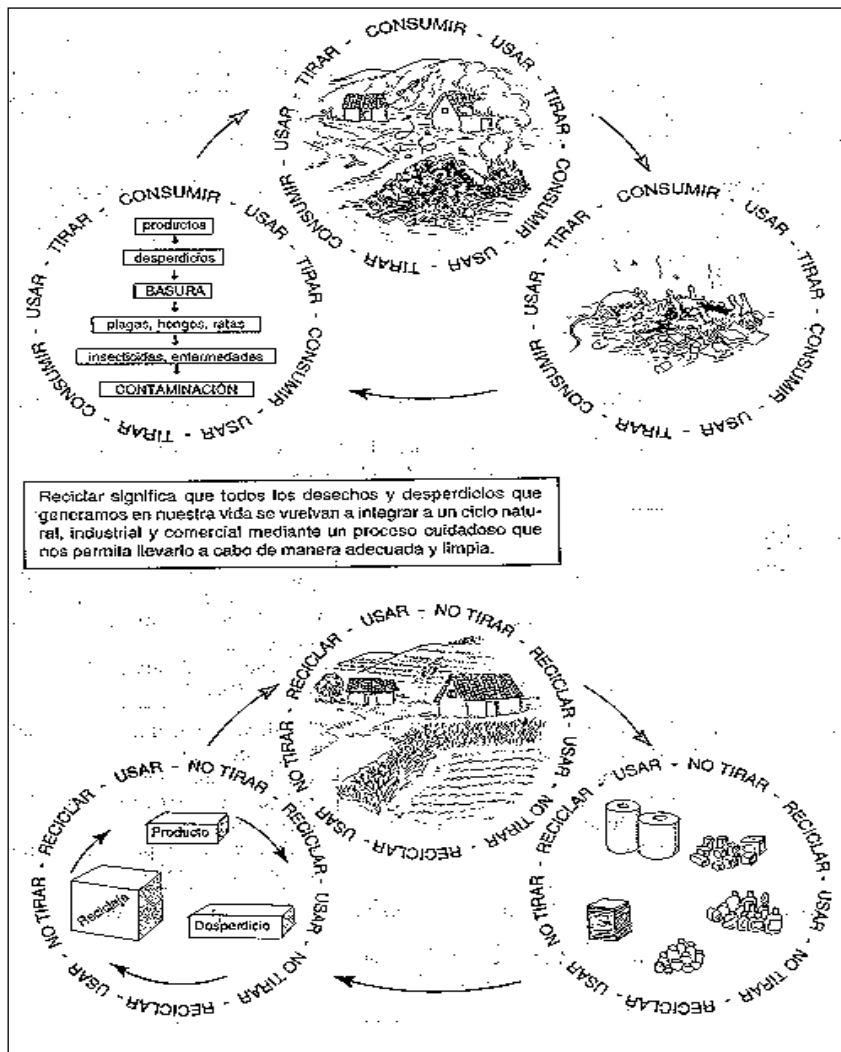
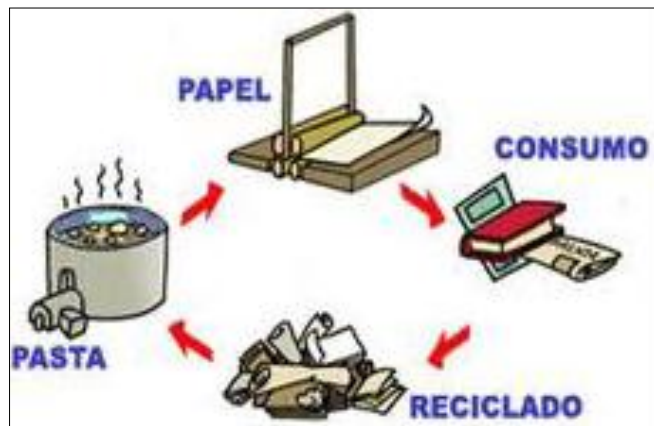


Figura 14. El reciclaje

### 1.5.3.1.1 Reciclaje de papel



**Figura 15. Reciclaje de papel**

El consumo de papel (núcleos administrativos, editoriales de prensa, revistas, libros, etc.) y de cartón (envases y embalajes de los productos manufacturados) ha crecido también exponencialmente por el incremento de la población y de la cultura en todo el mundo desarrollado.

Cada uno de nosotros tira al año a aproximadamente 120 kg. /año de papel

Beneficios ambientales del reciclaje de papel:

- ✓ Disminución de la necesidad de fibras vegetales y vírgenes
- ✓ Disminución del volumen de residuos municipales (el 25% de nuestros desperdicios está compuesto de papel y cartón).
- ✓ Disminución de la contaminación atmosférica y de la contaminación del agua.
- ✓ Disminución de las exportaciones de madera y de la importación de papel, representadas en miles de toneladas al año.

### 1.5.3.1.2 *Papel reciclable*



**Figura 16. Sello de papel reciclado**

El papel reciclable se elabora sin utilizar cloro en el proceso de blanqueo de la pasta. Puede obtenerse papel ecológico a partir de papel reciclado, garantizando la mínima utilización de productos químicos y la depuración de las aguas residuales.

Obtenido, mayoritariamente, a partir de papel usado o residual. Se considera que cumple las condiciones de papel reciclado para la impresión y escritura, el que contiene, como mínimo, un 90% en peso de fibras de recuperación.

El papel reciclable no se debe mezclar con papel sucio, pañuelos desechables, papel de aluminio, papel de fax, papel engomado, plastificado, encerado, etc.

“La separación de la tinta se lleva a cabo mediante la adición de un jabón biodegradable y la inyección de aire, para crear burbujas a las que se adhiere la tinta. La tinta se concentra y se transporta a un centro de tratamiento. El rendimiento del papel viejo es alto, un 90% aproximadamente, frente al 50% del rendimiento celulósico de la madera” [37].

### 1.5.3.1.3 Reciclaje de plásticos

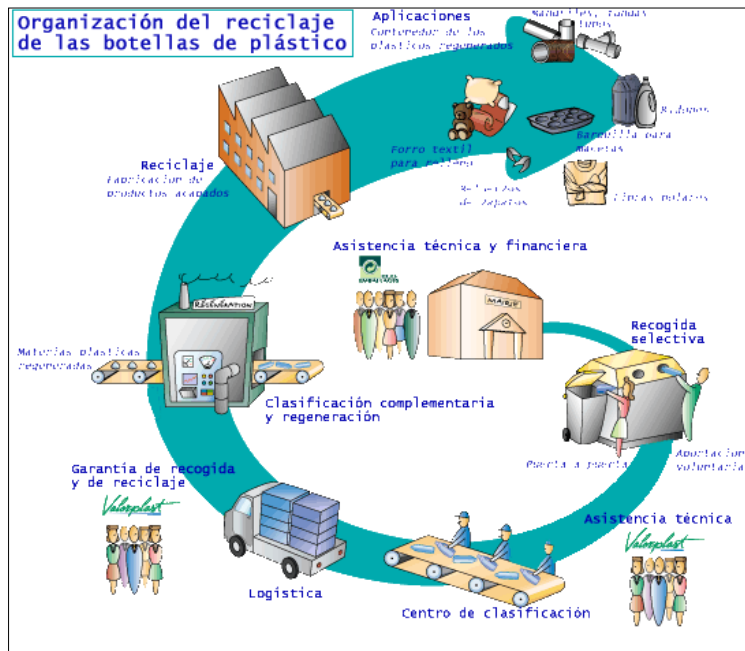


Figura 17. Proceso de reciclaje de plástico.

Tanto en los residuos totales como en los de procedencia urbana, las poliofelinas son el componente mayoritario. Le siguen de cerca en importancia el policloruro de vinilo y el poliestireno, en orden diferente según su origen el poliestireno reftalato.

### 1.5.3.1.4 Reciclaje de vidrio

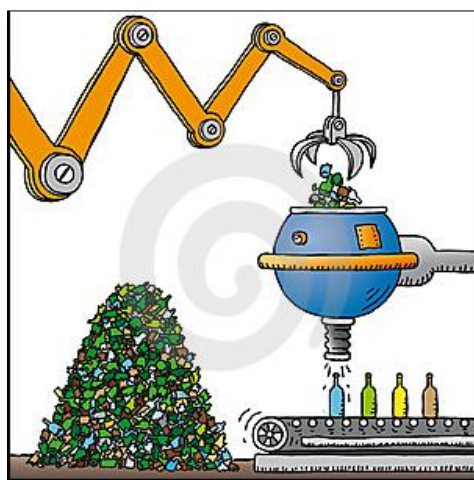


Figura 18. Reciclaje del vidrio

Los beneficios ambientales del reciclaje de vidrios se traducen en una disminución de los residuos municipales, disminución de la contaminación del medio ambiente, y un notable ahorro de los recursos naturales. Cada kilogramo de vidrio recogido sustituye 1.2 kg. De materia virgen.

- ✓ **Reutilizar.** “Existen envases de vidrio retornable que, después de un proceso adecuado de lavado, pueden ser utilizados nuevamente con el mismo fin. Una botella de vidrio puede ser reutilizada entre 40 y 60 veces, con un gasto energético del 5% respecto al reciclaje” [38]. Esta es la mejor opción.
  
- ✓ **Reciclar.** El vidrio es 100% reciclable y mantiene el 100% de sus cualidades: 1 kg. De vidrio usado produce 1 kg. De vidrio reciclado. El reciclaje consiste en fundir vidrio para hacer vidrio nuevo. La energía que ahorra el reciclaje de una botella mantendrá encendida una ampolleta de 100 W durante 4 horas.

En la fabricación del vidrio se utiliza:

- ✓ Sílice, que da resistencia al vidrio
- ✓ Carbonato de calcio, que le proporciona durabilidad
- ✓ En el reciclaje del vidrio se utiliza como materia prima la calcina o vidrio desecho. Su fusión se consigue a temperaturas mucho más reducidas que las de fusión de minerales, por tanto, se ahorra energía.

**1.5.3.1.5 Envases.** Diariamente, utilizamos una cantidad considerable de envases de los llamados ligeros

- ✓ Envases de plásticos (poliestireno blanco, de color, PET, PVC, otros)
- ✓ Latas de hierro y aluminio
- ✓ Brics

Los envases de plásticos se pueden reciclar para la fabricación de bolsas de plástico, mobiliario urbano, señalización, o bien para la obtención de nuevos envases de uso no alimentario.



### 1.5.3.1.6 Reciclaje de materia orgánica.



**Figura 19. Reciclaje de materia orgánica.**

La fracción orgánica puede ser reciclada mediante el compostaje. El compost es un abono y una excelente herramienta orgánica del suelo, útil en la agricultura, jardinería y obra pública.

Mejora las propiedades químicas y biológicas de los suelos. Hace más suelto y porosos los terrenos compactados y enmienda los arenosos. Hace que el suelo retenga más agua.

- **Compostaje.** El compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando bases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45%), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato. Es decir, el compostaje es:

Una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables. El calor generado durante el proceso (fase termófila) va a destruir las bacterias patógenas, huevos de parásitos y muchas semillas de malas hierbas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

Una técnica biológica de reciclaje de materia orgánica que al final de su evolución da humus, factor de estabilidad y fertilidad del suelo.

El resultado de una actividad biológica compleja, realizado en condiciones particulares; el compostaje no es, por tanto, un único proceso. Es, en realidad, la suma de una serie de

procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad integrada de un conjunto de microorganismos. Los cambios químicos y especies involucradas en el mismo varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar.

El producto obtenido al final de un proceso de compostaje, el compost, posee un importante contenido de materia orgánica y nutrientes, pudiendo ser aprovechado como abono orgánico o como sustrato.

*Propiedades del Compost* [39]. Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua. Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos. Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.

En figura 20 se observa un diagrama de flujo de una planta de compostaje manual [40] y en la figura 21 se observa un diagrama de flujo de una planta de compostaje semimecanizada [41].

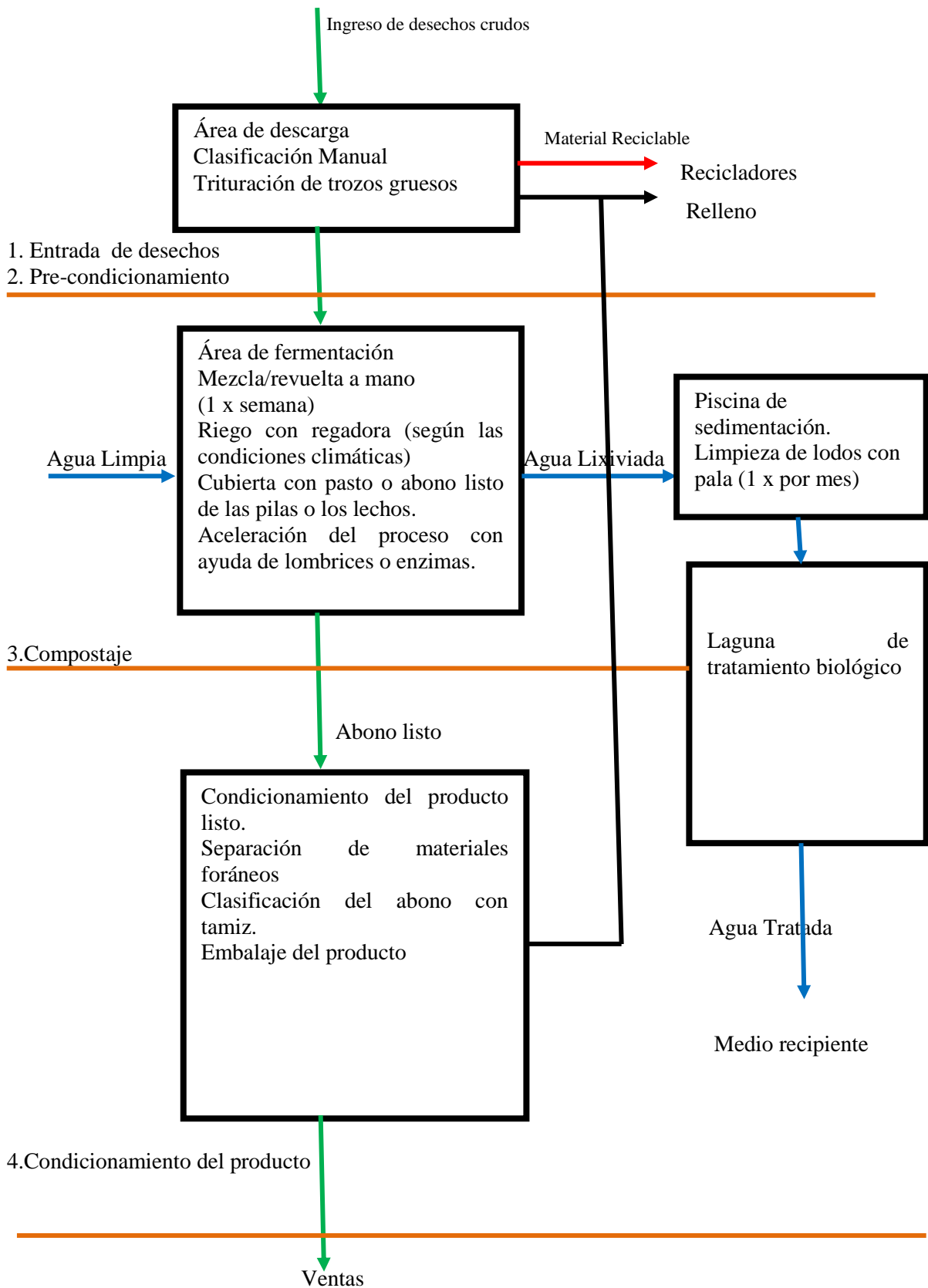


Figura 20. Diagrama de flujo de una planta de compostaje manual.

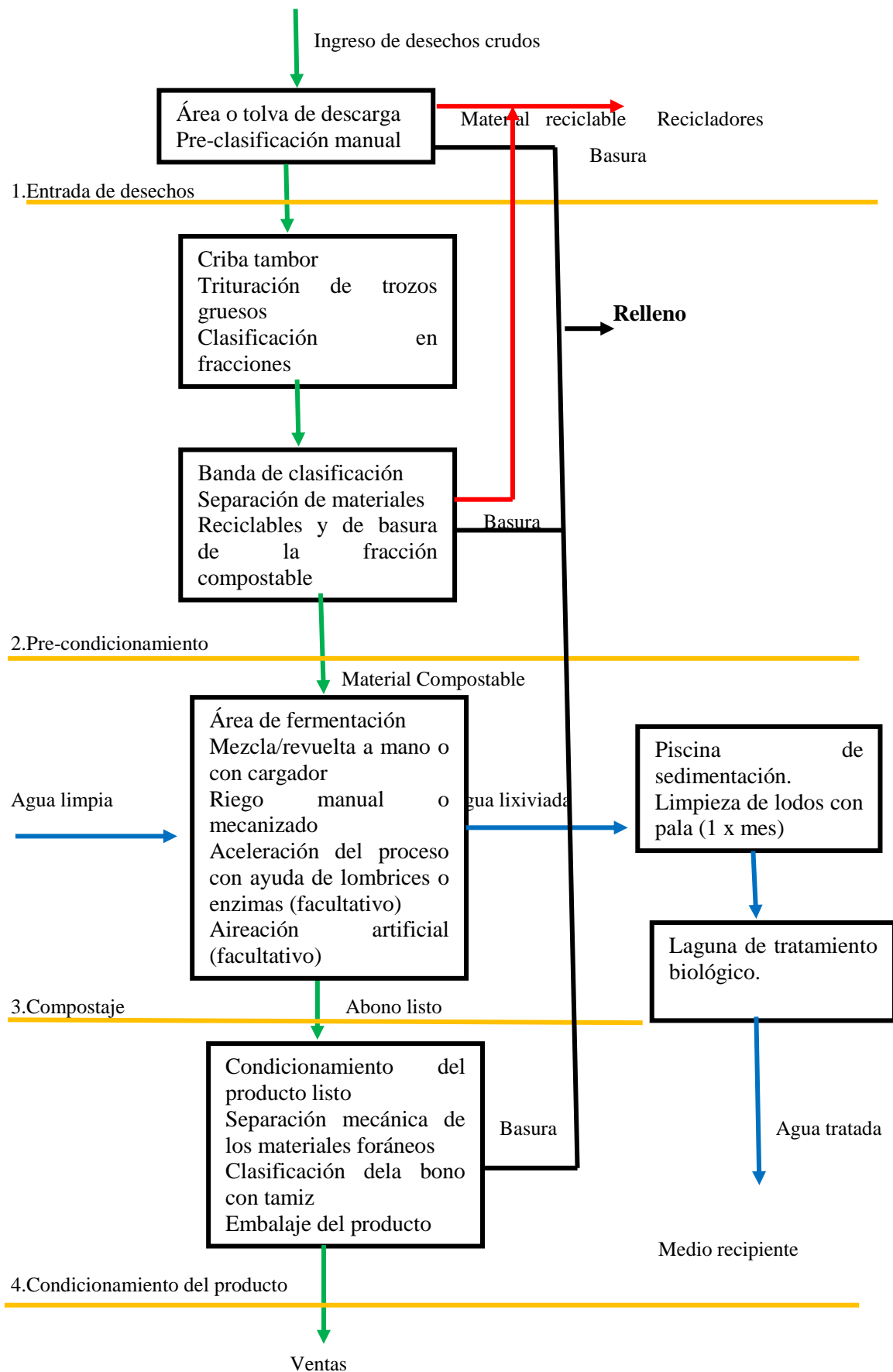


Figura 21. Diagrama de flujo de una planta de compostaje semimecanizada .

**1.5.3.2 Generación.** La producción de residuos sólidos se puede medir en valores unitarios como kilogramos de residuos sólidos por habitante y por día, kilogramos por tonelada de cosecha o kilogramos por número de animales y por día.

En relación a la producción de residuos sólidos domésticos en ciudades pequeñas y zonas rurales, se considera que cada habitante puede producir 0,1 a 0,4 kg/hab/día, incluso 0,8 Kg/hab/día. Se han registrado valores altos de producción per cápita en zonas rurales donde las familias criaban animales en la vivienda y las calles no estaban pavimentadas. En este último caso, los residuos domésticos contienen alta cantidad de estiércol y tierra.

A continuación se proporciona un estimado de la producción per cápita en distintas zonas rurales de algunos países [42].

Es necesario estimar las siguientes tres características de los residuos sólidos para diseñar o mejorar el sistema de limpieza pública:

- ✓ Producción per cápita
- ✓ Densidad
- ✓ Composición física de los residuos sólidos.

La Tabla 6. Muestra la utilidad práctica de conocer cada una de las mencionadas características de los residuos sólidos.

Al igual que otros servicios sanitarios básicos, como el suministro de agua potable y la eliminación de excretas, la limpieza pública es de interés colectivo y no sólo individual

**Tabla 6. Cuadro información básica de los residuos sólidos y su aplicación práctica**

<b>Parámetro</b>	<b>Aplicación</b>
Producción per cápita	Estimar la producción total de residuos domiciliarios en determinada zona
Densidad	Calcular el tipo, volumen y frecuencia de vaciado de recipientes y contenedores; conocer la capacidad de los vehículos de recolección; estimar detalles del relleno sanitario
Composición física	Conocer las posibilidades de reciclaje

Muchas veces, la información obtenida mediante estudios de campo en un lugar se puede usar en otro, pero antes es necesario comprobar algunas coincidencias entre ambos lugares, como:

- ✓ Hábitos de consumo
- ✓ Grado de consolidación urbana (densidad poblacional, pavimentación de las vías públicas, etc.)
- ✓ Actividades tradicionalmente no-domésticas en el hogar (crianza de animales, huertos familiares, etc.)
- ✓ Condiciones de clima, en particular el nivel de precipitación que puede influir en el contenido de humedad de los residuos sólidos.

Si los parámetros mencionados son similares en dos o más ciudades, es probable que la producción per cápita, densidad y composición física de los residuos sólidos sean parecidos. Por lo tanto, será posible extrapolar la información disponible de una ciudad para aplicarla en otra.

#### 1.5.3.2.1 *Estimación indirecta*

- **Producción per cápita.** Establecer la proporción entre la cantidad total de residuos que se recoge y la población atendida.

$$\text{ppc} = \frac{\text{Cantidad total de residuos sólidos que se recolecta (kg/día)}}{\text{Población atendida por el servicio de recolección (habitantes / día)}} \quad (4)$$

Calcular la proporción entre la cantidad total de residuos que se vierte al botadero o relleno sanitario y la población total atendida.

$$\text{ppc} = \frac{\text{Cantidad total de residuos dispuestos en el relleno sanitario (kg/día)}}{\text{Población total atendida por el servicio de recolección (habitantes/día)}} \quad (5)$$

- **Densidad.** Estimar la relación entre el peso y el volumen que ocupan los residuos en determinado contenedor. Se recomienda usar un cilindro de 200 litros aproximadamente, el cual una vez lleno y antes de medir el volumen que ocupan los residuos sólidos, se debe dejar caer tres veces desde una altura de 10cm.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso de los residuos sólidos (kg)}}{\text{Peso total de los residuos sólidos (kg)}} \quad (6)$$

- **Composición.** Estimar la cantidad de materia orgánica que se emplea en el reciclaje y el volumen total de residuo sólido (para conocer la proporción del contenido de materia orgánica respecto a la materia inorgánica). Si no se tiene esta información y se necesita conocer la composición física de los residuos sólidos para un fin específico, por ejemplo, diseñar un proyecto de reciclaje, se deberá estimar la composición de los residuos mediante el método recomendado en el encabezamiento “Estimación directa” de esta sección.

$$\% \text{ de materia orgánica} = \frac{\text{Peso de la materia orgánica (kg)}}{\text{Peso total de los residuos sólidos (kg)}} * 100 \quad (7)$$

- **Estimación directa**

- Recopilar información del número de habitantes, un mapa, ubicación de las fuentes no domésticas de producción de residuos sólidos (mataderos, ferias, etc.), zonas de recolección, botaderos, etc.  
Seleccionar una muestra de 15 familias o viviendas.
- Recolectar los residuos de las familias seleccionadas durante ocho días consecutivos y descartar la muestra del primer día.
- Colocar los residuos sólidos en un cilindro de 200 litros. Dejar caer el recipiente tres veces desde una altura de 10 centímetros. Pesar los residuos y medir el volumen que ocupan. Repetir la operación por tres días consecutivos y calcular el promedio de la relación peso/volumen para obtener la densidad.
- Obtener el peso total y por componente durante siete días consecutivos (luego de descartar la muestra del primer día) y distinguir los siguientes componentes.
- Calcular el promedio de los siete días para obtener la composición física por componente y la producción per cápita (ppc). La composición física por componente resulta de dividir el peso total promedio de los residuos entre el peso del respectivo componente (expresado en porcentaje). La ppc es la relación entre el peso total y la población que produce estos residuos.

**Tabla 7. Relaciones para conocer las características básicas de los residuos sólidos.**

<b>Característica del residuo sólido</b>	<b>Fórmula práctica</b>	<b>Unidad más común</b>
Producción per cápita	Peso de los residuos/población que los produce	kg/(hab-día)
Composición	Peso total de los residuos/peso del componente	%
Densidad	Peso de los residuos/volumen que ocupan	kg/m <sup>3</sup>

**1.5.3.3 Almacenamiento de los residuos.** El almacenamiento es una fase previa a la recolección de residuos sólidos, que consiste en las operaciones que se realizan desde el lugar donde se produce, hasta que son recolectados por el servicio municipal o la empresa responsable de su destino final.

En las acciones de almacenamiento no interviene la administración municipal, sino que son los propios productores de los residuos quienes realizan tales operaciones; sin embargo, el ayuntamiento puede intervenir orientando a la población mediante la publicación de normas y reglamentos, que regulen la forma en que los residuos se almacenen y se entreguen al servicio de recolección para su eliminación o aprovechamiento posteriores.

Los tipos de almacenamiento se diferencian de acuerdo a su origen y al tipo de recipiente utilizado. Así, se tiene que existe:

- **Almacenamiento Domiciliario.** Se realiza en las casas, ya sea mediante la utilización de botes de plástico o lámina y a través de bolsas de Plástico. “Los Movimiento Ecologistas después de un estudio, sugiere en el Reglamento para el Servicio de Limpieza que los usuarios utilicen dos recipientes para residuos sólidos; uno para orgánicos y otro para inorgánicos. Su almacenamiento comprende procedimientos muy sencillos que realizan los usuarios y que consisten en depositar sus residuos directamente en el vehículo recolector o en la calle” [43].



**1.5.3.4 Recolección y barrido.** Se define como el conjunto de actividades que se realizan para retirar los residuos desde el lugar donde son depositados por su productor, hasta su descarga en los sitios de disposición final o en su entrega a alguna planta procesadora para su aprovechamiento.

La recolección y transporte son funciones propias de la administración municipal o de la empresa responsable del servicio que, de acuerdo a las posibilidades económicas y capacidad financiera, planea y organiza sus actividades con el fin de atender las demandas que presente la comunidad, partiendo de que la recolección principal es la que corresponde a residuos domiciliarios, comerciales e industriales. De estos últimos es conveniente hacer una evaluación de su composición físico-química para evitar el manejo inadecuado de los residuos peligrosos o potencialmente peligrosos, por parte del sistema normal de recolección.

En la organización de estas actividades es importante tomar en cuenta el personal y equipo disponible, así como sus factores condicionantes como son: el sistema vial, tipo de zona y la cantidad de residuos sólidos. Una vez que se conocen estos factores se procede a seleccionar la frecuencia, horario, método de recolección y forma de transportarlos para su aprovechamiento y destino final.

**1.5.3.4.1 Frecuencia.** La frecuencia consiste en la periodicidad con la que se realiza la recolección de residuos en los principales puntos, como son: domicilios, comercios, industrias, oficinas y hospitales. “La recolección puede efectuarse diariamente o en días alternados; en caso de nuestro país, la frecuencia más recomendable para la recolección de residuos sólidos domiciliarios es de tres veces por semana; esta última alternativa es la más conveniente, ya que representa un ahorro considerable en los costos de operación” [44].

La recolección de residuos en mercados y centros comerciales se recomienda hacerla diariamente, debido al carácter orgánico de su composición evitando así los focos de contaminación que pudiera ocasionar el almacenamiento de dichos residuos.

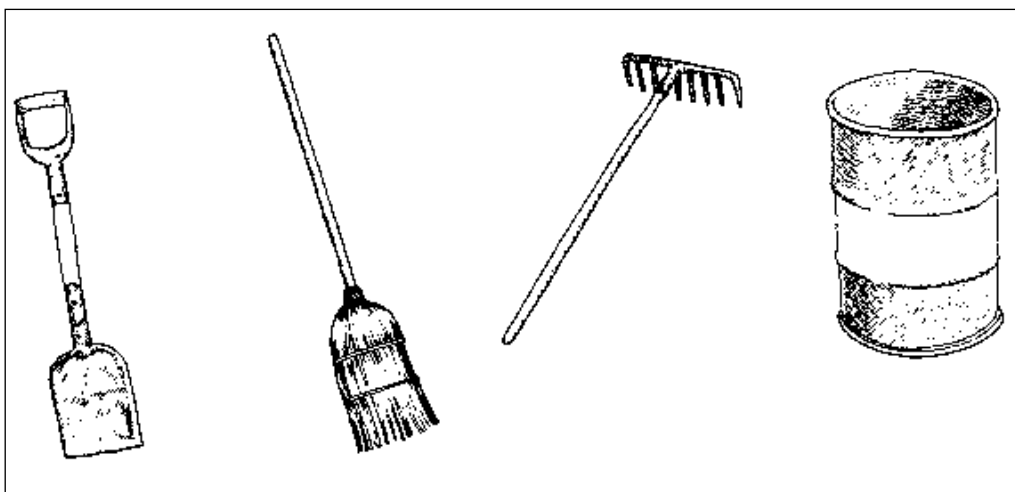
En todo caso, la recolección deberá hacerse con rutas diseñadas que optimicen los tiempos de recorrido de cada vehículo asignado cada una de las áreas de la localidad y procurando un máximo de eficiencia.

**1.5.3.4.2 Horario.** La determinación de un horario para el servicio de recolección y transporte de acuerdo a las características de la población, tipo de infraestructura y la densidad del tráfico vehicular. El horario más recomendable es el que se inicia en las primeras horas de la mañana. En caso de que se disponga de un buen sistema de alumbrado público, el barrido podrá realizarse en la noche, pero sin olvidar que en el horario nocturno los gastos se duplican y se incrementa el costo del servicio.

En caso de que el municipio no cuente con un alumbrado público adecuado, el barrido podrá realizarse durante el día en las horas de menor circulación.

**1.5.3.5 Limpieza de vías y áreas públicas.** El barrido de calles y áreas públicas se efectúa principalmente en las vías pavimentadas de intensa circulación peatonal. En la mayoría de las ciudades el rendimiento del personal es de 1,0 a 2,0 Km/día de calle (o sea 2,0 a 4,0 Km de cuneta), se recogen de 30 a 90 Kg de basura por kilómetro barrido y se requieren entre 0,4 y 0,8 barrenderos por cada 1.000 habitantes, dependiendo del apoyo del barrido mecánico, de la proporción de calles pavimentadas y no pavimentadas, del grado de dificultad del barrido y de la educación y cooperación de la comunidad.

La cantidad de residuos sólidos proveniente del barrido se incrementa con basura domiciliaria o residencial cuando el servicio de recolección es ineficiente o inadecuado.



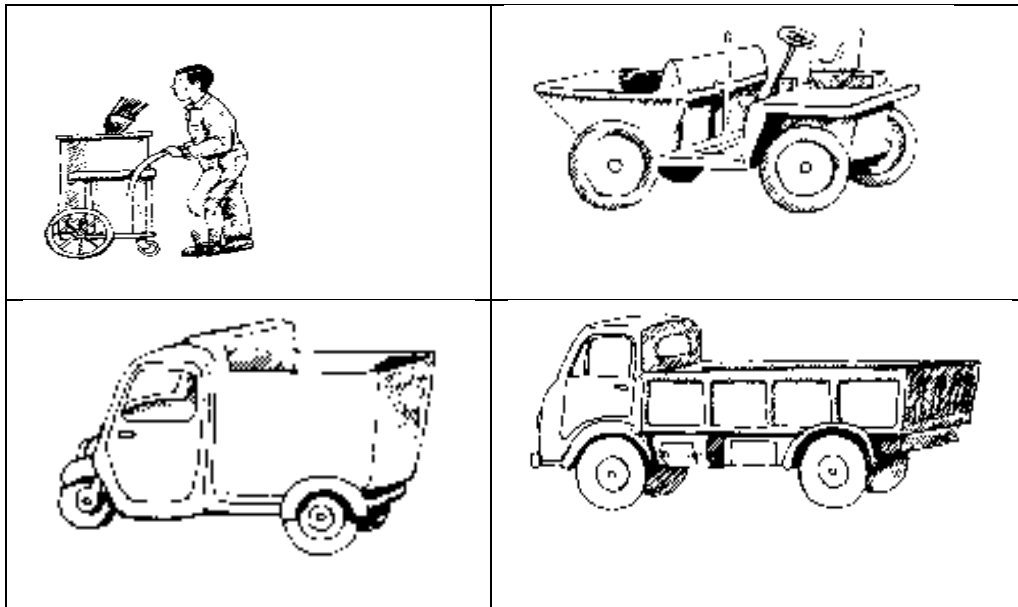
**Figura 22. Herramienta sencilla para el barrido**

Además de los implementos mencionados, a los agentes se les proporcionara ropa de trabajo que consiste en dos pares de zapatos, dos pantalones dos camisas y dos casacas al año, eventualmente se les proporciona guantes.

- **La recolección y el Transporte de los Residuos.** De los residuos se puede llevar a cabo de dos formas: directo o mediante transferencias. El transporte directo consiste en trasladar los residuos recolectados a los lugares de tratamiento o disposición final.

La distancia de recorrido del transporte influye directamente en el costo de operación del servicio, por ello se recomienda que la distancia máxima para que los camiones de recolección descarguen directamente en las plantas de tratamiento o sitios de disposición final, podrá ser de 15 Km aproximadamente.

La siguiente figura muestra los vehículos que se pueden utilizar para la recolección de residuos sólidos.



**Figura 23. Vehículos de recolección**



**Figura 24. Carro recolector tipo carga posterior**

- **Zonificación.** Para efectos de recolección y transporte de los residuos sólidos de la ciudad, ha sido dividida en zonas. Cabe indicar que esta zonificación se ha hecho en función de brindar facilidad para la movilización de los vehículos recolectores, tomando en consideración la zonificación realizada para el Plan de Desarrollo Urbano-Rural de la ciudad, cada una de estas zonas es recorrida por un vehículo recolector.
- **Frecuencias.** Una vez determinadas las necesidades del equipamiento y mano de obra, hay que fijar los itinerarios de recolección para utilizar así eficazmente tanto a los recolectores como al equipamiento. En general, el diseño de rutas de recolección implica una serie de pruebas. No hay normas fijas que se puedan aplicar a todas las situaciones. Por lo tanto, actualmente, el diseño de rutas de recolección sigue siendo un proceso de seguimiento común.

Algunas líneas heurísticas que se deberán tener en consideración en el diseño de rutas son las siguientes:

- ✓ Deben identificarse las políticas y normativas existentes relacionadas con algunos asuntos como el punto de recolección y la frecuencia de recolección.
- ✓ Deben coordinarse las características del sistema existente, tales como el número de operarios y los tipos de vehículos.
- ✓ En zonas de colinas, los itinerarios deberían empezar en la parte más alta y continuar cuesta abajo mientras se cargan los vehículos.
- ✓ Las rutas deberán ser diseñados para que el último contenedor que hay que recoger en el itinerario se encuentre localizado lo más cerca posible del lugar de evacuación.
- ✓ Deberían recogerse los residuos localizados en zonas de congestión vial a una hora del día tan temprana como fuera posible.
- ✓ Se deberían servir las fuentes que generan cantidades muy grandes de residuos durante la primera parte del día. Los puntos de toma desperdigados (donde se generan pequeñas cantidades de residuos) que reciben la misma frecuencia de recolección deberían ser servidos, si es posible, durante un solo viaje o en el mismo día.

**1.5.4 Disposición final.** Una vez retirados los RSU peligrosos y la materia orgánica fermentable, el resto de los residuos contienen materiales que podrán ser reciclados en función de la demanda industrial que exista para los mismos; el “rechazo” (RSU no aprovechables aunque pudieran ser reciclados) que variará siempre, en función del lugar y el tiempo, no deberá

contener, por tanto, elementos que compliquen su depósito en vertedero, pudiéndose comprimir y cubrir con los residuos de construcción debidamente reciclados (tierra de cubrición).

## **1.6 Marco Legal.**

A continuación se presenta la legislación ambiental que actualmente se encuentra vigente en nuestro país, que rige la gestión integral de los residuos sólidos, enfocándose esencialmente en el manejo y disposición final de lixiviados provenientes de un relleno sanitario.

En nuestro país, existe la Constitución Política del Estado, que es la Ley máxima que regula a la sociedad, considerando la Constitución, se han elaborado leyes, reglamentos, normas, acuerdos, ordenanzas municipales, para que estas puedan ser respetadas por la sociedad.

### **1.6.1 Constitución Política de la República del Ecuador**

**Art. 3.-** Se menciona como uno de los deberes primordiales del Estado:

Defender el patrimonio natural y cultural del país y proteger el medio ambiente [45].

**Art. 23.-** Sin perjuicio de los derechos establecidos en esta Constitución y en los instrumentos internacionales vigentes, el Estado reconocerá y garantizará a las personas los siguientes:

- El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación. La ley establecerá las restricciones al ejercicio de determinados derechos y libertades, para proteger el medio ambiente.
- El derecho a disponer de bienes y servicios, públicos y privados, de óptima calidad; a elegirlos con libertad, así como a recibir información adecuada y veraz sobre su contenido y características.
- El derecho a una calidad de vida que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, saneamiento ambiental; educación, trabajo, empleo, recreación, vivienda, vestido y otros servicios sociales necesarios [46].

**Art. 84.-** El Estado reconocerá y garantizará a los pueblos indígenas, de conformidad con esta Constitución y la ley, el respeto al orden público y a los derechos humanos, los siguientes derechos colectivos:

- Ser consultados sobre planes y programas de prospección y explotación de recursos no renovables que se hallen en sus tierras y que puedan afectarlos ambiental o culturalmente; participar en los beneficios que esos proyectos reporten, en cuanto sea posible y recibir indemnizaciones por los perjuicios socio-ambientales que les causen.
- Conservar y promover sus prácticas de manejo de la biodiversidad y de su entorno natural [47].

**Art. 86.-** El Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza.

Se declaran de interés público y se regularán conforme a la ley:

- La preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país.
- La prevención de la contaminación ambiental, la recuperación de los espacios naturales degradados, el manejo sustentable de los recursos naturales y los requisitos que para estos fines deberán cumplir las actividades públicas y privadas.
- El establecimiento de un sistema nacional de áreas naturales protegidas, que garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecológicos, de conformidad con los convenios y tratados internacionales.

**Art. 87.-** La ley tipificará las infracciones y determinará los procedimientos para establecer responsabilidades administrativas, civiles y penales que correspondan a las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, por las acciones u omisiones en contra de las normas de protección al medio ambiente.

**Art. 88.-** Toda decisión estatal que pueda afectar al medio ambiente, deberá contar previamente con los criterios de la comunidad, para lo cual ésta será debidamente informada. La ley garantizará su participación.

**Art. 89.-** El Estado tomará medidas orientadas a la consecución de los siguientes objetivos:

1. Promover en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes.

2. Establecer estímulos tributarios para quienes realicen acciones ambientalmente sanas [48].

**1.6.2 Ley de Gestión Ambiental.** La ley de Gestión Ambiental, publicada en el Registro Oficial No. 245, el 30 de julio de 1999, determina los principios de la política ambiental, a continuación se transcriben algunos artículos de interés para el presente estudio.

**Art. 1.-** La presente ley establece los principios y directrices de la política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

**Art. 2.-** La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respeto a las culturas y prácticas tradicionales.

**Art. 6.-** El aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro del patrimonio de áreas naturales protegidas del Estado y en ecosistemas frágiles, tendrá lugar por excepción previo un estudio de factibilidad económica y de evaluación de impactos ambientales.

**Art. 9.-** Le corresponde al Ministerio del ramo:

(...) j) Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes; (...) [49].

**1.6.3 Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre.** La Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, fue publicada en el Registro Oficial No. 64, el 24 de Agosto de 1981. En el Título II. Que corresponde a las Áreas Naturales y de trata de la Flora y Fauna Silvestres, menciona:

**Art. 76.-** La flora y fauna silvestres son de dominio del Estado y corresponde al Ministerio de Agricultura y Ganadería su conservación, protección y administración, para lo cual ejercerá las siguientes funciones:

(...)b) Prevenir y controlar la contaminación del suelo y de las aguas, así como la degradación del medio ambiente; (...)

**Art. 78.-** (...), Se prohíbe igualmente, contaminar el medio ambiente terrestre, acuático o aéreo, o atentar contra la vida silvestre, terrestre, acuática o aérea existente en las unidades de manejo [50].

**1.6.4 Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.** El Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, publicado en el Registro Oficial No. 725, el 16 de diciembre del 2002, mediante el Decreto Ejecutivo No. 3399, prescribe la normativa ambiental vigente en el Ecuador.

A continuación se transcribe varios artículos que hacen referencia al presente estudio:

**Art. 1.- MISION DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE:** Dirigir la gestión ambiental, a través de políticas, normas e instrumentos de fomento y control, para lograr el uso sustentable y la conservación del capital natural del Ecuador, asegurar el derecho de sus habitantes a vivir en un ambiente sano y apoyar la competitividad del país.

**Art. 2.- VISION DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE:** Ser la autoridad ambiental nacional sólida, líder del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental, con un equipo humano comprometido con la excelencia, que guíe con transparencia y efectividad al Ecuador hacia el desarrollo sustentable.

**Art. 3.- OBJETIVOS DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE:**

- a. Formular, promover y coordinar políticas de Estado, dirigidas hacia el desarrollo sustentable y la competitividad del país;
- b. Proteger el derecho de la población a vivir en un ambiente sano; y,
- c. Asegurar la conservación y uso sustentable del capital natural del país [51].

En el Libro VI, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental del Ministerio del Ambiente, referente a la Calidad Ambiental, en su Título II contiene las Políticas Nacionales de Residuos Sólidos, para lo cual se hace mención de los siguientes artículos de interés para el presente estudio:

**Art. 30.-** El Estado Ecuatoriano declara como prioridad nacional la gestión integral de los residuos sólidos en el país, como una responsabilidad compartida por toda la sociedad, que



contribuya al desarrollo sustentable a través de un conjunto de políticas intersectoriales nacionales (...).

**Art. 31.-**AMBITO DE SALUD Y AMBIENTE : Se establece como políticas de la gestión de residuos sólidos en el ámbito de salud y ambiente las siguientes:

- a. Prevención y minimización de los impactos de la gestión integral de residuos sólidos al ambiente y a la salud, con énfasis en la adecuada disposición final.
- b. Impulso y aplicación de mecanismos que permitan tomar acciones de control y sanción, para quienes causen afectación al ambiente y la salud, por un inadecuado manejo de los residuos sólidos.

En el capítulo 4.10 Normas generales para el saneamiento de los botaderos de desechos sólidos se encuentra varias normas que tienen que ver con el tema de estudio, las mismas que dicen:

#### *Capítulo 4.10.2.5* Recolección de Lixiviados

Se deberán localizar los sitios donde se ubicarán los filtros o canales para los lixiviados, además se diseñarán y construirán los mismos, para que los lixiviados por gravedad se dirijan hacia las partes bajas, y luego a su tratamiento como paso previo a su disposición final.”

#### *Capítulo 4.10.2.6* Medición del Caudal de Lixiviados y dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento.

Se deberá diseñar la medición del caudal de lixiviados y dimensionamiento del tanque de almacenamiento, en el sitio donde se concentren o donde lleguen los canales recolectores.

Se deberá diseñar un tanque de almacenamiento, con una capacidad de por lo menos tres días de producción en el mes más lluvioso.

El tanque de almacenamiento deberá tener su correspondiente diseño estructural.

*Capítulo 4.10.3* Se deberá realizar como mínimo los siguientes análisis físico-químicos a los lixiviados captados como efluentes del Botadero de desechos sólidos:

Temperatura, pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos totales, nitrógeno total, fósforo total, dureza, alcalinidad, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, hierro, sodio, potasio, sólidos disueltos, plomo, mercurio, cadmio, cromo total, cianuros, fenoles y tensoactivos.

Basándose en los resultados obtenidos inicialmente, se deberá decidir el listado de los parámetros a medir periódicamente.

Del mismo modo en el capítulo 4.12. Normas generales para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, empleando la técnica de relleno mecanizado, dice:

*Capítulo 4.12.4* Todo sitio para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio de recolección de desechos sólidos deberá cumplir como mínimo, con los siguientes requisitos para rellenos sanitarios mecanizados:

(...) q.- Se debe controlar mediante la caracterización y tratamiento adecuado los líquidos percolados que se originen por descomposición de los desechos sólidos y que pueden llegar a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

*Capítulo 4.12.11* Los lixiviados generados deben ser tratados, de tal manera que cumplan con lo establecido en la Norma de Aguas, en lo referente a los parámetros establecidos para descarga de los efluentes a un cuerpo de agua.

De acuerdo a la política ambiental anteriormente mencionada, sobre las normas que tiene que cumplir un lixiviado proveniente de un relleno sanitario antes de ser descargado tenemos que esta debe cumplir con los parámetros de descarga de los efluentes a un cuerpo de agua, es así que en el Anexo 1 del Libro VI el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria encontramos dicha normativa ambiental que regulará el presente estudio:

En el *capítulo 4.2* Criterios generales para la descarga de efluentes se tiene:

*Capítulo 4.2.3* Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina

*Capítulo 4.2.3.2* Se prohíbe todo tipo de descarga en:

- a. Las cabeceras de las fuentes de agua.
- b. Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determinará el CNRH, Consejo Provincial o Municipio Local y,

- c. Todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos

Capítulo 4.2.3.7 Toda descarga a un cuerpo de **agua dulce**, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 8)

**Tabla 8. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible.
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	Mg/l	0,3
Alkil mercurio		Mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos		Mg/l	2,0
Aluminio	Al	Mg/l	5,0
Arsénico total	As	Mg/l	0,1
Bario	Ba	Mg/l	2,0
Boro total	B	Mg/l	2,0
Cadmio	Cd	Mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	Mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	Mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	Mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	Mg/l	1 000
Cobre	Cu	Mg/l	1,0
Cobalto	Co	Mg/l	0

**Tabla 8. (Continuación)**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible.</b>
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<sup>1</sup> Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	Mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	Mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	Mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	Mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	Mg/l	1,0
Estaño	Sn	Mg/l	5,0
Fluoruros	F	Mg/l	5,0
Fósforo Total	P	Mg/l	10
Hierro total	Fe	Mg/l	10,0
Hidrocarburos	TPH	Mg/l	20,0
Totales de Petróleo			
Manganeso total	Mn	Mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	Mg/l	0,005
Níquel	Ni	Mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	Mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05

<sup>1</sup> Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

**Tabla 8. (Continuación)**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible.</b>
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	Mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendedos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

\* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

**Fuente:** TULAS (2002) anexo 1 libro VI. Tabla 12. pp. 41-44

**1.6.5 Código Penal: Delitos contra el Medio Ambiente.** El Código Penal: Delitos contra el Medio Ambiente se expide en el Registro Oficial No. 2, el 25 de enero del 2000. A continuación se transcribe varios artículos relacionados con el tema de estudio:

**Art. 437 B.-** El que infringiere las normas sobre protección del ambiente, vertiendo residuos de cualquier naturaleza, por encima de los límites fijados de conformidad con la ley, si tal acción causare perjuicio o alteraciones a la flora, la fauna, potencial genético, los recursos hidrobiológicos o la biodiversidad serán reprimidos con prisión de 1 a 3 años si el hecho no constituyere un delito más severamente reprimido.

**Art. 437 C.-** La pena será de tres a cinco años de prisión cuando:

- a. Los actos previstos en el artículo anterior ocasionen daños a la salud de las personas o a sus bienes;
- b. El perjuicio o alteración ocasionados tengan carácter irreversible;
- c. El acto sea parte de actividades desarrolladas clandestinamente por su actor; o,
- d. Los actos contaminantes afecten gravemente recursos naturales necesarios para la actividad económica.

**“Art 437 E.-** Se aplicará la pena de uno a tres años de prisión, si el hecho no constituyere un delito más severamente reprimido, al funcionario o empleado público que actuando por si mismo o como miembro de un cuerpo colegiado, autorice o permita, contra derecho, que se viertan residuos contaminantes de cualquier clase por encima de los límites fijados de conformidad con la ley, así como el funcionario o empleado cuyo informe u opinión haya conducido al mismo resultado.

## 2. SITUACIÓN ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO DE LAGO AGRIO

### 2.1 Ubicación.



**Figura 25. Ubicación del Relleno Sanitario de Lago Agrio.**

La provincia de Sucumbíos fue creada mediante Ley No.008 del 11 de febrero de 1998, publicada en el registro oficial No. 127 del 13 de febrero de 1989, con una extensión de 18 612 Km<sup>2</sup>. Geográficamente se encuentra localizada al Nororiente del Ecuador; limita al Norte con Colombia, al Sur con la provincia de Orellana, al Oeste con las provincias de Carchi e Imbabura y al Este con Colombia y Perú.

Forma parte de la cuenca alta del Amazonas, caracterizada por clima tropical, cubierta por bosque húmedo Tropical dentro de la cuenca hidrográfica del río Napo.

El área destinada para el relleno sanitario está localizada aproximadamente a 8 Km. De la carretera Lago Agrio- Tarapoa. El acceso al sitio es por un camino lastrado en buen estado aproximadamente 400 m de longitud. El terreno tiene una superficie de 9.0 Ha de las cuales 3.30 Ha son utilizadas para la gestión del relleno sanitario.

El suelo es de tipo limoso de alta plasticidad, el contenido de humedad varía entre 30 y el 52%. El coeficiente de permeabilidad es del orden de  $6,18 \times 10^{-6}$  cm/s, que corresponde a un suelo prácticamente impermeable. El agua lluvia, escurrirá superficialmente por drenaje natural por lo que el área de trabajo es protegida con canales que desalojen inmediatamente el agua de la quebrada. (Ver Anexo A).

## **2.2 Entidad operativa del relleno sanitario.**

El organismo encargado de velar por el buen funcionamiento, construcción y demás obras que se realizan en el Relleno Sanitario es el Gobierno Autónomo Descentralizado de Lago Agrio, a través de la Dirección de Higiene y Medio Ambiente.

**2.2.1 Personal y turnos para la disposición de residuos.** El relleno sanitario cuenta con el siguiente personal:

Dos técnicos Ingenieros Ambientales encargados de la contratación y seguimiento de las obras de construcción que se realicen.

También como personal de campo se tiene a ocho personas de la comunidad de Puerto Rico (comunidad cercana) que se encargan de realizar trabajos varios como: jardinería, aseo, mantenimiento, bombeo de lixiviados, movilización de equipos y tubería. Cuyo horario de trabajo es de 08H00 a 17H00 de Lunes a Viernes. Los operadores de las retroexcavadora realizan turnos de 15 días con siete días de descanso, y su horario de trabajo es de 08H00 a 18H00.

**2.2.2 Operación Diaria.** Los recolectores de la municipalidad de Lago Agrio ingresan al relleno sanitario hasta la plataforma de descarga la cual se encuentra en el Domo 2. La Retroexcavadora 428 “Caterpillar”, es la encargada de realizar trabajos como excavaciones acomodo de taludes, de donde se obtendrá el material de cobertura además de esparcir los desechos de manera uniforme y compactarlos con su paso.



### **2.3 Infraestructura y operación del relleno sanitario.**

Actualmente se encuentra funcionando en el que será el Relleno Sanitario un botadero a cielo abierto con descarga parcialmente controlada de residuos, ya que se emplea maquinaria y se aplica cobertura de manera inconstante.

En el cantón de Lago Agrio se producen aproximadamente 41Ton/día de residuos sólidos biodegradables y no degradables los cuales en el momento se están disponiendo en su mayor proporción en el vertedero de la cabecera municipal generando problemas ambientales de tipo social (conflictos con la comunidad), físico (contaminación de suelos, hídrica, visual y atmosférica) y biótico (presencia de vectores y deforestación).

Existe una infraestructura provisional para la disposición total de los residuos sólidos conformada por dos Domos, de los cuales el Domo 1 ya ha sido llenado completamente y cubierto con tierra.



**Figura 26. Domo 1. Para la disposición final de residuos sólidos completamente cubierto.**

En el Domo 2, que esta semi- impermeabilizado se disponen diariamente los residuos, de todo el cantón Lago Agrio. (Ver Anexo B)



**Figura 27. Domo 2 Semi impermeabilizado.**



**Figura 28. Vertido de residuos sólidos en el Domo 2**



**Figura 29. Acomodación mecánica de residuos sólidos en el Domo 2**

De acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio realizado por Ingeniería Hidrogeología y Suelos Cía. Ltda. Con Natura INC, se indica de manera detallada el diseño de las celdas además de los parámetros que se tomaron en cuenta para su realización.

En los actuales momento se ha encargado a una compañía privada, la construcción de la primera etapa de relleno Sanitario, que constituye, el cierre técnico del botadero tanto del Domo 1 como el Domo2, Construcción de las cuatro primeras celdas para residuos sólidos y celda Hospitalaria. Esta obra tiene un avance del 40%.

A continuación se muestra el diseño considerado para el Relleno Sanitario de Lago Agrio.

**2.3.1 Producción de Residuos.** Para determinar la cantidad de residuos a recibir en el relleno sanitario se realiza teniendo en cuenta la proyección tanto de habitantes como de residuos sólidos generados, a continuación se desglosan los procedimientos aplicados.

**2.3.1.1 Datos Aplicados.** Para establecer la población a servir con el sistema de aseo en el período de diseño, se tomaron en cuenta los datos históricos censales.

**Tabla 9. Datos históricos poblacionales de Lago Agrio**

<b>Año</b>	<b>Población</b>
1982	7,237
1990	13,165
2001	34,106

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.1 p.10. Capítulo 2.

De acuerdo al último censo realizado por el INEC en el año 2010 se tiene que la Población total de Lago Agrio es igual a 91 744 personas. Este dato no fue considerado para el estudio de Impacto Ambiental que se realizó.

De acuerdo con los términos de referencia del presente proyecto las proyecciones de población y residuos generados se realizaron a 30 años.

**2.3.1.2 Métodos Aplicados.** El **Método Aritmético** supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente.

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (8)$$

Donde,

Pf= Población de habitantes correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

Puc= Población de habitantes correspondiente al último año censado con información.

Pci= población de habitantes correspondiente al censo inicial con información.

Tuc= es el año correspondiente al último año censado con información.

Tci= es el año correspondiente al censo inicial con información.

Tf= es el año al cual se quiere proyectar la información.

El **Método Geométrico** es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que posee importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (9)$$

r = tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1 \quad (10)$$

El **Método Exponencial**, la utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} x e^{kx(T_f - T_{uc})} \quad (11)$$

Donde:

k= es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (12)$$

Donde:

Pcp= Población del censo posterior.

Pca= Población del censo anterior

Tcp= es el año correspondiente al censo posterior

Tca= es al año correspondiente al censo anterior.

Ln= Logaritmo natural o neperiano.

Es importante aclarar que se utilizaron estos tres métodos debido a las características de desarrollo de la región.

**2.3.1.3 Resultados.** De acuerdo con lo anterior se realizaron las proyecciones para la zona de estudio, los resultados se presentan en la siguiente Tabla 10.

Para corroborar la eficiencia de los diferentes métodos aplicados se hallaron los coeficientes de correlación para cada uno de ellos y como se puede apreciar son próximos a 1, por lo que se realizó el promedio de los mismos.

**Tabla 10. Proyección de habitantes para el cantón Lago Agrio**

<b>Año</b>	<b>Geométrico</b>	<b>Aritmético</b>	<b>Exponencial</b>	<b>Promedio</b>
2010	66.750	44.735	66.750	59.412
2011	72.263	46.074	72.263	63.533
2012	78.230	47.413	78.230	67.958
2013	84.691	48.753	84.691	72.712
2014	91.684	50.092	91.684	77.820
2015	99.256	51.413	99.256	83.308
2016	107.453	52.770	107.453	89.225
2017	116.326	54.109	116.326	95.587
2018	125.932	55.449	125.932	102.438
2019	136.332	56.788	136.332	109.817
2020	147.591	58.127	147.591	117.770
2021	159.779	59.466	159.779	126.341
2022	172.974	60.805	172.974	135.584
2023	187.258	62.145	187.258	145.554
2024	202.722	63.484	202.722	156.309
2025	219.463	64.823	219.463	167.916
2026	237.587	66.162	237.587	180.445
2027	257.207	67.501	257.207	193.972
2028	278.447	68.841	278.447	208.578
2029	301.442	70.180	301.442	224.355
2030	326.335	71.519	326.335	241.396
2031	353.284	72.858	353.284	259.809
2032	382.459	74.198	382.459	279.705
2033	414.043	75.537	414.043	301.208
2034	448.235	76.876	448.235	324.449

**Tabla 10. (Continuación)**

2035	485.251	78.215	485.251	349.572
2036	525.324	79.554	525.324	376.734
2037	568.706	80.894	568.706	406.102
2038	615.670	82.233	615.670	437.858
2039	666.513	83.572	666.513	472.199
r <sup>2</sup>	0,91711	1,00000	0,91711	

**Fuente:** IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.2 p.12. Capítulo 2.

**2.3.2 Proyección de Residuos.** Con base en los resultados obtenidos se realiza la proyección de residuos por componente, teniendo en cuenta el ppc aportada por el estudio Técnico y Económico para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en la ciudad de Nueva Loja (0,605 kg/hab/día).

**Tabla 11. Proyección de Residuos Sólidos por componente (Ton), para el cantón Lago Agrio**

Año	Ton/año	Residuos por Componente						
		Materia Orgánica	Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metales	Peligrosos	Otros
2.010	14.746,02	7.813,92	2.323,97	1.974,49	712,23	151,88	465,97	234,46
2.011	15.768,93	8.355,95	2.485,18	2.111,46	761,64	162,42	498,30	250,73
2.012	16.867,15	8.937,90	2.658,26	2.258,51	814,68	173,73	533,00	268,19
2.013	18.046,92	9.563,06	2.844,20	2.416,48	871,67	185,88	570,28	286,95
2.014	19.314,97	10.235,00	3.044,04	2.586,27	932,91	198,94	610,35	307,11
2.015	20.678,59	10.957,58	3.258,95	2.768,86	998,78	212,99	653,44	328,79
2.016	22.145,66	11.734,99	3.490,16	2.965,30	1.069,64	228,10	699,80	352,12
2.017	23.724,74	12.571,74	3.739,02	3.176,74	1.145,90	244,36	749,70	377,22
2.018	25.425,07	13.472,74	4.006,99	3.404,42	1.228,03	261,88	803,43	404,26
2.019	27.256,66	14.443,31	4.295,65	3.649,67	1.316,50	280,74	861,31	433,38
2.020	29.230,36	15.489,17	4.606,71	3.913,95	1.411,83	301,07	923,68	464,76
2.021	31.357,91	16.616,55	4.942,01	4.198,82	1.514,59	322,99	990,91	498,59
2.022	33.651,99	17.832,19	5.303,55	4.506,00	1.625,39	346,62	1.063,40	535,07
2.023	36.126,38	19.143,37	5.693,52	4.837,32	1.744,90	372,10	1.141,59	574,41
2.024	38.795,96	20.557,98	6.114,24	5.194,78	1.873,84	399,60	1.225,95	616,86
2.025	41.676,84	22.084,56	6.568,27	5.580,53	2.012,99	429,27	1.316,99	662,66
2.026	44.786,48	23.732,36	7.058,35	5.996,91	2.163,19	461,30	1.415,25	712,11
2.027	48.143,77	25.511,38	7.587,46	6.446,45	2.325,34	495,88	1.521,34	765,49
2.028	51.769,16	27.432,48	8.158,82	6.931,89	2.500,45	533,22	1.635,91	823,13
2.029	55.684,78	29.507,37	8.775,92	7.456,19	2.689,57	573,55	1.759,64	885,39
2.030	59.914,62	31.748,76	9.442,54	8.022,57	2.893,88	617,12	1.893,30	952,64

**Tabla 11. (Continuación)**

2.031	64.484,61	34.170,39	10.162,77	8.634,49	3.114,61	664,19	2.037,71	1.025,31
2.032	69.422,85	36.787,17	10.941,04	9.295,72	3.353,12	715,06	2.193,76	1.103,82
2.033	74.759,74	39.615,19	11.782,13	10.010,33	3.610,90	770,03	2.362,41	1.188,68
2.034	80.528,21	42.671,90	12.691,25	10.782,73	3.889,51	829,44	2.544,69	1.280,40
2.035	86.763,90	45.976,19	13.673,99	11.617,69	4.190,70	893,67	2.741,74	1.379,55
2.036	93.505,39	49.548,51	14.736,45	12.520,37	4.516,31	963,11	2.954,77	1.486,74
2.037	100.794,45	53.410,98	15.885,21	13.496,38	4.868,37	1.038,18	3.185,10	1.602,63
2.038	108.676,30	57.587,57	17.127,39	14.551,76	5.249,07	1.119,37	3.434,17	1.727,95
2.039	117.199,90	62.104,23	18.470,70	15.693,07	5.660,76	1.207,16	3.703,52	1.863,48

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.3 p.13. Capítulo 2.

**2.3.2.1 Información sobre caracterización de residuos producidos.** La caracterización de los residuos generados se presenta a continuación de acuerdo con el Estudio Técnico y Económico para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en la Ciudad de Nueva Loja de donde se tiene que el 60 % corresponde al sector residencial, el 20% al sector comercial y el 20% restante al sector de servicios. La caracterización residencial se toma del documento Análisis Sectorial de Residuos Sólidos del Ecuador (OPS, 2002).

**Tabla 12. Composición física de los residuos generados**

Componente	Residencial, %	Comercial, %	Servicios, %	Total %
Materia orgánica	42,84	3,34	6,80	52,99
Papel y Cartón	5,76	5,18	4,82	15,76
Plástico	2,70	5,60	5,09	13,39
Vidrio	2,22	1,73	0,88	4,83
Metales	0,42	0,25	0,36	1,03
Peligrosos (Incluye hospitalarios)	0,0	2,43	0,73	3,16
Otros	0,0	1,59	1,31	1,59

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.4 p.14. Capítulo 2.

**2.3.3 Aspectos de ingeniería del relleno sanitario.** La capacidad del relleno sanitario debe ser óptima para atender holgadamente la producción de desechos residenciales, comerciales, institucionales, industriales, producción de barridos entre otros. Para tal efecto, se realizó el

procedimiento de cálculo que se sigue a continuación, teniendo como base la disposición del 100% de residuos recogidos, y sin tener en cuenta las pérdidas de volumen por descomposición de la materia orgánica y pérdida de humedad natural y sin contemplar tampoco programas de reciclaje y reuso.

El peso específico usado para el cálculo del área, obedece a la experiencia de la firma consultora en el diseño, seguimiento y operación de rellenos sanitarios. Cabe anotar que esta compactación es la que se debe obtener siempre y cuando se emplee la maquinaria recomendada.

**2.3.3.1 Diseño de las Celdas, Niveles y Etapas de Relleno.** El proyecto se divide en 3 etapas a saber: Etapa I (incluye Celda 1), Etapa II (incluye celda 2 a 5) y etapa III (incluye celdas 6 a 9). Cada una de las celdas contempla las obras de adecuación como excavaciones, rellenos, vías, sistema de drenaje de lixiviados, chimeneas para el manejo de gases y cunetas para manejo de aguas lluvias.

“El llenado de las celdas será con taludes de altura máxima 8 m, con pendientes 3H: 1V y dejando bermas horizontales intermedias de 3.0 m de ancho. La corona del último talud se prolongará en forma aproximadamente horizontal (pendiente del 1%).

Es importante resaltar que la pendiente del talud (3H: 1V), se define así teniendo en cuenta que el ángulo de reposo de los residuos sólidos, tiene un valor promedio de  $17,8^\circ$  (equivalente a una pendiente 3H:1V) Este valor se considera como el ángulo óptimo para que los taludes de residuos sean estables, por lo tanto, de acuerdo con el análisis efectuado, no se recomienda variar esta pendiente de diseño con el objeto de ampliar la vida útil del relleno sanitario, puesto que no se considera sensato disminuir el factor de seguridad a costa de mayor capacidad” [52]. La base del relleno debe contener un sistema de recolección de lixiviados compuestos por piedra y tubería.

La cobertura final reducirá la infiltración de la lluvia y se considerará un sello adicional de material arcilloso en el contacto con el talud sobre el que apoyara el relleno y prever que por hundimientos se pueda formar algún empozamiento o corriente de agua a lo largo del contacto.

Finalmente, en la base de cada talud de residuos, se construirán “filtros pulmón” para el adecuado manejo de lixiviados acumulados en la base del cuerpo de residuos.



**2.3.3.2 Material de cobertura.** “La cobertura se aplicará una vez al día y sobre la celda operada durante el correspondiente día, en caso de requerirse coberturas adicionales durante el transcurso del día de operación, esta tendrá que ser obligatoriamente en material sintético removible, condición indispensable para mantener en correctas condiciones de drenaje de lixiviados y biogás del relleno sanitario. No se permite la aplicación de capas adicionales de tierra a las estipuladas en el diseño, para lo cual, el operador del relleno deberá acopiar previamente el material de cobertura definido para la celda (17,5% del volumen diario de residuos sólidos dispuestos) en un patio adjunto al sitio de operación. Se estima que al final del proyecto las Etapas I,II, III y IV (año 17), se habrá empleado 114 259,6 m<sup>3</sup> de material de cobertura diaria de los residuos sólidos compactados” [53]

El material de cobertura que se utilizará será el proveniente de las excavaciones del relleno sanitario.

**2.3.3.3 Capacidad de las celdas.** “El dimensionamiento de las celdas se determinó por el volumen de los residuos compactados a disponer diariamente. Se definieron así diversos parámetros base para el diseño de la celda diaria para el primer año.

Tomando el área diaria calculada para el primer año de 32,3m<sup>2</sup> se determina que teniendo una altura total de la celda de 1.5m y frente de trabajo de 6.0m 8 (1 vehículo compactador), el volumen será 48,5 m<sup>3</sup> para el primer año” [54].

El área total de las Etapas I, II y III se ha dividido en nueve Celdas, dentro de estas se realizará la disposición de residuos con alturas variables dependiendo de la topografía del terreno. Este conjunto de Etapas tiene una vida útil estimada de 11,4 años (Ver Anexo C).

**Tabla 13. Capacidad volumétrica de las etapas I, II y III**

Fase	Nivel No.	Capacidad		Generación (m <sup>3</sup> /mes)	Vida útil			
		Por nivel (m <sup>3</sup> )	Acumulada (m <sup>3</sup> )		Años	Meses	Días	Acumulada (Años)
I	Celda 1	34,947	34,947	17,702.5	1.0	10.0	23.0	1.9
II	Celda 2	30,981	65,928	19,126.0	1.0	5.0	9.0	3.3
	Celda 3	34,368	100,296	20,659.0	1.0	5.0	24.0	4.8
III	Celda 4	23,191	123,488	22,301.5	0.0	11.0	3.0	5.8
	Celda 5	11,975	135,462	24,053.5	0.0	5.0	10.0	6.2
	Celda 6	38,284	173,746	25,951.5	1.0	3.0	24.0	7.5
	Celda 7	36,944	210,690	27,959.0	1.0	2.0	4.0	8.7
	Celda 8	41,321	252,011	30,149.0	1.0	2.0	20.0	9.9
	Celda 9	55,553	307,564	32,521.5	1.0	5.0	18.0	11.4
IV	Nivel +1	118,154	425,717	35,040.0	2.0	5.0	29.0	13.9
	Nivel +2	114,510	540,228	37,741.0	2.0	1.0	28.0	16.0
	Nivel +3	52,758	592,986	40,697.5	0.0	11.0	29.0	17.0

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.12 p.30. Capítulo 2.

**Tabla 14. Capacidad de almacenamiento de las celdas 1 a 9**

Área Total	Capacidad de Almacenamiento (m <sup>3</sup> )
<b>Celda 1</b>	34.947,40
<b>Celda 2</b>	30.980,60
<b>Celda 3</b>	34.368,20
<b>Celda 4</b>	23.191,40
<b>Celda 5</b>	11.974,70
<b>Celda 6</b>	38.283,50
<b>Celda 7</b>	36.944,10
<b>Celda 8</b>	41.321,30
<b>Celda 9</b>	55.552,60
<b>TOTAL</b>	307.563,70

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.14 p.33. Capítulo 2.

**2.3.3.4 Impermeabilización de las áreas intervenidas.** Con el objeto de evitar la fuga de lixiviados al subsuelo y por ende la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, se debe lograr la impermeabilización del fondo y las paredes del relleno.

Una vez conformado el terreno, sobre la superficie del fondo del relleno, se debe colocar una capa de material impermeable que puede ser suelo arcilloso o un material sintético impermeable (geomembrana de polietileno de alta densidad calibre 30mils), conservando una pendiente mínima del 3% en el sentido longitudinal y las cotas establecidas en los planos de diseño. Sobre este sistema de protección del suelo se debe proceder al extendido de una capa de arena con un espesor mínimo de 0,15m conservando las pendientes de la conformación de la base del relleno. En el sector de los filtros donde estarán ubicadas las tuberías de drenaje de lixiviados, se dispone de un material granular con diámetro entre 1" y 2" conformando un canal junto a la tubería, conservando las pendientes del 3% en el sentido longitudinal (dirección del drenaje principal) y las cotas establecidas en los planos de diseño. Esta capa de grava tiene como función permitir el flujo de los lixiviados hacia la zona de filtros. Sobre esta conformación, se dispuso una capa granular, para poder así disponer los residuos sólidos.

## **2.4 Generación y drenaje de lixiviados.**

**2.4.1 Drenaje de Lixiviados.** Los lixiviados generados se recolectan a partir de las tuberías que se encuentran en el interior de la Infraestructura provisional (Domo uno y dos), a pesar de que existen fugas de lixiviado porque los Domos no se encuentran totalmente impermeabilizados, este se recoge en tres cisternas de concreto de 30m<sup>3</sup> cada una, el momento que se encuentran llenas se bombean a tres piscinas de 420m<sup>3</sup> cada una, para luego ser descargado al ambiente (Ver Anexo D).

De los Dos Domos se generan alrededor de 90 m<sup>3</sup> de lixiviado por mes. Pero existen fugas de lixiviado en los alrededores.



**Figura 30. Cisternas para almacenamiento de Lixiviados.**



**Figura 31. Cisterna para almacenamiento de Lixiviados.**

De acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio realizado por Ingeniería Hidrogeología y Suelos Cía. Ltda. con Natura INC, se indica de manera detallada el diseño de las celdas con el sistema de drenaje de lixiviados.

**2.4.1.1 Sistema de drenaje de lixiviados.** “Sobre el terreno adecuado se procederá a la localización del sistema de filtros conforme a los diseños presentados, cual puede ser similar al de un sistema espina de pescado. De donde se recogerá el lixiviado y será conducido a una Laguna cuya capacidad de almacenamiento será de 1376,0 m<sup>3</sup>.

Una vez realizado el replanteo de los filtros se procederá a las excavaciones del caso, conformando la sección del filtro de acuerdo a los planos de diseño, siguiendo una pendiente mínima del 3% en el sentido longitudinal (dirección del drenaje principal) y del 5% en el sentido transversal, y las cotas establecidas en los planos de diseño (ver Anexo E).

Una vez que se coloque la geomembrana contemplada en la impermeabilización del fondo del relleno, se procederá a la colocación de una capa de grava de 0,15m de espesor y diámetro entre 1” y 2”, sobre esta capa de grava se coloca una tubería perforada RDE21 de PVC y de diámetro de acuerdo a los planos de diseño la cual debe ir perforada. Se recomienda que el diámetro del filtro principal sea mayor que el de los filtros secundarios; por último, se llena el filtro con una capa de grava de diámetro en 1” y 2” hasta la cota señalada en los planos” [55].

**Tabla 15. Especificaciones del sistema de drenaje de lixiviados**

Ítem	Unidad	Cantidad
<b>Celda 1</b>		
Tubería 160mm	m	85,90
Sin filtro	m	55,50
Cajas	un	2,00
Interconexiones 160mm	un	23,60
<b>Celda 2</b>		
Tubería 160mm	m	39,80
Sin filtro	m	57,90
Cajas	un	3,00
Interconexiones 160mm	un	0,00
<b>Celda 3</b>		
Tubería 160mm	m	105,90
Sin filtro	m	87,10
Cajas	un	5,00
Interconexiones 160mm	un	27,10
<b>Celda 4</b>		
Tubería 160mm	m	76,20
Sin filtro	m	93,60
Cajas	un	4,00
Interconexiones 160mm	un	20,00
<b>Celda 5</b>		
Tubería 160mm	m	85,70
Sin filtro	m	62,30
Cajas	un	4,00
Interconexiones 160mm	un	16,90

**Tabla 15. (Continuación)**

<b>Celda 6</b>		
Tubería 160mm	m	72,90
Sin filtro	m	91,50
Cajas	un	2,00
Interconexiones 160mm	un	32,40
<b>Celda 7</b>		
Tubería 160mm	m	80,00
Sin filtro	m	129,60
Cajas	un	2,00
Interconexiones 160mm	un	20,40
<b>Celda 8</b>		
Tubería 160mm	m	87,50
Sin filtro	m	153,20
Cajas	un	2,00
Interconexiones 160mm	un	17,60
<b>Celda 9</b>		
Tubería 160mm	m	74,60
Sin filtro	m	188,60
Cajas	un	2,00
Interconexiones 160mm	un	15,30
<b>Descole</b>		
Tubería 160mm	m	56,40
Caja	un	1,00

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.16 p.35 y 36. Capítulo 2.

**Tabla 16. Especificaciones laguna de lixiviado principal**

Item	Unidad	Cantidad
<b>Áreas</b>		
Superior	m <sup>2</sup>	800.0
Inferior	m <sup>2</sup>	576.0
Profundidad	m	2.0
Capacidad de Almacenamiento	m <sup>3</sup>	1,376.0
<b>Movimientos</b>		
Área Excavaciones	m <sup>2</sup>	1,777.3
Cortes	m <sup>3</sup>	33,573.9
Llenos	m <sup>3</sup>	0.0

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.17 p.36. Capítulo 2.

**2.4.2 Generación de Lixiviados.** “Para la predicción de la forma como se reparte la producción total de los gases y lixiviados provenientes de la descomposición, se parte de los siguientes postulados básicos:

En el segundo año se presenta una pico en la fracción del total que descompone, o sea en la rapidez de la descomposición.

En los siguientes años hasta finalizar el quinto año, la tasa de descomposición decrece progresivamente.

A partir del quinto año hasta el decimoquinto, se mantiene una tasa de descomposición mínima, decreciente, pero significativa.

De la finalización del año quinto en adelante, las tasas de descomposición son insignificantes (para efectos prácticos de generación de gases y lixiviados, se puede suponer que la descomposición ha cesado).

Más precisamente, hasta el año quinto se supone que ocurre el 95% del total de la descomposición esperada. Para los años sexto al decimoquinto, se supone repartido el 5% restante de la descomposición, con un decrecimiento lineal que lleva a un valor de cero para la finalización de año quince.

Con estas consideraciones se puede fijar la fracción de descomposición correspondiente a cada año y si se desea, la correspondiente a cada mes de los quince años, dentro de los que ubica el proceso de estabilización biológica.

Si se ha establecido la cantidad de gas o de lixiviado que produce cada tonelada de basura en su descomposición global, a partir del conocimiento de la cantidad de basuras dispuestas en un determinado mes del año, con las fracciones antes mencionadas se pueden calcular las cantidades de lixiviado y de gas que previsiblemente se habrán de generar en cada uno de los subsiguientes 180 meses.

Si se dispone del programa de llegada mensual de basuras al relleno sanitario para toda su vida útil, para la cantidad llegada en cada mes se puede realizar el cálculo de producción progresiva de gas y de lixiviado en cada uno de sus respectivos 180 meses subsiguientes. De esta manera, en un cierto mes, al de la iniciación de operaciones del relleno, encontrarán partidas parciales de

producción, correspondiendo, cada una de ellas a la cantidad de basuras dispuestas en los meses anteriores” [56].

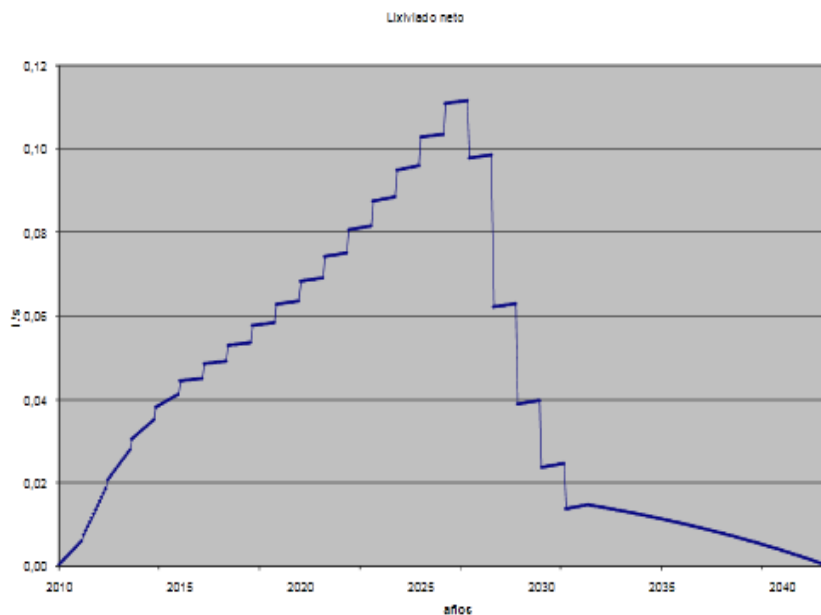
**2.4.2.1 Resultado del modelo de generación de Lixiviados.** De acuerdo al Anexo F. Modelo de cálculo de Lixiviados, se presenta el resultado obtenido por el modelo de generación aplicado para los residuos generados a 30 años, en el relleno sanitario.

En la siguiente tabla y figura se presenta el comportamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario, es importante aclarar que para este cálculo se utilizó la precipitación máxima y la evaporación mínima, debido a que por las características típicas de la zona no hay generación de lixiviados por percolación.

**Tabla 17. Resumen resultado cálculo de generación de Lixiviado**

Subproducto	Caudales máximos			Mes de máxima generación	Finaliza generación (mes)
	m <sup>3</sup> /mes	m <sup>3</sup> /día	l/s		
Lixiviado	192,24	6408	4,45	197	354
Capacidad de laguna de lixiviado:					

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.19 p.43. Capítulo 2.



**Figura 32. Producción de Lixiviado**



“La proyección de los lixiviados generados por el relleno sanitario se realizó para el período de diseño (30 años), de acuerdo con las características de los mismos la generación se prolonga hasta el mes 540 y con un rango de generación entre 0,4 y 192,24m<sup>3</sup> mensuales, siendo los meses de mayor generación los contemplados entre el 184 y el 197” [57].

### **2.4.3 Factores que afectan la calidad del lixiviado**

**2.4.3.1 Calidad de los desechos.** La variación en la composición de los residuos alcanza probablemente un alto valor al tratarse de desechos municipales y un valor mínimo al tratarse de desechos industriales.

Justamente debido a esta variación en la composición de los residuos la calidad de los lixiviados, en los rellenos sanitarios también tiene un amplio rango de variación. Es obvio que la variación de esta calidad será más alta para aquellos desechos putrescibles que para aquellos que no lo sean, por ejemplo para los residuos provenientes de la fundición del hierro el valor típico de la DQO en los lixiviados es 150 mg/L y para residuos municipales varía entre 6,6 y 99000,00 mg/L.

Para el relleno sanitario de Lago Agrio se tiene que la basura está compuesta por: 60 % de putrescible, 6 % de papel, 5 % de textiles, 6% de jardinería y 24 % de otros.

**2.4.3.2 Tiempo transcurrido de operación.** La calidad de los lixiviados varía con el tiempo, por ejemplo la calidad promedio del lixiviado generado en el primer año será menos fuerte que aquella generado en el quinto año.

Los cambios que se producen en los lixiviados en el transcurso del tiempo son producidos por formación de ácidos orgánicos y otros productos intermedios, aumento en la concentración de CO<sub>2</sub>, aumento de la DBO<sub>5</sub>, DQO y conductividad debido a la dilución de los ácidos orgánicos; en la fase ácida habrá presencia de metales pesados en el lixiviado debido a los bajos valores de pH, en la fase de fermentación del metano el pH de los lixiviados subirá a valores neutros en rangos que van de 6,8 a 8,0, además se reducirán las concentraciones de DBO<sub>5</sub>, DQO, el valor de conductividad y la concentración de metales pesados, y en la fase de maduración el lixiviado contendrá ácidos húmicos y fúlvico que son difíciles de degradar biológicamente.

En resumen la calidad del lixiviado alcanza un pico luego de pocos años de operación y luego gradualmente declina tendiendo a estabilizarse a partir de los 20 o 25 años de operación.

**2.4.3.3 Temperatura Ambiente.** La temperatura atmosférica en el área de la construcción y operación del relleno sanitario influencia también en la calidad del lixiviado es decir la temperatura afecta tanto el crecimiento bacteriano como a las reacciones químicas.

Temperaturas bajo cero grados que congelan las masas de desechos también pueden reducir la producción de lixiviados y de hecho tiene un efecto inhibitor en algunas reacciones químicas.

**2.4.3.4 Contenido de humedad.** El agua juega un papel importante en la lixiviación sustancias químicas entremezcladas en los desechos del relleno.

La calidad del lixiviado de los desechos sometidos a tratamiento y disposición final en climas húmedos se esperan que sean diferentes a la calidad del lixiviado proveniente de la misma composición de desechos pero dispuestos en un área de clima seco.

**2.4.3.5 Contenido de Oxígeno.** El efecto del oxígeno disponible es notable en el caso de desechos putrescibles. Los químicos liberados debido a una descomposición aeróbica son significativamente diferentes de aquellos liberados por una descomposición anaeróbica. Las condiciones anaeróbicas de un relleno sanitario se desarrollan debido a la frecuente cobertura de los desechos con el suelo. El suministro de oxígeno comienza a escasear tan pronto como los desechos son cubiertos con las capas de suelo de cobertura o con otras cantidades de desechos. Una actividad predominantemente anaeróbica se desarrollará en celdas diseñadas con una mayor altitud.

#### **2.4.4 Factores que influyen la cantidad de lixiviado**

**2.4.4.1 Precipitación.** Depende del área geográfica donde esté ubicado el relleno.

**2.4.4.2 Humedad de los desechos.** Depende del área geopolítica donde se genera el desecho, relacionado con la precipitación en forma directa.

**2.4.4.3 Introducción de aguas subterráneas.** Esto ocurrirá cuando de una manera forzada tengamos que utilizar áreas cuyo nivel freático este cercano a la superficie del suelo.

**2.4.4.4 Diseño de la cobertura final.** El volumen de los lixiviados es reducido significativamente luego de que un relleno es clausurado o cerrado y es cubierto con una capa final. Debido esencialmente a dos razones:

- a. Crecimiento de una cobertura vegetal sobre la capa final, lo cual reduce la infiltración a través de la evapotranspiración.
- b. Debido a la baja permeabilidad del material utilizado en esta capa de cobertura.

El diseño adecuado de la cobertura final será determinante para la obtención de una mayor o menor cantidad de lixiviado a partir de la clausura de estos rellenos.

**2.4.5 Clima de la ubicación geográfica del Relleno Sanitario.** Se analizaron las series climáticas de la Estación Meteorológica Santa Cecilia y del aeropuerto de Lago Agrio, representativas del área de estudio. En la Tabla18, se presentan los resultados promedios a nivel mensual y anual de las estaciones meteorológicas indicadas.

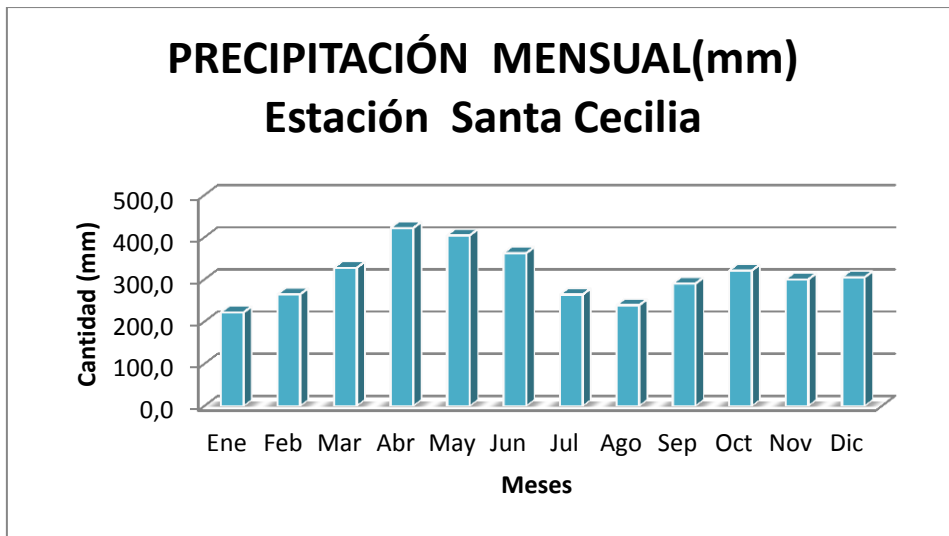
**Tabla 18. Parámetros meteorológicos estación Santa Cecilia**

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura media	26,0	25,7	25,6	25,4	25,2	24,5	24,2	24,8	25,4	25,8	25,8	25,9	25,4
Temperatura media máxima	26,7	27,0	26,9	26,0	25,9	25,6	25,4	25,7	26,0	26,8	26,5	26,8	26,3
Temperatura media mínima	24,8	24,6	24,7	24,8	24,3	23,5	23,2	23,3	24,3	24,7	24,9	24,8	24,3
Humedad	83,0	85,0	87,0	88,0	87,0	88,0	87,0	85,0	84,0	84,0	85,0	84,0	85,6
Precipitación	222,5	265,3	328,0	422,5	405,2	363,0	264,8	239,4	290,7	321,6	300,7	305,6	3729,3*
Nubosidad	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,2
Evaporación	94,1	80,6	90,1	119,6	87,4	82,0	81,5	100,5	107,5	106,2	96,8	103,5	1149,8

\*Dato acumulado de precipitación estimado

Fuente: Estación Meteorológica Santa Cecilia. Serie de datos correspondiente al período 1992-2002.p. 105.

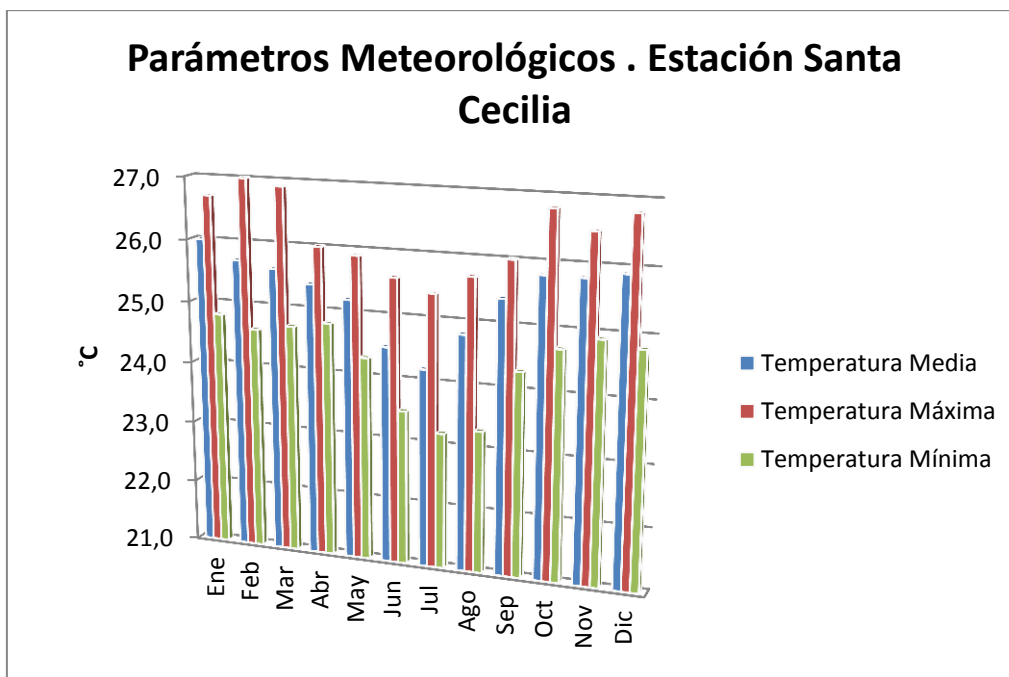
**2.4.5.1 Precipitación.** Del análisis de los datos promedios mensuales de precipitación (Figura 31), se deduce que existen marcadas fluctuaciones, con gran máximo en el mes de abril (446,8mm) y el segundo máximo en el mes de octubre (351,3 mm). Un primer mínimo en agosto (227,8mm) y un segundo mínimo en los meses de diciembre -enero(282,1mm-217,7mm, respectivamente); por lo tanto el flujo anual de la precipitación es de carácter bimodal (con dos máximos y dos mínimos).



**Figura 33. Precipitación media mensual (mm). Estación Santa Cecilia.**

**Fuente:** Estación Meteorológica Santa Cecilia. Serie de datos correspondiente al período 1992-2002.p.204.

**2.4.5.2 Temperatura del aire.** Las variaciones en el flujo anual de las temperaturas registradas en la Estación Santa Cecilia no son mayores en el transcurso del año. La temperatura fluctúa entre un máximo de 27°C en el mes de febrero y un mínimo de 23,2°C en el mes de julio, con un promedio anual de 25,4°C y por lo tanto su amplitud no es significativa.



**Figura 34. Temperatura media, máxima y mínima. Estación Santa Cecilia.**

**Fuente:** Estación Meteorológica Santa Cecilia. Serie de datos correspondiente al período 1992-2002.p. 102

Con base en la información obtenida de la Estación Aeropuerto Lago Agrio, se determinó la temperatura para la zona, la cual oscila entre 24,7 °C y 27 °C, presentándose el mayor valor en el mes de diciembre (27 °C).

Mientras que los valores de temperatura máxima, mínima y media absoluta en la Estación Aeropuerto de Lago Agrio son los siguientes:

Temperatura máxima Absoluta: 36,1 °C

Temperatura media absoluta: 27,6 °C

Temperatura mínima absoluta: 20,6 °C.

**2.4.5.3 Humedad atmosférica.** La zona amazónica se caracteriza por su alta humedad relativa durante todo el año. En la estación Santa Cecilia los valores medios fluctúan entre 83% y 88%. Para la Estación Lago Agrio, la humedad relativa presenta valores elevados, con máximos valores en el mes de junio de 83% y mínimos en el mes de enero.

**2.4.5.4 Viento.** Para el análisis de los registros de viento, por cuanto la cobertura vegetal de la Amazonía se ubica sobre los 15m de la superficie y los vientos se miden a 10m sobre la

superficie, no se consideran los valores medios mensuales sino los vientos más frecuentes (con las mayores frecuencias) o más recurrentes, de aquí se desprende que las partes bajas y medias como es el caso de la laguna se caracterizan por vientos de poca magnitud entre 2 y 3 m/s.

Los vientos predominantes tienen componente sur-este y coinciden con los vientos alisios que convergen en la latitud ecuatorial son los que intervienen directamente en el transporte del aire.

**2.4.5.5 Insolación.** La cantidad de horas de brillo solar, de acuerdo a los registros de la heliofanía, tiene valores entre 1400 a 1500 horas al año en Lago Agrio.

**2.4.5.6 Nubosidad.** En la Amazonía ecuatoriana la cantidad de nubosidad es alta durante todo el año y fluctúa entre 5/8- 6/8 en las partes bajas de la Amazonía ecuatoriana, que sería el caso de Lago Agrio.

**2.4.6 Monitoreo del relleno sanitario.** En el Relleno de Lago Agrio se procedió a seleccionar los sitios apropiados para la toma de muestras de lixiviado.

Durante el recorrido realizado se tomaron una muestra puntual de lixiviado los sitios más idóneos para su recolección. Se debe aclarar que los valores arrojados en el análisis de las muestras de lixiviado refleja las circunstancias particulares del vertimiento y el recurso hídrico en el momento y lugar de su recolección, por lo tanto, debe tomarse en cuenta que estos resultados son susceptibles a factores de variabilidad espacial y temporal tales como son los factores estacionales como lluvias intensas que aumentan tanto la cantidad de lixiviado, así como el factor de dilución en la fuente superficial lo que se ve reflejado en cambios de las concentraciones de los parámetros analizados, entre otros factores.

La fecha de los muestreos en el relleno de Lago Agrio corresponde al 12 de Agosto del 2009. Se midieron parámetros físico-químicos que caracterizan en general el estado actual del lixiviado de manera puntual. Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: DBO5, DQO, pH, Cloruros, Aceites y Grasas, Amonio, Cianuros, Metales Pesados, Fluoruros, Sólidos Totales, Sólidos sedimentables, Sulfatos, Sulfuro, Conductividad, Temperatura y Fósforo Total; necesarios para determinar las características del lixiviado.

Los resultados de los análisis de las muestras, fueron comparados con límites establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria TULAS- Libro VI-Anexo 1 Norma de

Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recursos agua Tabla 12 límite de descarga a un cuerpo de agua dulce.

También se realizaron comparaciones de los diferentes parámetros con los valores guías de la OMS y la EPA, así como lo reportado en la literatura específica para este tipo de vertimiento, con el fin de realizar una mejor evaluación de las características del lixiviado.

Para una mayor comprensión se realiza una breve descripción de cada uno de los parámetros.

- **pH.** Hace referencia concentración de iones hidrógeno en el agua indicando su basicidad o su acidez. Esta medida se presenta en escala de pH con rangos de 0 a 14. El pH, afecta la cinética y mecanismo de las reacciones químicas en el agua. Además puede exacerbar la toxicidad de ciertas sustancias presentes en el agua.
- **Conductividad Eléctrica.** Es la medida de la capacidad que tiene las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica e indica la materia ionizable total. Su medida depende de la temperatura.  
Se considera que la conductividad eléctrica, es una medida indirecta de contaminación de cargas de sales.

A continuación en la Tabla 19. Límites Máximos de conductividad eléctrica para agua de riego, además se presentan los valores de referencia para peligro de salinidad.

**Tabla 19. Límites máximos de conductividad eléctrica para agua de riego.**

<b>Peligro de Salinidad en agua para riego</b>	<b>dS/m or mmhos/cm</b>
Ninguno	<0,75
Ligero	0,75-1,5
Moderado	1,5-3,00
Severo	>3,00

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 3.25 p.49. Capítulo 3.

- **DQO.** La demanda Química de Oxígeno, determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica en una muestra líquida, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mgO<sub>2</sub>/L.

- **DBO<sub>5</sub>.** La demanda Bioquímica de oxígeno DBO, es el parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno y se favorece el desarrollo de los microorganismos. Normalmente se mide transcurridos 5 días (DBO<sub>5</sub>) y se expresa en mgO<sub>2</sub>/L.

La relación entre los valores de DBO y DQO es indicativo de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En aguas residuales un valor de la relación DBO/DQO menor 0,2, se interpreta como un vertido de tipo inorgánico y vertido orgánico sí es mayor de 0,6.

- **Aceites y Grasas.** Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos de petróleo. Dentro de sus características principales están: baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad.
- **Amonio.** El catión amonio es un catión poliatómico cargado positivamente, de fórmula química NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. El amonio hace que el agua tome un color verdoso oscuro, baje la cantidad de oxígeno en el agua y tenga un olor desagradable. Su presencia es signo de contaminación con fertilizantes y heces.
- **Cloruros.** Los cloruros, muy fácilmente solubles, no participan en los procesos biológicos, no desempeñan ningún papel en los fenómenos de descomposición y no sufren modificaciones. Sin embargo limitan el crecimiento de ciertas plantas y animales acuáticos, causando estrés en este tipo de ecosistemas.
- **Cianuros.** El cianuro es un anión monovalente de presentación CN<sup>-</sup>. El mismo contiene el grupo cianuro (C ≡ N). Es potencialmente letal, actuando como tóxico a través de la inhibición del complejo citocromo oxidasa en el sistema de respiración celular.
- **Fluoruros.** Los fluoruros son sales de ácido fluorídrico (HF) teniendo como anión F<sup>-</sup>. La exposición prolongada por ingesta a los fluoruros ocasiona diversos trastornos como fluorosis dental y fluorosis del esqueleto, con una mayor incidencia de fracturas óseas en adultos y otros padecimientos aún más severos.



- **Metales Pesados.** Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63,55(Cu) y 200,59(Hg) y que presentan un peso específico superior a 4 (g/cm<sup>3</sup>).

Se pueden clasificar en dos categorías: oligoelementos que son requeridos en cantidades traza para el ciclo vital de las plantas y animales, pero sobre cierto umbral son tóxicos; dentro de este grupo están: B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn. Y metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos; dentro de este grupo se encuentran principalmente: As, Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi. Los metales más peligrosos para toda forma de vida son el mercurio, el cadmio y el plomo.

A continuación en la Tabla 20. se presentan las concentraciones normales en cuerpos de aguas naturales, los valores máximos según la OMS y la EPA del agua para consumo y se describe los posibles riesgos a la salud por la exposición a concentraciones superiores recomendadas.

**Tabla 20. Valores guía y límites máximos de concentración.**

Parámetro	Unid	EPA	OMS	AN*	Efectos en la Salud
Arsénico (As)	mg/l	0,05	0,01		Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer
Cadmio (Cd)	mg/l	0,005	0,003	<1µg/l	Lesiones renales y fetales.
Cromo (Cr)	mg/l	0,05	0,1	<2µg/l	Dermatitis alérgica
Mercurio (Hg)	mg/l	-	0,006	<0,5µg/l	Puede resultar mortal en dosis de 500 mg. Lesiones cardiovasculares y al aparato digestivo. Se asocia al cáncer
Níquel (Ni)	mg/l	-	0,07	<0,02mg/l	La exposición a largo plazo puede causar cambio del peso corporal, el daño del corazón y del hígado e irritación de piel
Plomo	mg/l	0	0	-	En niños: retardo en desarrollo físico o mental; en adultos:

Parámetro	Unid	EPA	OMS	AN*	Efectos en la Salud
					trastornos renales; hipertensión
Manganeso (Mn)	mg/l	-	0,4		Daños al sistema nervioso central y sistema respiratorio
Hierro (Fe)	-	N/A**	N/A**	<0,5 – 50 mg/l	El hierro (III)-O-arsenito, pentahidratado puede ser peligroso para el medio ambiente
Zinc (Zn)	mg/l	N/A**	3		Lesiones de estómago, vómitos, irritación de la piel y anemia. Niveles pueden dañar el páncreas y alterar el metabolismo.

\*Valores Normales en aguas dulces/superficiales y subterráneas

\*\* No existe directriz

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 3.26 p.52 . Capítulo 3.

- **Sulfatos.** Los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) son las sales o los ésteres del ácido sulfúrico. El ión sulfato es uno de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de las aguas naturales encontrándose en concentraciones de 100 a 1000 mg/L.

Su impacto contaminante deriva de sus propiedades laxantes, en animales jóvenes, altos niveles pueden estar asociados con diarrea crónica y grave, y en algunos casos, la muerte. Según la OMS los niveles máximos permitidos para agua de consumo son de 500 mg/L.

- **Sulfuros.** Su presencia en aguas residuales se debe a la descomposición de materia orgánica y la reducción bacteriana de los sulfatos. El sulfuro de hidrógeno se caracteriza por ser un gas muy soluble en el agua, de 3,5 a 7 g/L en condiciones normales, de olor desagradable, inflamable y de alta toxicidad que se amplifica en aguas con pH ácidos.
- **Sólidos Totales.** Los sólidos totales, son la suma de todos los sólidos disueltos y suspendidos en el agua que incluye partículas de suelo insolubles, sedimentos, material sólido orgánico e inorgánico que está suspendido y representa la mayor fuente de contaminación acuática.
- **Sólidos Sedimentables.** El análisis de sólidos sedimentables presentes en una muestra de agua indica la cantidad de sólidos que pueden sedimentarse a partir de un volumen dado de muestra en un tiempo determinado. Los sólidos suspendidos reducen la fotosíntesis, interrumpen cadenas tróficas, transportan pesticidas, bacterias, metales y tóxicos.
- **Fósforo Total.** Las especies de fósforo más comunes en aguas naturales incluyen compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos o suspendidos. Es uno de los nutrientes que más influye en el proceso de eutrofización. Este nutriente limitante, promueve el crecimiento excesivo de biomasa, que cuando muere producto de la descomposición bacteriana, aumenta el consumo de oxígeno disuelto en el agua. Se encuentran presentes cuando se arrojan desechos humanos y animales a los cuerpos acuáticos, algunos residuos industriales también contienen fosfatos, los cuales caen en el agua, otra fuente de fosfatos es la erosión del suelo como resultado de nula o escasa cobertura vegetal. Cuando llueve, gran parte del fosfato que contienen los fertilizantes usados en las casas y en el campo, termina en los cuerpos de agua. La cantidad de fosfatos presentes en aguas superficiales está entre los rangos 0,005 mg/L a 0,02 mg/L y en el agua subterránea es de 0,02 mg/L.

- Nitratos.** El nitrato es el producto final de la oxidación de materia orgánica nitrogenada y por consiguiente indica que el agua ha tenido contacto con materia orgánica.

Si no existen al mismo tiempo nitritos y amoníaco, es señal de que la oxidación ha sido completada, pero el agua sigue potencialmente peligrosa. El nitrato en gran cantidad aumenta las probabilidades de que en contacto con plomo este se disuelva.

Estudio realizados demuestran que el nitrato puede transformarse en nitritos en los organismos de niños pequeños y producirles dificultades respiratorias. Para los adultos también es peligroso pues produce nitrosamina, responsable de enfermedades cancerígenas.
- Nitritos.** Los nitritos pueden estar presentes en las aguas, bien por la oxidación del amoníaco o por la reducción de los nitratos. En el primer caso, es casi seguro que su presencia se deba a una contaminación reciente, aunque haya desaparecido el amoníaco.

A nivel ecotoxicológico valores de nitritos de 0,75 mg/L provocan stress en peces y valores superiores a 5 mg/L son tóxicos.

**2.4.6.1 Resultados del muestreo del Lixiviado.** A continuación se presenta la Tabla 21., los resultados de la muestra de lixiviados generados en el relleno sanitario.

**Tabla 21. Resultado muestra de lixiviado**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	u pH	6,75
Conductividad eléctrica	μS/cm	1798
Temperatura	°C	28,5
DBO <sub>5</sub>	mg/L	45,2
DQO	mg/L	124,4
Aceites y Grasas	mg/L	<0,3
Arsénico	mg/L	<0,002
Nitrógeno amoniacal	mg/L	78,6
Cloruros	mg/L	76,74
Caudal		N/A
Cianuro total	mg/L	<0,001
Cromo VI	mg/L	<0,05
Fluoruros	mg/L	0,717
Fosforo total	mg/L	36,22

**Tabla 21. (Continuación)**

Hierro Total	mg/L	20,52
Manganeso total	mg/L	0,383
Material Flotante	mg/L	Ausente
Mercurio	mg/L	0,003
Níquel	mg/L	<0,1
NTK	mg/L	<0,5
Plomo	mg/L	<0,4
Sulfatos	mg/L	6,083
Sulfuros	mg/L	<0,5
Sólidos sedimentables	mg/L	1
Sólidos totales	mg/L	1274
Zinc	mg/L	0,06

**Fuente:** IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 3.27 p.54. Capítulo 3.

Los resultados obtenidos en el muestreo fueron comparados con los límites máximos permitidos para la descarga de vertimiento a un cuerpo de agua dulce Tabla 12 de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua Título VI anexo 1.

Según la norma, las concentraciones de DBO<sub>5</sub> para vertimientos no debe exceder 100 mg/L, el valor reportado para esta muestra es inferior al límite permitido. De igual manera los valores de DQO no exceden a 250 mg/L establecidos en la norma. La relación DBO/DQO es de 0,37 lo que revela que el lixiviado poco biodegradable, su tratamiento por medios biológicos es inadecuado.

En cuanto a sólidos totales, la norma permite un máximo de vertimiento correspondiente a 1600 mg/L de concentración, el valor reportado esta dentro de la norma de igual manera los sólidos sedimentables.

De acuerdo al pH, el lixiviado presenta a características neutras y su temperatura no supera el límite máximo permitido.

El valor de la conductividad eléctrica, indica concentración de sales sin embargo no presenta riesgo de salinización si entra en contacto con el suelo.

Parámetros como: Arsénico, Cloruros, Cianuro total, Cromo VI, Fluoruros, Manganeso total, Mercurio, Níquel, NTK, Plomo, Sulfatos, Sulfuros, Sólidos Sedimentables, Sólidos totales y Zinc se encuentra por debajo del límite establecido en la norma.

En cuanto al fósforo total se presenta leve incremento de concentración de este parámetro por encima de lo estipulado en la norma, lo que puede aportar condiciones eutrofización del cuerpo receptor.

El hierro total es dos veces superior al límite máximo permitido establecido en la norma ecuatoriana; sin embargo se debe determinar la especie química que lo representa para determinar su toxicidad.

## **2.5 Red de Captación de Biogas**

En la estructura provisional (Domas uno y dos) existe la red de captación de biogás ( Ver Anexo G), pero este no es recogido en ningún lugar para su aprovechamiento.

En las nueve celdas que tendrá el Relleno Sanitario está considerado la construcción de la Red de Captación de Biogas (Ver Anexo H).

**2.5.1 Red de captación de Biogas, relleno sanitario en construcción.** “Una vez que se haya terminado la construcción del sistema de filtro para evacuación de lixiviados y la barrera de impermeabilización del fondo del relleno se procede a la localización y replanteo de los puntos donde se construirán las chimeneas para gases. El drenaje de gases está constituido por un sistema de ventilación de piedra o tubería perforada de concreto o PVC revestidas de piedra, que funcionaran como chimeneas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie.

Estas chimeneas se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno, procurando siempre una buena compactación a su alrededor; se las instalará cada 20 ó 50 m, con un diámetro entre 0,30 y 0,50 m cada una.

Una vez localizado el punto donde se construirá la chimenea se retirará la capa de grava que se tiene sobre el filtro de lixiviados con el fin de permitir una mayor comunicación entre el filtro y

la chimenea, pues se debe interconectar los drenes, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario.

Sobre el área despejada del filtro se debe adelantar la armada de gavión y la colocación en su interior de una tubería de PVC sanitaria con perforaciones de ½ pulgada de diámetro cada 10cm.

Una vez colocada la tubería, se debe llenar el gavión con gravilla o material triturado, cuidando de no causar daños a la tubería ya instalada, el tamaño mínimo del material es de 10cm” [58].

**Tabla 22. Especificaciones del sistema de captación de biogás.**

Ítem	Unidad	Cantidad
<b>Celda 1</b>		
Chimeneas	un	4
<b>Celda 2</b>		
Chimeneas	un	5
<b>Celda 3</b>		
Chimeneas	un	5
<b>Celda 4</b>		
Chimeneas	un	5
<b>Celda 5</b>		
Chimeneas	un	4
<b>Celda 6</b>		
Chimeneas	un	4
<b>Celda 7</b>		
Chimeneas	un	5
<b>Celda 8</b>		
Chimeneas	un	5
<b>Celda 9</b>		
Chimeneas	un	6

Fuente: IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Tabla. 2.18 p.37. Capítulo 2.

## **2.6 Evaluación técnica del funcionamiento del relleno sanitario y la recuperación de gases y lixiviados.**

El problema en la disposición final de los residuos sólidos del cantón Lago Agrio, presenta diversas connotaciones de tipo ambiental y desde el punto de vista del bienestar y de la calidad

de vida de la población la afecta de manera significativa. Evaluar alternativas para el reciclaje y reutilización de los residuos previos a su disposición final, puede llegar a ser una fuente generadora de materia prima para proyectos de transformación que contribuirán en la solución de graves problemas del sector agropecuario.

### **2.6.1 Identificación de Impactos Ambientales actuales.**

**2.6.1.1 Componente Social.** “Se identificó a la población afectada por la inadecuada disposición final de residuos sólidos, la cual se agrupa dentro del área de influencia social directa del proyecto, teniéndose que los pobladores del recinto de Puerto Rico y los Ribereños, son los directamente afectados. Los resultados de las encuestas aplicadas demostraron la siguiente problemática:

- Existe perturbación a la salud y bienestar de las comunidades del área de influencia por la proliferación de vectores tales como: insectos, roedores y aves carroñeras.
- Existe afectación a la salud por inhalación de emisiones de gases que traen consigo olores ofensivos” [59].

**2.6.1.2 Componente Abiótico y Biótico.** “Las acciones realizadas por el municipio a pesar que han tratado de normalizar la operación como lo son:

- La adecuación y mantenimiento de las vías.
- El registro manual de entrada de vehículos.
- El control de acceso.
- La presencia de recicladores.
- El esparcimiento mecánico de los residuos por medio de maquinaria como una excavadora de orugas” [60].

No alcanzan suplir las deficiencias de la operación, por lo que se definen los siguientes impactos negativos:

**2.6.1.2.1 Contaminación ambiental por la inadecuada operación del sitio.** “Dado que desde el inicio el lugar no fue acondicionado con base en los diseños aprobados, las prácticas de vertido de los residuos sólidos se han efectuado sin ningún control, manejo y planificación” [61].

**2.6.1.2.2 Contaminación de suelos y fuentes de aguas subterráneas.** En el sitio de disposición final de residuos, no existe un sistema de tratamiento y el circuito de recolección de lixiviados no está bien diseñado ya que estos se infiltran en el terreno contaminando los suelos y las posibles fuentes de aguas subterráneas. En este sitio de disposición final de residuos sólidos, se encuentran fuentes de agua superficiales cercanas, lo cual aumenta el riesgo de contaminación por evacuación directa de lixiviados.



**Figura 35. Infiltración de lixiviados en el Domo 2.**



**Figura 36. Contaminación con lixiviado disposición directa.**



**2.6.1.2.3 Contaminación Atmosférica y generación de olores ofensivos.** “Algunos sectores carecen de chimeneas para la evacuación de gases, lo cual contribuye en la difusión incontrolada de malos olores sobre la atmósfera, ocasionando perturbación y deterioro en la salud humana y calidad en el aire del entorno” [62].

**2.6.1.2.4 Proliferación de vectores.** “Debido al desordenado depósito de los desechos, la deficiente compactación y la escasez del material de cobertura se presenta proliferación de vectores tanto insectos como roedores y aves carroñeras, transmisores de enfermedades y generadoras de plagas” [63].



**Figura 37. Presencia de aves de carroña.**



**Figura 38. Presencia de animales domésticos en la celda.**

**2.6.1.2.5 Deterioro del Paisaje.** El área de disposición final de residuos sólidos está cubierto por pastos en considerable proporción; no se efectúa compactación de los desechos debido a que no se cuenta con suficiente material para cubrir y confinar residuos, factores que inciden directamente en el deterioro del paisaje, puesto que ocasionan la evidencia de un panorama desagradable a la vista de quien transita por el lugar, debido a la presencia de vectores, desechos sólidos dispuestos en montículos sin control, encharcamientos, procesos erosivos y presencia de residuos tales como papeles o plásticos dispersos en vías aledañas por efectos del viento.



**Figura 39. Acumulación de aguas lluvia en las celdas.**



**Figura 40. Erosión en taludes de material de excavación.**

## **2.7 Mejoras Sugeridas en la Operación del Relleno Sanitario.**

En general se puede decir que la construcción de las Nuevas Celdas, la Celda para residuos Peligrosos y las vías resultan ser obras de gran importancia ya que permitirán que los residuos sólidos urbanos se dispongan de una manera más técnica. Además del cierre y clausura de los actuales Domos, donde se generan impactos ambientales importantes mejorará en gran manera el funcionamiento del Relleno. Una vez concluidas las obras es trascendental que las actividades en la etapa de operación se realicen de acuerdo a lo descrito en el Plan de Manejo Ambiental, realizados por IHS y Natura INC.

### **2.7.1 Manejo de emisiones a la atmósfera [64].**

- Se debe establecer un sistema de control en los ingresos, internos y externos de los vehículos, que ingresan al Relleno Sanitario.
- Contar con la señalización respectiva para el área de influencia directa establecida para el Relleno Sanitario.
- Los vehículos destinados al transporte de los desechos, deberán circular a velocidades no mayores de 20 Km/h en el área de influencia del proyecto.
- Hay que dar una atención especial al problema de vientos de papeles y plásticos. Para lo cual se sugiere utilizar pantallas contra el viento u otras barreras.
- Se debe recoger inmediatamente los residuos sólidos caídos, en las afueras del relleno (vías internas, áreas verdes y otros) y no se deben dejar acumular durante más de 1 o 2 horas.
- En labores puntuales que provoquen la producción de partículas y polvo deberán tomarse las respectivas medidas para proteger a los trabajadores (incluyendo mascarillas y otros). Cabe señalar que el polvo generado en el Relleno Sanitario, tiene características especiales debido a su procedencia; su fuente son los residuos urbanos recolectados en la ciudad de Lago Agrio. Su cantidad varía en función de las condiciones climáticas imperantes; a más de partículas se suelo natural que contiene una gran cantidad de materia orgánica que está impregnada de ingentes cantidades de microorganismos que realizan la descomposición de los residuos.

- Se debería realizar monitoreos para la caracterización de la calidad de aire, de acuerdo al TULAS- Anexo 4 del Libro VI.

### **2.7.2 Calidad del agua.**

- Se debe impermeabilizar totalmente el Domo 2 que esté en actual funcionamiento, además para las nueve celdas nuevas, se debe impermeabilizar la base con un material sintético.
- Arreglar las fugas que tiene el actual sistema de captación de lixiviados. Y como se ha considerado las nuevas construcciones deben tener un sistema de captación y tratamiento de los lixiviados.
- Construir un pozo de monitoreo al interior del relleno, en el cual se tomarán también muestras de agua para su análisis en el laboratorio.
- Analizar la calidad del lixiviado luego de tratado.
- Implantar un plan de mantenimiento de las condiciones estructurales del sistema de recolección de lixiviados y de la obra física del sistema de tratamiento.

**2.7.3 Calidad del suelo** [65]. A continuación se establecen las medidas que deberá tomar en cuenta el operador del relleno sanitario:

- Verificar que la base del relleno esté impermeabilizado antes de depositar los residuos sólidos.
- Depositar los residuos en los sitios previstos en los planos operativos, respetando las dimensiones básicas de la celda diaria (frente de trabajo y altura de la celda).
- Cubrir diariamente los residuos dispuestos con una capa de material de cobertura.
- En aquellos sitios en donde por diferentes razones la basura quede expuesta, se debe colocar material de cobertura adicional.
- Captar y tratar los lixiviados a fin de evitar que entren en contacto con el suelo o corran libremente por éste.

- Se debe asignar un área específica para la recolección de los desechos sólidos en donde se clasificará de acuerdo a la cantidad y tipo de desechos que se produzcan de las diferentes actividades operativas y de mantenimiento del Relleno Sanitario.
- Los residuos de combustibles, grasas y lubricantes provenientes del mantenimiento de equipos y sistemas deberán almacenarse en recipientes adecuados, como también los residuos utilizados o generados por las actividades del tratamiento de las aguas, los cuales deberán ser entregados a un gestor tecnificado, el cual certifique el tratamiento y la adecuada disposición final de los mismos.

#### **2.7.4 Control de insectos, roedores y aves.**

- Cubrir diariamente los residuos dispuestos con una capa de material de cobertura.
- Colocar cebos con raticida en la parte inferior del cerramiento perimetral del relleno.

#### **2.7.5 Control de biogas.**

- Se debe instalar los equipos y materiales adecuados para garantizar una correcta evacuación de los gases que se originen. Los gases deben ser quemados utilizando un sistema de chimeneas.
- Los gases producidos por la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos deberán ser captados desde la base del relleno y evacuados mediante chimeneas.

#### **2.7.6 Nivel Sonoro [66].**

- Vigilar la generación de altos niveles de ruidos y vibraciones, identificar las causas y notificarlos a la administración, además de dialogar con los operadores de maquinaria sobre el asunto, para que se tomen los correctivos necesarios.
- Para reducir la causa de ruido puede requerir la utilización de silenciadores, para el caso de vehículos, maquinaria o equipo pesado y de amortiguadores para mitigar las vibraciones.
- Es necesario la utilización del equipo de protección personal auditivo, en aquellas secciones del relleno sanitario donde el ruido de los procesos no pueda ser evitado mediante la implementación de medidas técnicamente factibles y exista una exposición de los operarios en

los periodos de tiempo en los que la normativa de seguridad industrial y salud ocupacional recomienda, que para períodos de 8 horas de exposición es de 85dB como máximo tolerable.

- Mantener barreras vivas en los linderos del área del relleno sanitario a fin de que permitan reducir o minimizar los decibeles generados por los equipos y maquinaria utilizados en las instalaciones hacia el ambiente externo.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 Selección del Proceso Experimental

Dependiendo del tipo de lixiviado que se genera en el Relleno Sanitario de Lago Agrio se deberá establecer los procesos experimentales de tratamiento. Teniendo en cuenta la combinación y secuencia de métodos, de tal manera que las aguas tratadas cumplan con la normativa ambiental vigente para descarga a cuerpos de agua dulce.

De acuerdo a la bibliografía consultada que consta en el Marco Teórico se pudo establecer las mejores condiciones y tiempos de reacción para cada etapa considerada en las propuestas de tratamiento. Condiciones como pH, dosis de reactivos como PAC, Poliacrilamida, Acido Cítrico e Hipoclorito de Sodio que se coloca para la desinfección final del lixiviado.

Las variables a considerar dentro del proceso son: pH, DQO (Demanda Química de Oxígeno), tiempo de reacción, dosis de productos químicos.

Los mejores resultados de cada método fueron enviados analizar según la Tabla 12. Anexo 1 Libro IV del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.

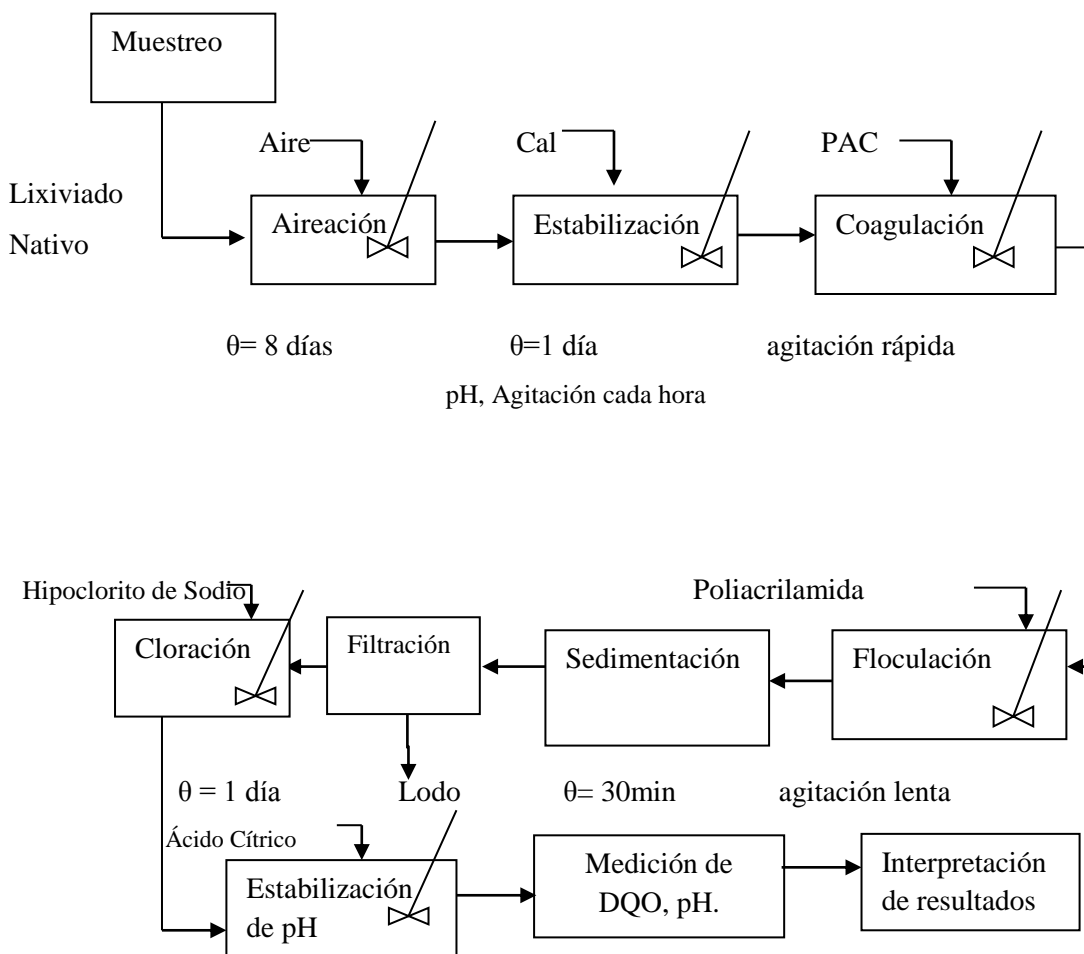
**3.1.1 Recolección de Lixiviado Nativo.** Es importante destacar que para la toma de muestra del lixiviado Nativo con el que se va a aplicar la metodología, fue recolectada en el mes de septiembre este mes tiene una precipitación de 290,7 mm, que de acuerdo al análisis de los datos promedios mensuales de precipitación se encuentra entre un mínimo de precipitación en el mes de agosto (227,8 mm) y un máximo de precipitación en el mes de octubre (351,3 mm). Lo que permite que la muestra sea más representativa en cuanto a generación de lixiviados por percolación.

**3.1.2 Descripción del Proceso Experimental.** La propuesta consiste en la aplicación de procesos de oxidación como aireación y ozonización además de clarificación mediante coagulación y floculación de acuerdo a diagramas de flujo expuestos en la Figura 41. Diseño Experimental del tratamiento con Aireación- Coagulación- Floculación y Figura 42. Diseño Experimental del tratamiento con Ozonización - Coagulación- Floculación

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Diseño Experimental

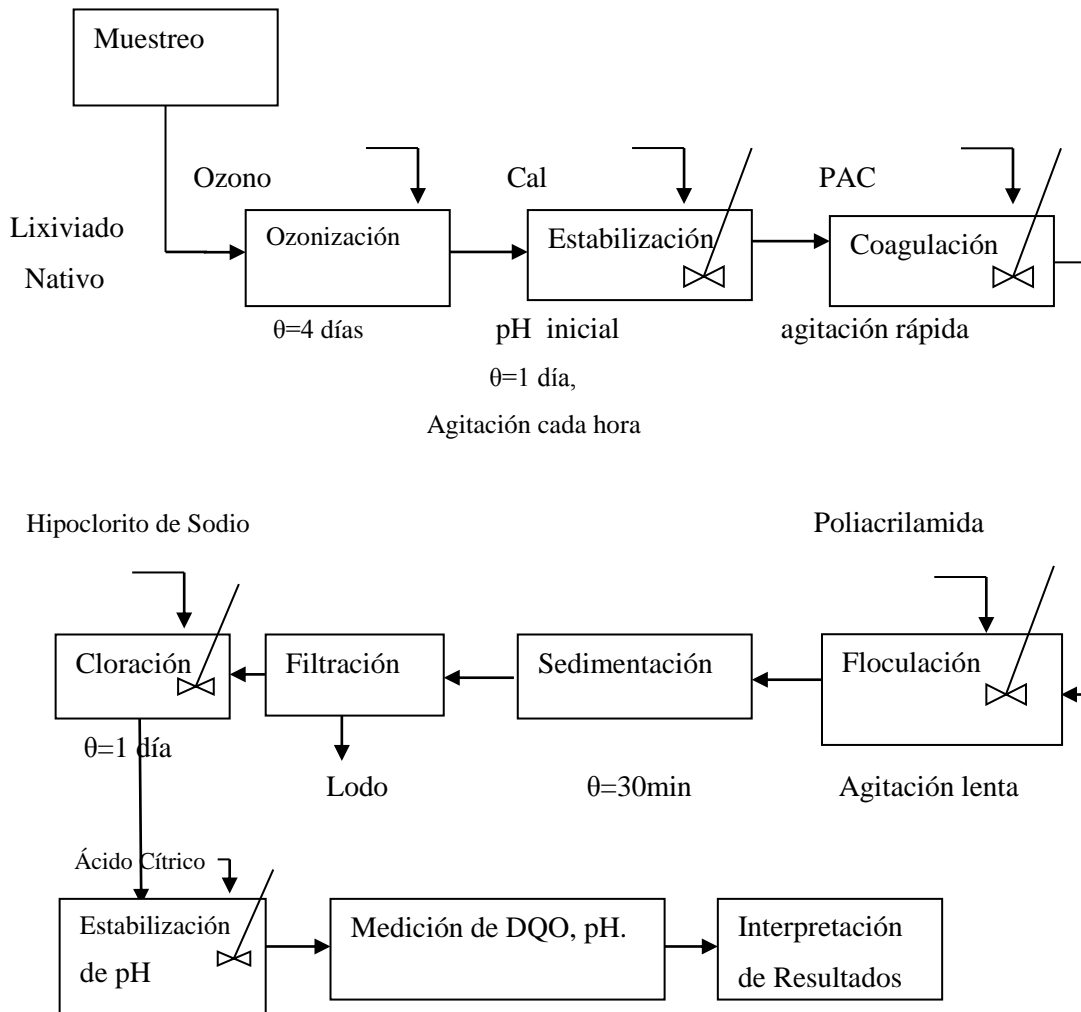
#### 3.2.1.1 Diseño Experimental del Tratamiento con Aireación- Coagulación- Floculación



**Figura 41. Diagrama de Flujo del Tratamiento con aireación-coagulación-floculación.**



### 3.2.2.2 Diseño Experimental del Tratamiento con Ozonización- Coagulación-Floculación.



**Figura 42. Diagrama de Flujo del Tratamiento con ozonización-coagulación-floculación.**

## 3.3 Procedimiento

### 3.3.1. Tratamiento con aireación -coagulación- floculación

- En un recipiente grande se coloca 25 litros de muestra de lixiviado Nativo.
- Se adaptan los equipos de burbujeo. Por ocho días.

- c. A las 24 horas tomar una muestra de 4100 mL, medir el pH y DQO, luego se deberá tomar muestras en los días dos, cuatro, seis y ocho.
- d. De las muestras de 4100 mL ir colocando 100 mL en vasos, en 36 vasos.
- e. Añadir Cal en las siguientes dosificaciones 0,3 g en 12 vasos, 0,6 g en 12 vasos y 1 g en doce vasos. Agitar y medir el pH.
- f. Cada hora agitar los vasos. Por un día. Al terminar este tiempo medir el pH antes de dosificar los siguientes químicos.
- g. A cuatro vasos de cada dosis de cal, colocar el coagulante PAC en las siguientes cantidades 300, 600, 1000 y 1500 ppm agitar 100 veces rápidamente, cada vaso. En total son 12 vasos.
- h. De estos doce primeros vasos escoger las 2 mejores dosificaciones.
- i. Reproducir cuatro vasos de cada mejor dosificación, y añadir a cada juego de cuatro vasos el floculante en las siguientes dosis 300, 600, 1000 y 1500 ppm, agitar 100 veces lentamente, cada vaso.
- j. Dejar sedimentar por 30 minutos.
- k. De estos ocho vasos escoger las tres mejores dosificaciones.
- l. Filtrar, usando un lecho. Para separar la parte líquida de los lodos de floculación y coagulación.
- b. Añadir 0,5 mL de Hipoclorito de sodio a cada vaso y agitar. Dejar en reposo por un día.
- a. Estabilizar el pH, añadiendo 0,05 g de ácido cítrico y agitar
- c. De estas tres muestras escoger las dos mejores en apariencia y olor. Analizar DQO y medir pH.
- a. Escoger la mejor dosificación de todas las pruebas y repetir el procedimiento con el equipo de prueba de jarras.
- b. A la mejor muestra en apariencia de todas las pruebas, reproducir el tratamiento con esta dosificación en tres litros de lixiviado, enviar a analizar de acuerdo a la Tabla 12. Anexo 1 Libro VI. TULAS, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

### **3.3.2 Tratamiento con Ozonización –Coagulación-Floculación.**

- a. En un recipiente grande se coloca 16 litros de muestra de lixiviado Nativo.
- b. Se adaptan el equipo de ozonización. Por cuatro días.
- c. A las 24 horas tomar una muestra de 4100 mL, medir el pH y DQO, luego se deberá tomar muestras en los días dos y cuatro.
- d. De las muestras de 4100 mL ir colocando 100mL en vasos, en 36 vasos.

- e. Añadir Cal en las siguientes dosificaciones 0,3 g en 12 vasos, 0,6 g en 12 vasos y 1 g en doce vasos. Agitar y medir el pH.
- f. Cada hora agitar los vasos. Por un día. Al terminar este tiempo medir el pH antes de dosificar los siguientes químicos.
- g. A cuatro vasos de cada dosis de cal, colocar el coagulante PAC en las siguientes cantidades 300, 600, 1000 y 1500 ppm agitar 100 veces rápidamente, cada vaso. En total son 12 vasos.
- h. De estos doce primeros vasos escoger las 2 mejores dosificaciones.
- i. Reproducir cuatro vasos de cada mejor dosificación, y añadir a cada juego de cuatro vasos el floculante en las siguientes dosis 300, 600, 1000 y 1500 ppm, agitar 100 veces lentamente, cada vaso.
- j. Dejar sedimentar por 30 minutos.
- k. De estos ocho vasos escoger las tres mejores dosificaciones.
- l. Filtrar, usando un lecho. Para separar la parte líquida de los lodos de floculación y coagulación.
- m. Añadir 0.5 mL de Hipoclorito de sodio a cada vaso y agitar. Dejar en reposo por un día.
  - a. Estabilizar el pH, añadiendo 0,05 g de ácido cítrico y agitar
  - b. De estas tres muestras escoger las dos mejores en apariencia y olor. Analizar DQO y medir pH.
  - c. Escoger la mejor dosificación de todas las pruebas y repetir el procedimiento con el equipo de prueba de jarras.
  - d. A la mejor muestra en apariencia de todas las pruebas, reproducir el tratamiento con esta dosificación en tres litros de lixiviado, enviar a analizar de acuerdo a la Tabla 12. Anexo 1 Libro VI. TULAS, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

### 3.4 Materiales y Sustancias

#### 3.4.1 Reactivos

- *Cal apagada*  $Ca(OH)_2$ : Se utilizó cal para el acondicionamiento del medio, específicamente como alcalinizante aunque también interviene en el proceso de remoción de sólidos en suspensión.
- *Policloruro de Aluminio (PAC)*: Se utilizó Policloruro de Aluminio, como agente coagulante, en la clarificación de los lixiviados.

- *Hipoclorito de Sodio (NaClO)*: Se utilizó como desinfectante para la parte final del tratamiento.
- *Ácido Cítrico (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>)*: El ácido cítrico fue utilizado para bajar el pH una vez que se ha clarificado el lixiviado.
- *Ozono (O<sub>3</sub>)*: El ozono utilizado fue generado mediante un ozonificador el cual genera un flujo de aproximadamente 2g /h.
- *Poliacrilamida (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>NO)<sub>n</sub>*: utilizada para producir el fenómeno de floculación en el proceso de clarificación.
- *Lixiviado Nativo*: lixiviado tomado de la cisterna uno localizada en el Relleno Sanitario de Lago Agrio.

**3.4.2 Materiales.** Para la metodología aplicada se usaron los siguientes materiales, los cuales son descritos a continuación:

- Equipos de oxígeno para pesceras.
- Equipo de Ozonización Q~ 2g/h P=70W
- Recipientes plásticos grandes
- Vasos plásticos transparentes de 7 onzas
- Paletas
- Equipo de Prueba de Jarras
- Lecho filtrante
- Colorímetro Lamotte
- Cintas para medición de pH.
- Balanza A=±0,0001g Cap. 500g

### 3.4.3 Sustancias

- Lixiviado Nativo generado en el Relleno Sanitario de Lago Agrio.
- Cal
- Poliacrilamida
- Policloruro de Aluminio
- Ácido Cítrico
- Hipoclorito de Sodio

### 3.5 Datos Experimentales

Se tomó una muestra de Lixiviado Nativo y se analizaron 20 parámetros de los cuales el pH y DQO son los que se tomará en cuenta para determinar el porcentaje de remoción de materia contaminante.

Se dividió la muestra en dos partes a la primera se le sometió a un proceso de aireación, coagulación - floculación. Y a la otra parte a un proceso de ozonización, coagulación-floculación.

#### 3.5.1 Parámetros Iniciales de la Muestra

**Tabla 23. Parámetros iniciales de la muestra (Ver anexo J)**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Potencial Hidrógeno	-	7,73
Sólidos Totales	mg/L	9340,07
Sólidos Totales suspendidos	mg/L	580,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	15,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	4720,5
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	746,67
Cloruros	mg/L	1054,74
Sulfatos	mg/L	54,30
Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	3,14
Cobre	mg/L	<0,20
Cromo hexavalente	mg/L	<0,05
Hierro total	mg/L	21,61
Mercurio	mg/L	<0,002
Cianuro libre	mg/L	0,80
Manganeso total	mg/L	2,60
Zinc	mg/L	0,37
Fenoles	mg/L	0,92
Aerobios mesófilos	Col/mL	160
Coliformes Totales	Col/100mL	1200
Coliformes fecales	Col/100mL	520

**3.5.2 Tratamiento con Aireación- Coagulación – Floculación.** Para el primer procedimiento que es la Aireación, Coagulación - Floculación, se toma 25 Litros de Lixiviado Nativo, y se le somete a aireación por 8 días tomando muestras el primero, segundo, cuarto, sexto y octavo día. Y de acuerdo a pruebas de jarras cada día se determina las tres mejores dosificaciones en apariencia, se mide el pH y DQO.

Terminada la experimentación se determina la mejor dosificación de todas las pruebas y se repite el procedimiento usando el equipo de jarras, y luego en tres litros de lixiviado aireado, para analizar si cumple con los parámetros expuestos en la Tabla 12. Libro IV. Anexo 1 del TULAS

**Tabla 24. Condiciones de aireación**

	Unidad	Valor
Volumen de muestra	L	25
Caudal de aire empleado	m <sup>3</sup> /h	0,15
Tiempo de duración	días	8

**Tabla 25. Valores de DQO para el primer día de Aireación**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrila mida,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final	DQO, mg/L
1	4000	0	7,64	0	0	0	7,64	1050
1.1	100	1	11,2	1500	600	5000	7,16	537
1.2	100	1	11,4	1500	1000	5000	6,15	437
1.3	100	1	11,2	1500	1500	5000	6,46	378

**Tabla 26. Valores de DQO para el segundo día de Aireación**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrila mida ,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final	DQO, mg/L
2	4000	0	7,54	0	0	0	7,54	857
2.1	100	1	11,5	1500	600	5000	6,59	467
2.2	100	1	10,8	1500	1000	5000	6,61	430
2.3	100	1	11,2	1500	1500	5000	7,71	365

**Tabla 27. Valores de DQO para el cuarto día de Aireación**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrila mida ,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final	DQO, mg/L
4	4000	0	7,55	0	0	0	7,55	789
4.1	100	1	10,9	1000	600	5000	6,59	457
4.2	100	1	11,3	1000	1000	5000	6,61	398
4.3	100	1	11,1	1000	1500	5000	6,71	330

**Tabla 28. Valores de DQO para el sexto día de Aireación**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacril amida ,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final	DQO, mg/L
6	4000	0	7,49	0	0	0	7,49	678
6.1	100	1	11,3	600	600	5000	6,89	329
6.2	100	1	11,3	600	1000	5000	6,78	289
6.3	100	1	11,1	600	1500	5000	7,1	267

**Tabla 29. Valores de DQO para el octavo día de Aireación**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacril amida, ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final	DQO, mg/L
8	4000	0	7,38	0	0	0	7,38	424
8.1	100	1	10,7	600	600	5000	7,1	158
8.2	100	1	10,8	600	1000	5000	6,89	67
8.3	100	1	11,1	600	1500	5000	6,78	54

**Tabla 30. Mejor dosificación equipo de prueba de jarras**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacri lamida ,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final
8.3	400	4	11,2	600	1500	5000	6,84

**Tabla 31. Mejor dosificación del Tratamiento de aireación, floculación y coagulación**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrilamida, ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final
8.3	3000	30	11,2	600	1500	5000	6,83

**Tabla 32. Parámetros mejor dosificación Método Aireación, Coagulación, Floculación.(Ver anexo K)**

Parámetros	Unidad	Valor	Límite máximo permisible
Potencial Hidrógeno	-	6,83	5-9
Sólidos Totales	mg/L	234,27	1600
Sólidos Totales suspendidos	mg/L	8,00	100
Sólidos Sedimentables	mg/L	< 0,5	1,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	36,26	250
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	11,59	100
Cloruros	mg/L	22,91	1000
Sulfatos	mg/L	7,26	1000
Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	1,58	10
Cobre	mg/L	< 0,20	1,0
Cromo hexavalente	mg/L	< 0,05	0,5
Hierro total	mg/L	< 0,20	10,0
Mercurio	mg/L	< 0,002	0,005
Cianuro libre	mg/L	< 0,010	**
Manganeso total	mg/L	< 0,10	2,0
Zinc	mg/L	< 0,01	5,0
Fenoles	mg/L	< 0,05	0,2
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0,23	**
Coliformes fecales	Col/100mL	< 2	< 3000



**3.5.3 Tratamiento con Ozonización - Coagulación – Floculación.** Para el segundo procedimiento que es la Ozonización, Coagulación - Floculación, se toma 16 Litros de Lixiviado Nativo, y se le somete a ozonización por 4 días tomando muestras el primero, segundo, y cuarto día. Y de acuerdo a pruebas de jarras cada día se determina las tres mejores dosificaciones en apariencia, se mide el pH y DQO.

Terminada la experimentación se determina la mejor dosificación de todas las pruebas y se repite el procedimiento usando el equipo de jarras, y luego en tres litros de lixiviado ozonificado, para analizar si cumple con los parámetros expuestos en la Tabla 12. Libro IV. Anexo 1 del TULAS.

**Tabla 33. Condiciones de Ozonización**

	Unidad	Valor
Volumen de muestra	L	16
Caudal de ozono empleado	g/h	2
Tiempo de duración	días	4

**Tabla 34. Valores de DQO para el primer día de Ozonización**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrilamida ,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final	DQO, mg/L
1	4000	0	7,74	0	0	0	7,74	936
1.1	100	1	9,78	1500	600	5000	7,30	675
1.2	100	1	9,89	1500	1000	5000	6,15	564
1.3	100	1	10,1	1500	1500	5000	6,45	423

**Tabla 35. Valores de DQO para el Segundo día de Ozonización**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrilamida, ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final	DQO, mg/L
2	4000	0	7,94	0	0	0	7,94	457
2.1	100	1	10,53	1000	600	5000	7	356
2.2	100	1	10,67	1000	1000	5000	6,78	298
2.3	100	1	10,63	1000	1500	5000	6,89	265

**Tabla 36. Valores de DQO para el Cuarto día de Ozonización**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrilamida ,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final	DQO, mg/L
4	4000	0	8,11	0	0	0	8,11	323
4.1	100	1	10,9	600	600	5000	6,96	245
4.2	100	1	11,3	600	1000	5000	6,89	189
4.3	100	1	11,1	600	1500	5000	6,01	85

**Tabla 37. Mejor dosificación equipo de Prueba de Jarras**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrilamida ,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final
4.3	400	4	11,2	600	1500	5000	6,84

**Tabla 38. Mejor dosificación equipo de Prueba de Jarras**

Nro.	Lixiviado Nativo, mL	Cal, g	pH, inicial	PAC ,ppm	Poliacrilamida ,ppm	Hipoclorito de Sodio, ppm	pH, final
4.3	3000	30	11,2	600	1500	5000	6,84

**Tabla 39. Parámetros mejor dosificación Método Ozonización, Coagulación, Floculación. (Ver anexo L)**

Parámetros	Unidad	Valor	Límite máximo permisible
Potencial Hidrógeno	-	6,84	5-9
Sólidos Totales	mg/L	349,02	1600
Sólidos Totales suspendidos	mg/L	< 2,00	100
Sólidos Sedimentables	mg/L	< 0,5	1,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	71,01	250
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	7,53	100
Cloruros	mg/L	53,92	1000
Sulfatos	mg/L	4,17	1000
Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	0,97	10
Cobre	mg/L	< 0,20	1,0

**Tabla39. (Continuación)**

Cromo hexavalente	mg/L	< 0,05	0,5
Hierro total	mg/L	< 0,20	10,0
Mercurio	mg/L	< 0,002	0,005
Cianuro libre	mg/L	< 0,010	**
Manganeso total	mg/L	< 0,10	2,0
Zinc	mg/L	< 0,01	5,0
Fenoles	mg/L	< 0,05	0,2
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1,06	**
Coliformes fecales	Col/100mL	< 2	< 3000

### 3.6 Datos Adicionales

#### 3.6.1 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en el TULAS

**Tabla 40. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en el TULAS**

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible
Cianuros	mg/L	0,1
Cloruros	mg/L	104,6
Cobre	mg/L	1
Cromo Hexavalente	mg/L	0,5
DBO5	mg/L	100
DQO	mg/L	250
Fenoles	mg/L	0,2
Fósforo total	mg/L	10
Hierro	mg/L	10
Manganeso	mg/L	2
Mercurio	mg/L	0,005
Nitrógeno total	mg/L	15
pH	Un pH	6-9
Sólidos sedimentables	mg/L	1
Sólidos Suspendidos	mg/L	100
Sólidos Totales	mg/L	1600
Sulfatos	mg/L	1000
Zinc	mg/L	5

**Fuente:** TULAS (2002) anexo 1 libro VI. Tabla 12. pp.41-44.

## 4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

### 4.1 Cálculos

#### 4.1.1 Cálculos realizados en el tratamiento con Aireación- coagulación-floculación.

##### 4.1.1.1 Cálculo del porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento con Aireación-coagulación-floculación.

$$\% \text{ reducción del DQO} = \frac{\text{DQO}_{\text{inicial}} - \text{DQO}_{\text{final}}}{\text{DQO}_{\text{inicial}}} * 100 \quad (14)$$

Cálculo tipo para el primer día de tratamiento con aireación, coagulación y floculación.

$$\% \text{ reducción del DQO} = \frac{4720,5 - 1050}{4720,5} * 100$$

$$\% \text{reducción del DQO} = 77,76$$

**Tabla 41. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Primer Día.**

Nro.	% reducción DQO
1	77,76
1.1	88,62
1.2	90,74
1.3	91,99

**Tabla 42. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Segundo Día.**

<b>Nro.</b>	<b>% reducción DQO</b>
2	81,85
2.1	90,11
2.2	90,89
2.3	92,27

**Tabla 43. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Cuarto Día.**

<b>Nro.</b>	<b>% reducción DQO</b>
4	83,29
4.1	90,32
4.2	91,57
4.3	93,01

**Tabla 44. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Sexto Día.**

<b>Nro.</b>	<b>% reducción DQO</b>
6	85,64
6.1	93,03
6.2	93,88
6.3	94,34

**Tabla 45. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Octavo Día.**

Nro.	% reducción DQO
8	91,02
8.1	96,65
8.2	98,58
8.3	98,86

**Tabla 46. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento aireación, coagulación y floculación. Mejor Dosificación muestra de 3000 mL.**

Nro.	% reducción DQO
8.3	99,23

#### 4.1.2 Cálculos realizados en el tratamiento con Ozonización- coagulación-floculación.

##### 4.1.2.1 Cálculo del porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento con Ozonización- coagulación-floculación.

$$\% \text{ reducción del DQO} = \frac{\text{DQO}_{\text{inicial}} - \text{DQO}_{\text{final}}}{\text{DQO}_{\text{inicial}}} * 100 \quad (15)$$

Cálculo tipo para el primer día de tratamiento con ozonización, coagulación y floculación.

$$\% \text{ reducción del DQO} = \frac{4720,5 - 936}{4720,5} * 100$$

$$\% \text{ reducción del DQO} = 80,17$$

**Tabla 47. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento ozonización, coagulación y floculación. Primer Día.**

<b>Nro.</b>	<b>% reducción DQO</b>
1	80,17
1.1	85,70
1.2	88,05
1.3	91,04

**Tabla 48. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento ozonización, coagulación y floculación. Segundo Día.**

<b>Nro.</b>	<b>% reducción DQO</b>
2	90,32
2.1	92,46
2.2	93,69
2.3	94,39

**Tabla 49. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento ozonización, coagulación y floculación. Cuarto Día.**

<b>Nro.</b>	<b>% reducción DQO</b>
4	93,16
4.1	94,81
4.2	96,00
4.3	98,20

**Tabla 50. Cálculo porcentaje de remoción del DQO en el tratamiento ozonización, coagulación y floculación. Mejor Dosificación muestra de 3000 mL.**

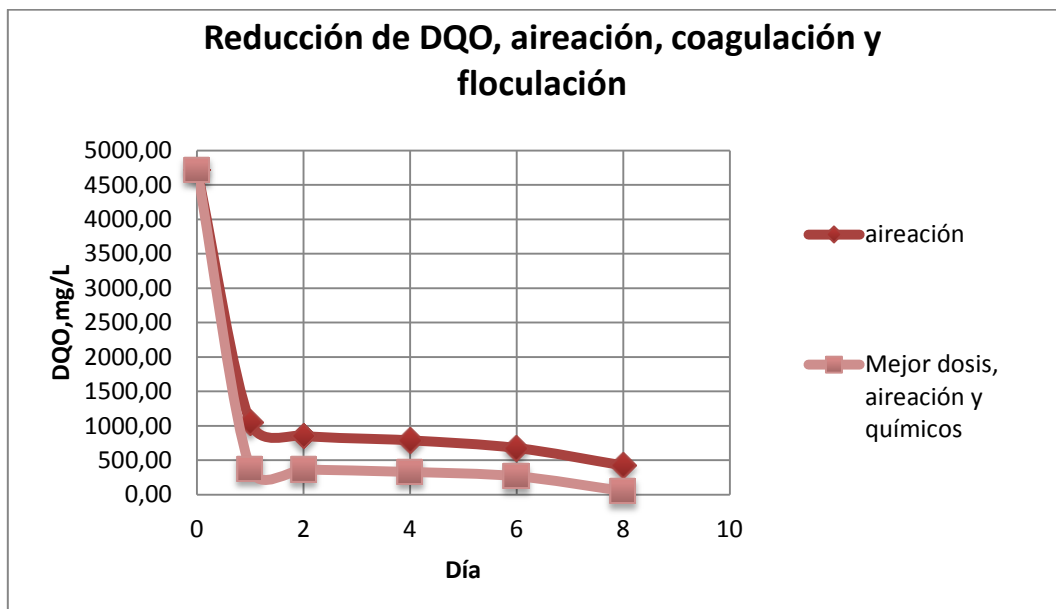
<b>Nro.</b>	<b>% reducción DQO</b>
4.3	98,50

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Resultados del Tratamiento con aireación, coagulación y floculación.

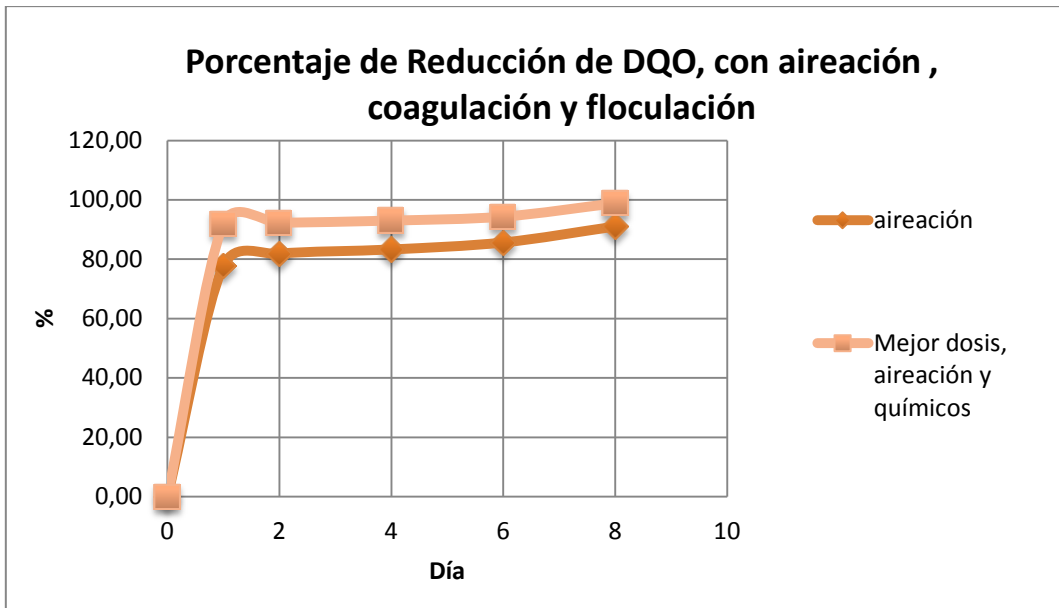
**Tabla 51. Reducción del DQO mediante la aplicación del tratamiento con aireación-coagulación-floculación.**

PAC, ppm	1500				1000				600	
Día	1		2		4		6		8	
Poliacrilamida, ppm	DQO, mg/L	% reducción DQO	DQO, mg/L	% reducción DQO	DQO, mg/L	% reducción DQO	DQO, mg/L	% reducción DQO	DQO, mg/L	% reducción DQO
0	1050	77,76	857	81,85	789	83,29	678	85,64	424	91,02
600	537	88,62	467	90,11	457	89,94	329	93,03	158	96,65
1000	437	90,74	430	90,89	398	91,57	289	93,88	67	98,58
1500	378	91,99	365	92,27	330	93,01	267	94,34	54	98,86

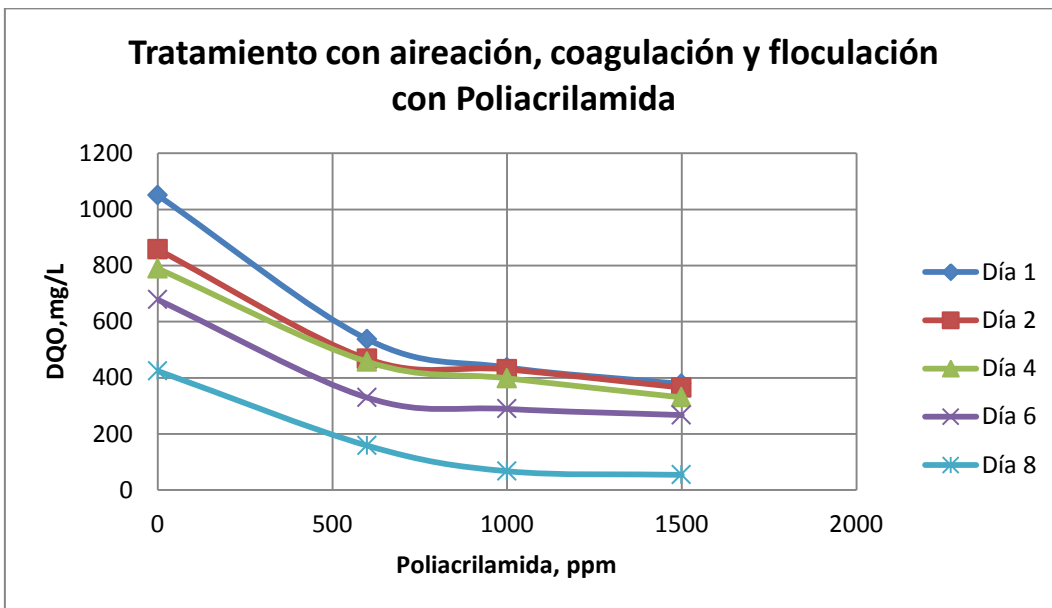


**Figura 43. Reducción de DQO, con aireación, coagulación- floculación**

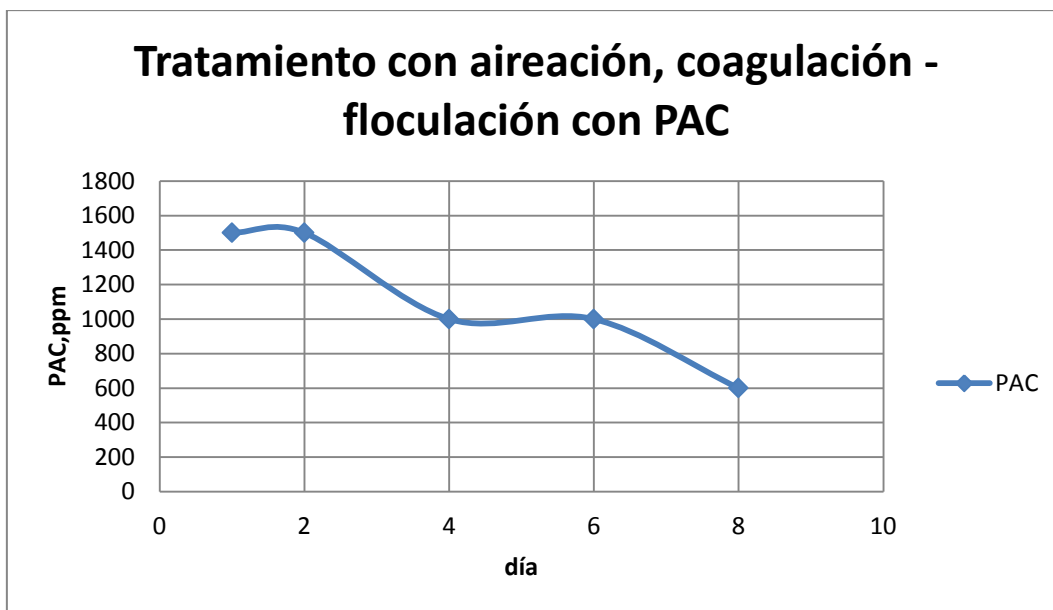




**Figura 44. Porcentaje de reducción de DQO, con aireación, coagulación- floculación**



**Figura 45. Tratamiento con aireación, coagulación- floculación con Poliacrilamida**

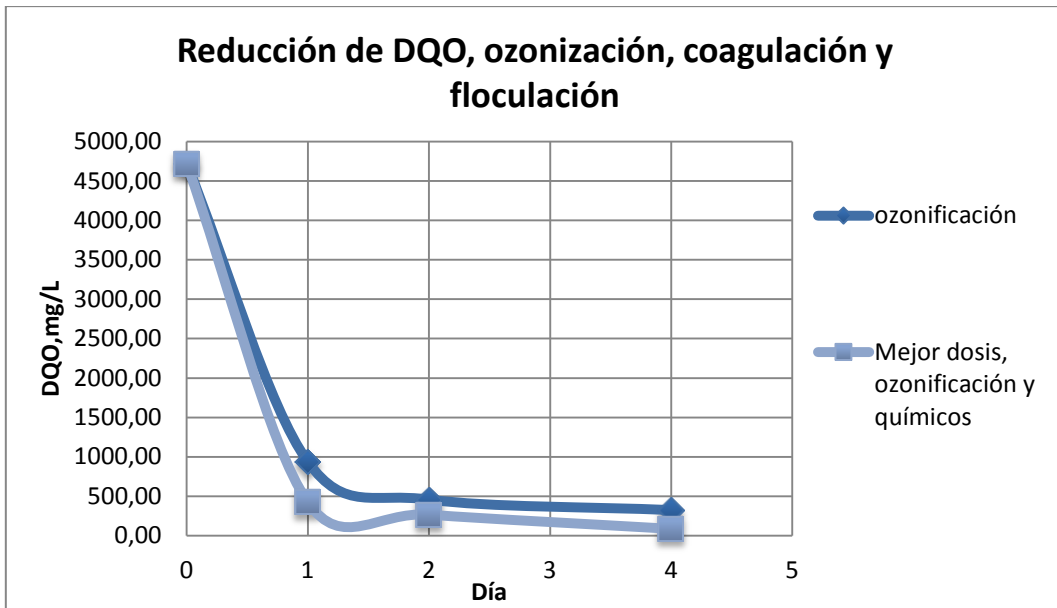


**Figura 46. Tratamiento con aireación, coagulación- floculación con PAC**

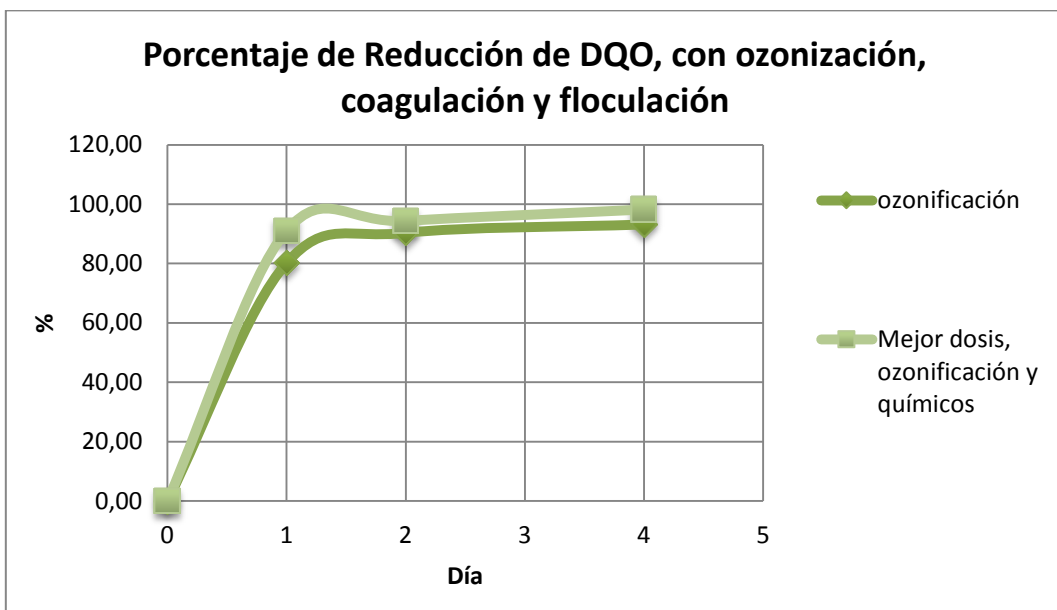
#### 4.2.2 Resultados del Tratamiento con ozonización, coagulación y floculación.

**Tabla 52. Reducción del DQO mediante la aplicación del tratamiento con ozonización-coagulación-floculación.**

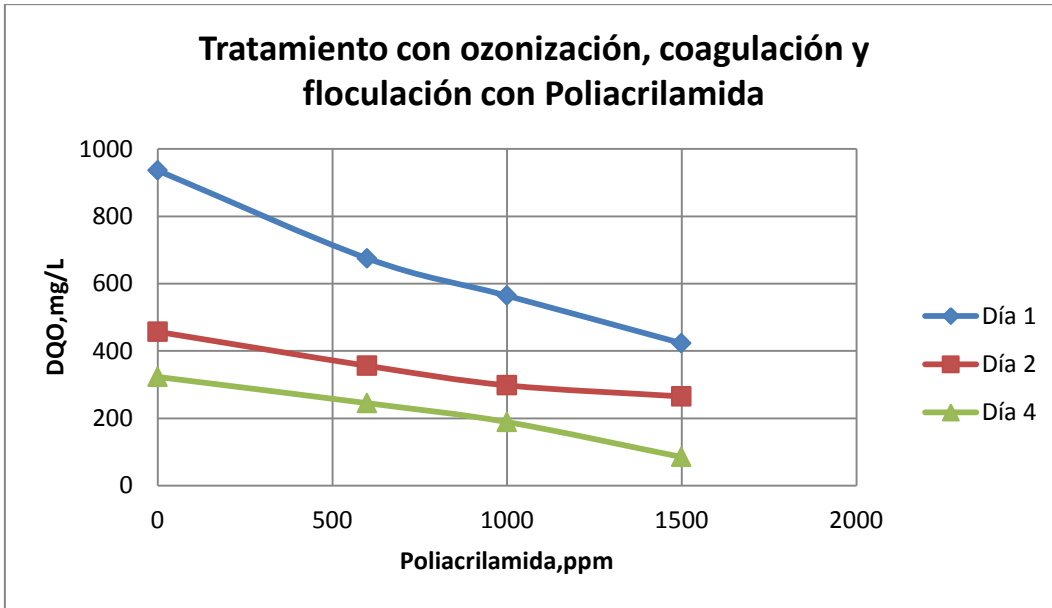
PAC ,ppm	1500		1000		600	
	1		2		4	
Día	1		2		4	
Poliacrilamida ,ppm	DQO,mg/L	% reducción DQO	DQO,mg/L	% reducción DQO	DQO,mg/L	% reducción DQO
0	936	80,17	457	90,32	323	93,16
600	675	85,70	356	92,46	245	94,81
1000	564	88,05	298	93,69	189	96,00
1500	423	91,04	265	94,39	85	98,20



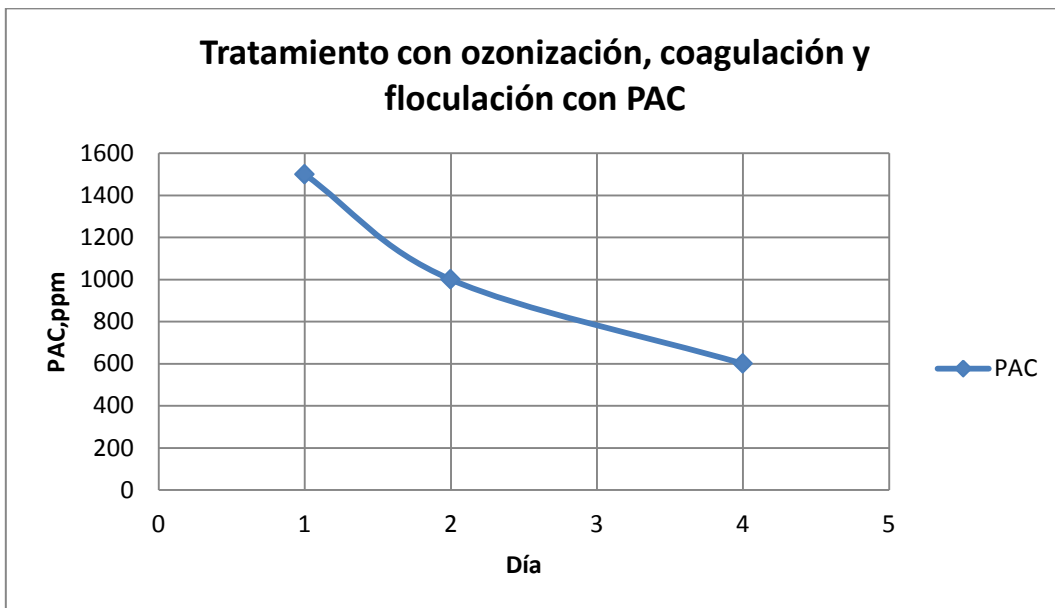
**Figura 47. Reducción de DQO, con ozonización, coagulación- floculación**



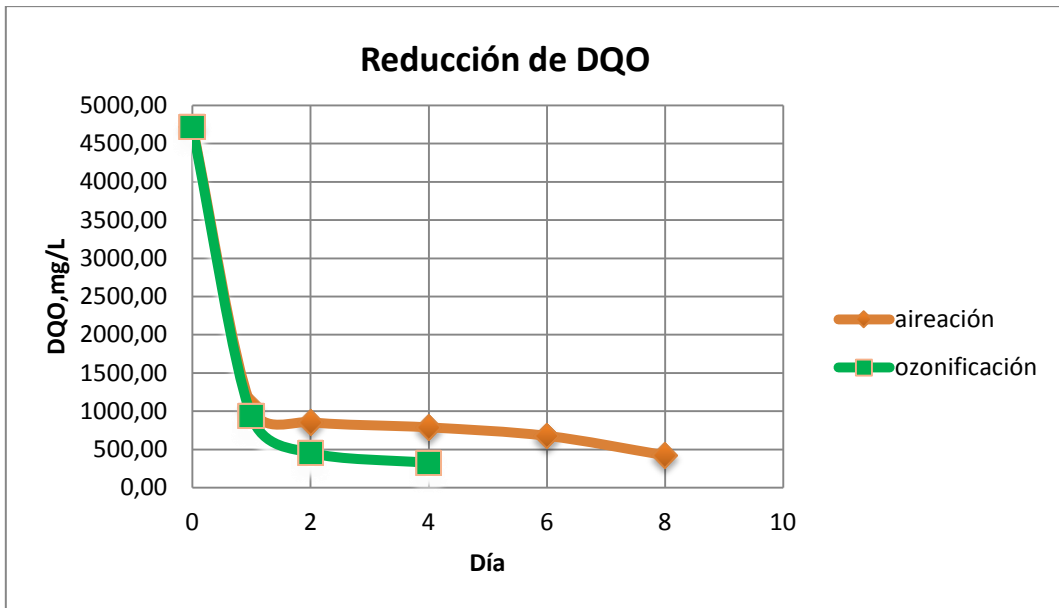
**Figura 48. Porcentaje de reducción de DQO, con ozonización, coagulación- floculación**



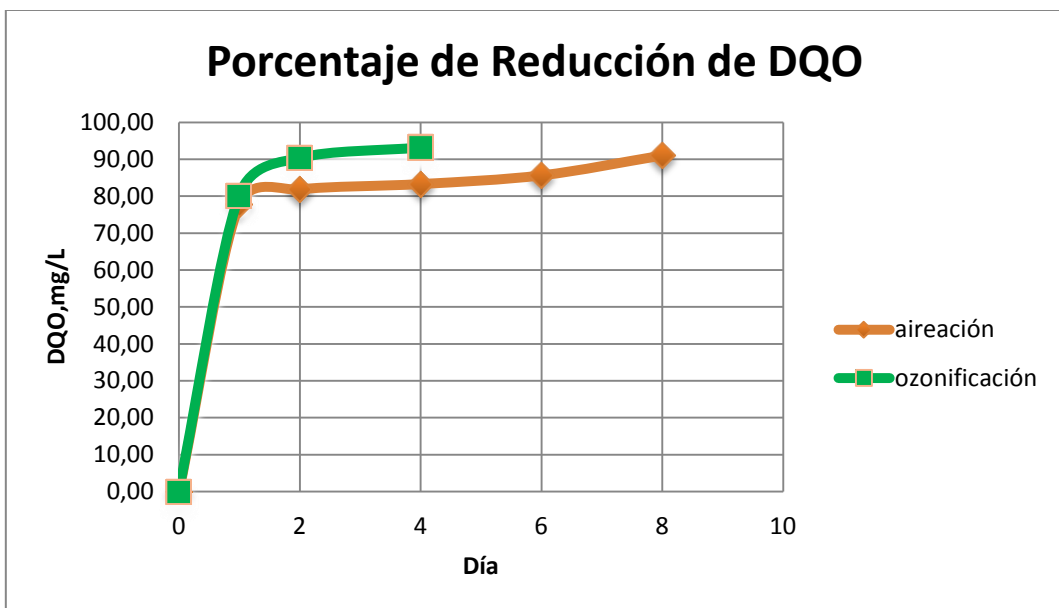
**Figura 49. Tratamiento con Poliacrilamida en ozonización, coagulación- floculación**



**Figura 50. Tratamiento con PAC en ozonización, coagulación- floculación**



**Figura 51.** Comparación entre el tratamiento con aireación y con ozonización en la reducción de DQO.



**Figura 52.** Comparación entre el tratamiento con aireación y con ozonización en el porcentaje de reducción de DQO.

**4.2.3 Resultados de análisis de diferentes lixiviados nativos, generados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio.**

**Tabla 53. Comparativa entre los principales parámetros de muestras de lixiviado nativo y límites permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce.**

Lixiviado Nativo	PARÁMETRO				
	Fecha de Muestreo	pH	DBO <sub>5</sub> , mg/L	DQO, mg/L	Sólidos Totales, mg/L
ago-09	6,75	45,20	124,40	1274,00	1,00
sep-11	6,76	4125,00	15377,00	14924,00	-
sep-12	7,73	746,67	4720,50	9340,07	15,00
TULAS	5 a 9	100,00	250,00	1600,00	100,00

**4.3 Propuesta de tratamiento a Gran Escala**

Según el presente trabajo se plantea un tratamiento a nivel industrial que se basa en el método experimental de aireación, coagulación-floculación para el tratamiento de Lixiviados Generados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio,

A continuación se describe el proceso:

Se considera una capacidad instalada inicial de 200 m<sup>3</sup>/mes, que se generaran en las nueve celdas para residuos sólidos, de las que constará el relleno Sanitario de Lago Agrio, esta producción máxima está indicada en el estudio de impacto ambiental realizado por NATURA INC.

Pero por encontrarse en un lugar con una gran precipitación, se toma un factor de seguridad igual a tres, lo que permite tener una Capacidad instalada de Diseño de 600 m<sup>3</sup>/mes.

Primero se deberá Instalar dos Tanques de Almacenamiento para el lixiviado nativo, aquí se homogenizaran los lixiviado, para luego ser bombeados a un Tanque de aireación, donde se inyectará aire por ocho días, por la gran cantidad de tiempo que se requiere para la aireación es necesario tener dos tanques. Una vez aireado el lixiviado, es enviado a los Tanques de

Estabilización, Coagulación- Floculación, que posee un agitador mecánico, en donde se dosifica Cal para subir el pH, se deja 24 horas con agitación intermitente para que se realice la reacción entre la cal y el lixiviado, luego se procede a coagular con PAC (agitación rápida) y Floculación con Poliacrilamida( agitación Lenta). Se deja en reposo por 6 horas, y se bombea a un sedimentador dinámico para la total eliminación de las partículas en suspensión.

Una vez que ha pasado por al sedimentador el lixiviado tratado es bombeado pero en la línea de bombeo de carga se dosifica ácido Cítrico e Hipoclorito de Sodio antes de que llegue a los Tanques de Almacenamiento donde se tendrá 24 h de tiempo de residencia, para que se realice una buena desinfección. En este proceso de tratamiento se depende de la cantidad de lixiviado generado en el relleno Sanitario, y luego se trabaja con dos tanques en desfase para cada operación por los grandes tiempos de residencia.

A continuación se muestra un cuadro con las variables de diseño consideradas para plantear en proceso:

**Tabla 54. Variables de Diseño para el tratamiento a gran escala propuesto**

VARIABLES DE DISEÑO	VALOR	UNIDAD
Capacidad instalada inicial	200	m <sup>3</sup> /mes
Factor de seguridad	3	
Capacidad instalada de diseño	600	m <sup>3</sup> /mes
# Turnos	2	
Tiempo de cada turno	8	
Producto	LIXIVIADO TRATADO	
Estado	LIQUIDO	
Días por mes de trabajo	20	Días
Capacidad diaria	30	m <sup>3</sup> /día
Capacidad horaria	1875	L/h
# De tanques de almacenamiento	2	
Volumen de cada tanque de almacenamiento	30000	L
Tiempo de espera para procesamiento	24	h
# De turnos para procesamiento	1	
Tiempo de cada turno para procesamiento	4	h
Capacidad de procesamiento	7500	L / h
Tiempo de mezclado (residencia)	2	min
Tiempo de descarga de los tanques de Almacenamiento	4	h
Volumen de los tanques de aireación	240	m <sup>3</sup>

**Tabla 54. (Continuación)**

Factor de aireación	1,152	m <sup>3</sup> de aire /L lixiviado
Consumo de aire	8640	m <sup>3</sup> /h
Caudal de carga a tanques de aireación	7500	L/h
# De tanques de almacenamiento	2	
Tiempo de aireación	8	días
Tiempo de carga de los Tanques de aireación	32	h
Volumen tanque de Estabilización y Coagulación- Floculación	45000	L
Tiempo de reacción con cal estabilización de pH(bombeo)	24	h
Tiempo de descarga Tanque de Estabilización y Coagulación- Floculación	6	h
Volumen tanque de Almacenamiento Lixiviado Tratado	30000	L
Tiempo de reacción con Hipoclorito de Sodio.	24	h



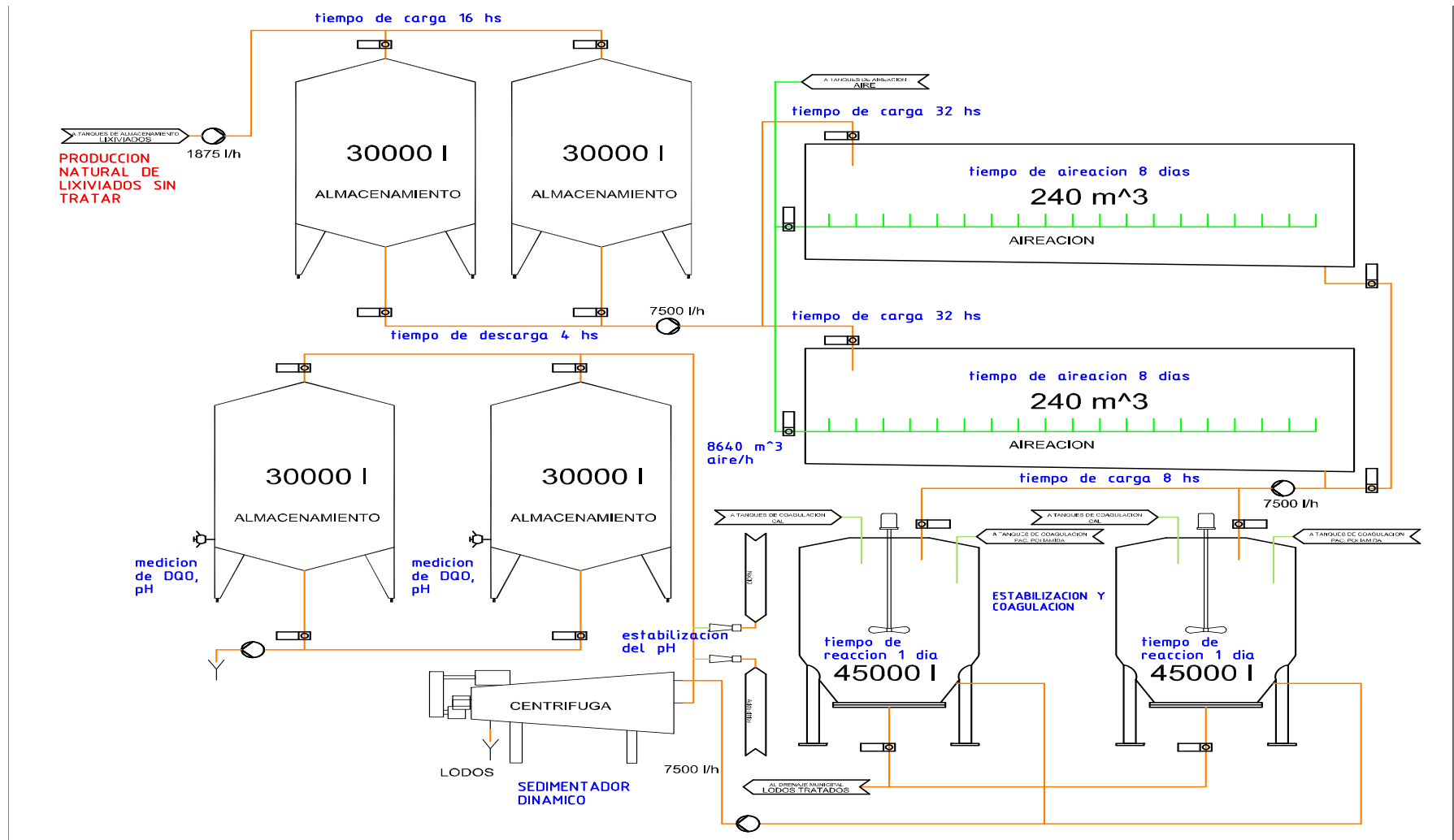


Figura 43. Diagrama de Flujo tratamiento a gran escala propuesto

## 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- El lixiviado generado en el Relleno Sanitario de Lago Agrio, ha variado de acuerdo al tiempo de funcionamiento que tiene este Relleno de donde tenemos que al comparar los parámetros de los Lixiviados de: agosto 2009, septiembre 2011 y septiembre 2012. Ha habido grandes cambios en cuanto a la materia orgánica presente.

Como se puede observar en la Tabla 53. El lixiviado de hace tres años cumple con todos los parámetros de descarga a un cuerpo de agua dulce. No así las otras dos muestras de las cuales la de septiembre del 2011 tiene la máxima carga contaminante la cual se reduce significativamente para este año.

En cuanto al pH se observa que ha aumentado ya que el Relleno ha cambiado sus características y ha pasado de ser un Relleno Intermedio a ser estable, como se indica en la bibliografía consultada.

- Los lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio, presentan parámetros cambiantes en las diferentes épocas del año, y esto se debe principalmente a la precipitación que hay en la zona, por lo que se tomaron las muestras en el mes de septiembre porque en este mes existe un nivel de precipitación promedio de todo el año.
- Para decidir el tipo de tratamiento que se debe aplicar al lixiviado generado en el Relleno Sanitario de Lago Agrio, fue necesario determinar la relación  $DBO_5/DQO$  de la muestra inicial, ya que dicha relación según la bibliografía recomendada para el tratamiento de lixiviados, se tiene que, el valor de la relación  $DBO_5/DQO$  es de 0 a 0,3 es recomendable hacer un tratamiento fisicoquímico, porque cuando se trabaja con lixiviados estabilizados (poco biodegradables), los procesos biológicos pueden no lograr alcanzar las reducciones necesarias de  $DQO$  debido al carácter recalcitrante de los compuestos orgánicos presentes en este tipo de efluentes. La actividad biológica también puede ser inhibida por algunos compuestos de carácter tóxico. Cuando el valor es de 0,31 a 1 es conveniente utilizar un tratamiento biológico.

$$relación = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$relación = \frac{746,67}{4720,5}$$

$$relación = 0,16$$

- La relación anterior indica que se debe emplear un tratamiento fisicoquímico por lo que se aplicó coagulación con Policloruro de Aluminio y floculación con Poliacrilamida, a diferentes concentraciones como se indica en las Tablas 51 y 52. Estos son los productos químicos de SAMBIES usados para el tratamiento de aguas residuales, estos fueron evaluados en los métodos experimentales propuestos.
- La relación  $DBO_5/DQO$  también determina la cantidad de materia orgánica biodegradable presente. La muestra inicial de agua tiene el 16% de materia orgánica que se puede degradar, por lo que se aplica la aireación por ocho días y ozonización por cuatro días, indistintamente para facilitar el proceso de remoción de la materia orgánica, seguida de coagulación - floculación con PAC y Poliacrilamida.
- Por la gran cantidad de materia orgánica y la necesidad de desinfección de estas aguas, como último paso, se aplica Hipoclorito de Sodio, en una dosis de 5000 ppm, que fue una dosis establecida de acuerdo a pruebas usando ortotolidina para determinar el cloro libre, dejando en reposo la muestra de agua tratada por un día, siendo la Cantidad de Cloro residual igual a cero en todas las muestras. Y de esta manera se evita la formación de Trihalometanos por el exceso de Cloro.
- El método usado para la determinación de la mejor dosis de PAC y Poliacrilamida, se lo hace simulando en vasos plásticos lo que sucede en el equipo de prueba de jarras. Al repetir el procedimiento usando el equipo de prueba de jarras se observa que la variación en cuanto a los parámetros analizados es mínima. Además que se vuelve a determinar que la mejor dosificación es para el PAC de 600 ppm y para la Poliacrilamida de 1500 ppm, tanto para aireación- coagulación - floculación y para ozonización- coagulación- floculación.

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1 Conclusiones Generales

- El Relleno Sanitario de Lago Agrio, no cumple con la normativa ambiental vigente en muchos aspectos, entre ellos se tiene que las celdas para residuos sólidos no están completamente impermeabilizadas, existe una gran cantidad de vectores y aves de carroñeros, además la red de captación de lixiviados no es buena existiendo una gran fuga de los mismos.
- Un aspecto muy importante es que existe una gran generación de lixiviados que se disponen al medio ambiente en el estado en el que se encuentran. Creando así serios problemas de contaminación a las comunidades vecinas, la muerte de la flora y fauna existente en los esteros cercanos.  
Los principales beneficiarios del presente estudio son los habitantes de la comunidad de Puerto Rico, que mediante la gestión del Gobierno Autónomo Descentralizado de Lago Agrio este será quien pueda comenzar a tratar los lixiviados y de esta manera evitar la contaminación que estos generan en todos los aspectos, además evadirá multas impuestas por el Ministerio de Ambiente de Sucumbíos.
- De acuerdo con los objetivos propuestos, se cumplieron, ya que se encontró dos métodos eficientes para el tratamiento de los lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio.
- Se determinaron parámetros importantes como DQO y pH, con los que a través de mediciones, fueron los que nos dieron la pauta de que los métodos planteados en el laboratorio son los apropiados para el tratamiento de este tipo de lixiviados.

## 6.2 Conclusiones sobre la Experimentación.

- La mejor alternativa de acuerdo a los métodos de experimentación utilizados en el presente trabajo, para el tratamiento de los lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio es con aireación - coagulación- floculación, como último paso cloración con Hipoclorito de Sodio. Ya que permite reducir hasta 99,23% la materia orgánica presente, alcanzando un DQO de 36,26 mg/L . El pH, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales, Nitrógeno Amoniacal, entre otros parámetros se encuentran dentro del rango establecido en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria para la descarga a un cuerpo de agua dulce.
- El lixiviado tratado mediante la aplicación de ozonización -coagulación-floculación, se obtiene un porcentaje de reducción del 98,50 %, alcanzando un DQO de 71,01 mg/L. El pH, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales, Nitrógeno Amoniacal, y demás parámetros se encuentran dentro del rango establecido en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria para la descarga a un cuerpo de agua dulce. Este método baja a la mitad el tiempo de tratamiento.
- En los dos métodos de tratamiento planteados las mejores dosis de PAC es 600 ppm y de Poliacrilamida es de 1500 ppm. La cantidad de PAC que se necesita se reduce con el paso de los días al contrario de lo que sucede con el Poliacrilamida que la cantidad de químico necesaria aumenta con el paso de los días.
- El lixiviado tratado tanto por aireación-coagulación-floculación como por ozonización-coagulación-floculación, cumple con lo establecido en el TULAS para la descarga a un cuerpo de agua dulce, por lo que no fue necesario la aplicación de microorganismos externos que permitan la remoción de materia orgánica.

## 7. RECOMENDACIONES

- Para la ciudad de Lago Agrio se vuelve una prioridad, que se acabe de construir las nuevas celdas para una buena disposición de sus residuos sólidos.
- El Municipio de Lago Agrio, tiene que emprender campañas de concientización, sobre el Manejo Integral de los Residuos Sólidos, haciendo énfasis en prácticas de reciclaje y reutilización, con el objetivo de proteger los recursos naturales, de acuerdo al principio del Desarrollo Sustentable.
- A nivel de Dirección de Ambiente del Municipio de Lago Agrio se debe analizar nuevas rutas de recolección de los residuos sólidos, para suministrar este servicio, a más pobladores, con el fin de evitar que las personas que no tienen esta asistencia, no implementen botaderos a cielo abierto, que pueden contaminar los recursos naturales.
- Que se cumplan con todos los aspectos y las buenas prácticas sugeridas en el Plan de Manejo Ambiental, esto disminuirá en gran manera los impactos ambientales creados.
- El sistema de captación de lixiviados debe ser mejorado y rediseñado ya que en los Domos uno y dos se observa una gran cantidad de fugas de lixiviados.
- Evitar que la basura permanezca expuesta, ya que esto atrae a las aves carroñeras, constituyéndose en focos de transmisión de enfermedades para los trabajadores.
- La colocación de la red de Agua Potable y Alcantarillado, ya que esto se vuelve indispensable para el personal que labora en el Relleno.
- Los métodos planteados en el presente trabajo para el Tratamiento de Lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio, originan lodos de coagulación-floculación, debiendo existir un sistema de encapsulamiento y disposición final. Ya que estos poseen un alto contenido de contaminantes. Estos se pueden entregar a un gestor Ambiental calificado.

- Se determina la necesidad de realizar más estudios para el diseño y dimensionamiento de una Planta de Tratamiento de Lixiviados en el Relleno Sanitario de Lago Agrio.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALEMÁN, M Manejo Integral de Residuos Sólidos para la Ciudad d San Miguel de los Bancos. Tesis, Universidad Central del Ecuador. Quito. 2003. p. 5
- [2] IBID [1] p. 23
- [3] IBID [1] p. 24
- [4] IBID [1] p. 24
- [5] IBID [1] p. 26
- [6] IBID [1] p. 29
- [7] IBID [1] p. 30
- [8] IBID [1] p.54
- [9] IBID [1] p. 60
- [10] IBID [1] p. 61
- [11] IBID [1] p. 61
- [12] FUERTES Héctor. Diseño de la Planta de tratamiento de Lixiviado, para el Relleno Sanitario de la Ciudad de Ibarra. Trabajo de Grado. Ingeniero Ambiental. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Ambiental. Quito. 2008. p.71
- [13] IBID [12] p. 80
- [14] IBID [12] p. 82



- [15] ROJAS Sara. Diseño de un Relleno Sustentable para pequeñas Comunidades- Estudio de caso cantón Loreto Provincia de Orellana. Trabajo de Grado. Ingeniera Ambiental. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Ambiental. Quito. 2007. p. 150
- [16] IBID [15] p. 151
- [17] IBID [15]. p. 151
- [18] ARIAS, Rocío y BENAVIDES Verónica. Gestión de Residuos Sólidos en los Campos: Tierra Colorado, Yuca y Cononaco. Trabajo de Grado. Ingenieras Ambientales .Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Ambiental. Quito.2003. p. 89
- [19] IBID [18]. p.91
- [20] IBID [18]. p.92
- [21] IBID [18]. p.105
- [22] GIRALDO E., Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos, 1997. p. 49
- [23] IBID [22]pp. 47 - 48
- [24] IBID [22] p. 48
- [25] IBID [22] p. 48
- [26] IBID [22] p. 50
- [27] IBID [22]pp. 50 - 51
- [28] IBID [22] p. 51
- [29] IBID [22] p. 51

- [30] GAVILANES Cristina, Tratamiento del Agua Residual de la Empresa Extractora de Aceite de Palmiste, AEXAV. Trabajo de Grado. Ingeniera Química. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. Quito. 2010. p. 12
- [31] IBID [30] p. 13
- [32] IBID [30] p. 15
- [33] GARZON Guillermo. Fundamento de Química General. Carvajal SA. Cali Colombia.1990. p. 32
- [34] TCHOBANOGLIUS George, Gestión Integral de los Residuos Sólidos., Mc Graw-Hill, Inc. E.E.U.U. 1994. p.20
- [35] Guía para la Selección y Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos. Ministerio de Ambiente de Colombia. p. 45
- [36] DURÁN DE LA FUENTE, H, Políticas para la Gestión Ambientalmente Adecuada de los Residuos. El caso de los residuos sólidos urbanos e Industriales en Chile a la luz de la Experiencia Internacional. 11 de agosto de 1994. p. 73
- [37] AGUILAR Soraya. Gestión Integrada de Residuos Sólidos Urbanos en el sector d Calderón. Trabajo de Grado. Ingeniera Ambiental. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Ambiental. Quito 2005. p.35
- [38] IBID [37] p. 35
- [39] En la Región Metropolitana se ha implementado algunas experiencias que fomentaban la participación y compromiso ciudadano. Entre otras la de la comuna de la Reina y el Programa Regional de Reciclaje impulsado por la intendencia Regional.
- [40] ROBEN Eva, Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. p. 67
- [41] IBID [14]. p. 54
- [42] IBID [34]. p. 43

- [43] Sistemas de Recolección del Gobierno de Nicaragua.
- [44] KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental Vol. II; Mc Graw-Hill. Madrid España.1999. p.89.
- [45] Constitución de la República del Ecuador Título I. De los Principios Fundamentales Art.3. Literal 3.
- [46] Constitución de la República del Ecuador Título III. Capítulos 2, 1 De los Derechos Civiles.Art23 Literales 6,7 y 20.
- [47] Constitución de la República del Ecuador Título III. Capítulos 5. De los derechos Colectivos. Sección Primera de los Pueblos Indígenas y Negros afroecuatorianos. Art. 84 literales 5 y 6.
- [48] Constitución de la República del Ecuador Título III. Sección segunda. Del Medio Ambiente Art. 86, 87, 88 y del 89 literales 1 y 2.
- [49] Ley de Gestión Ambiental. Título I. ámbito y principios de la Ley. Art. 1, Art. 2 y Art. 6 y 9.
- [50] Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre Título II. Áreas Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, Art 76, 78.
- [51] Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. 2002. Art 1 , Art 2, 3.
- [52] IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio 2010. Capítulo 2. p.25.
- [53] IBID [52] Capítulo 2. p. 27
- [54] IBID [52] Capítulo 2. p. 29
- [55] IBID [52] Capítulo 2. p. 35
- [56] IBID [52] Capítulo 2. pp. 40- 41

[57] IBID [52] Capítulo 2. p. 43

[58] IBID [52] Capítulo 2. pp. 36 - 37

[59] IBID [52] Capítulo 6. p. 6

[60] IBID [52] Capítulo 6. p. 6

[61] IBID [52] Capítulo 6. p. 7

[62] IBID [52] Capítulo 6. p. 8

[63] IBID [52] Capítulo 6. p. 8

[64] IBID [52] Capítulo 5. p. 8

[65] IBID [52] Capítulo 6. p. 9

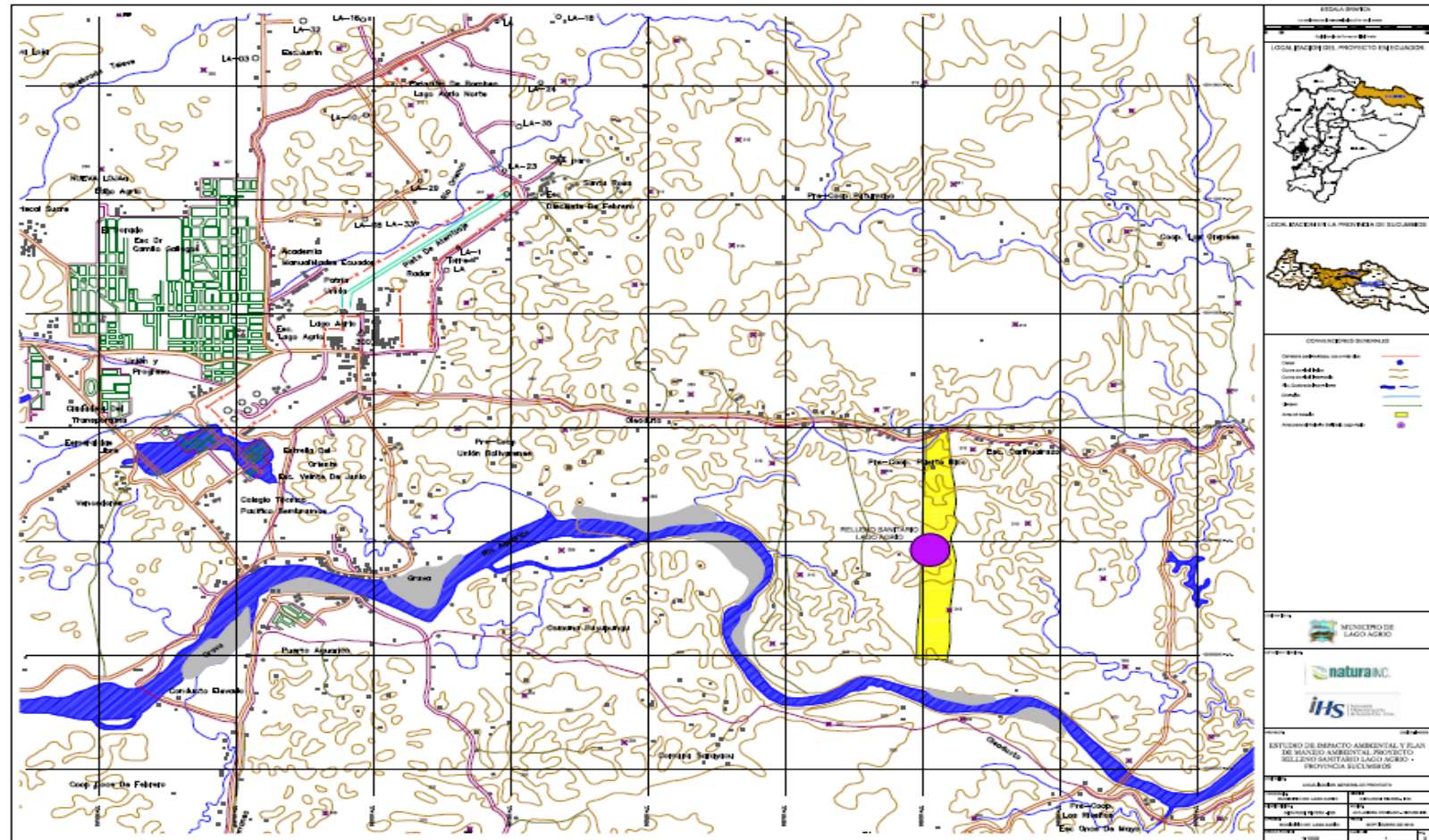
[66] IBID [52] Capítulo 6. p. 9

## BIBLIOGRAFÍA

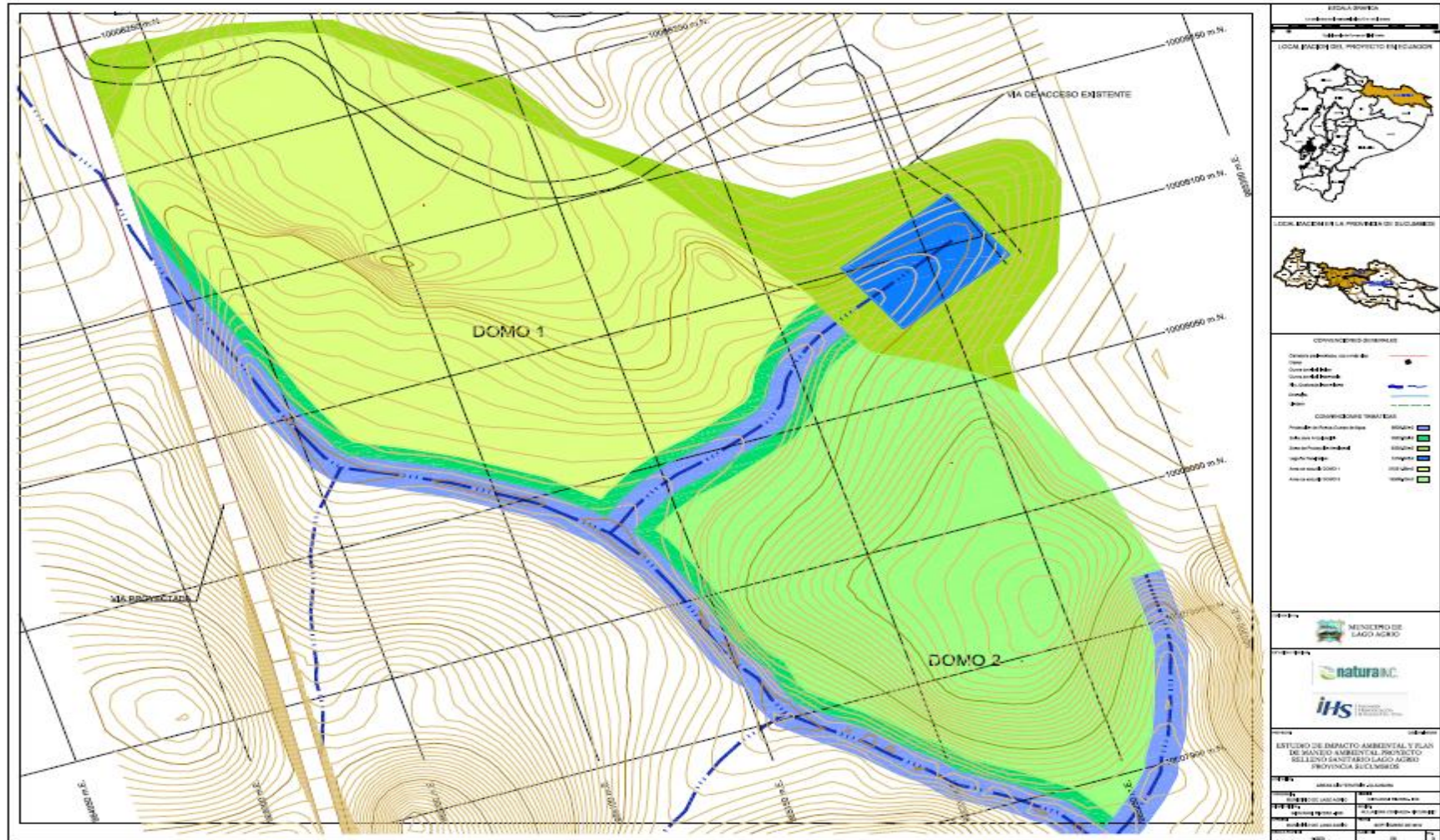
- DURÁN DE LA FUENTE, H, Políticas para la Gestión Ambientalmente Adecuada de los Residuos. El caso de los residuos sólidos urbanos e Industriales en Chile a la luz de la Experiencia Internacional. 11 de agosto de 1994.
- KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental Vol. II; Mc Graw-Hill. Madrid España.1999
- Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. RELLENOS SANITARIOS Guía Ambiental. Santafé de Bogotá- Colombia 2002.
- Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. Guía Ambiental. Colombia. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio del Ambiente. Santafé de Bogotá -Colombia 2002.
- IHS, NATURA INC, Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio 2010.
- Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Industria de Artes Gráficas. Quito-Ecuador.1993.
- OPAZO, Mario. Manual para el Tratamiento Integral de basuras: Producción de abono orgánico (compost) a partir de Desechos sólidos domésticos. Fondo Rotatorio Editorial. Bogotá – Colombia. 1991.
- R.S. RAMALHO. "Tratamiento de las Aguas Residuales. Ed. Reverte, Barcelona, 1990.
- ROMERO Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá-Colombia 1999.
- TCHOBANOGLOUS, George. Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen I y II. McGRAW – HILL. México. 1998.

# **ANEXOS**

## ANEXO A. Localización general del proyecto, del relleno Sanitario de Lago Agrio.

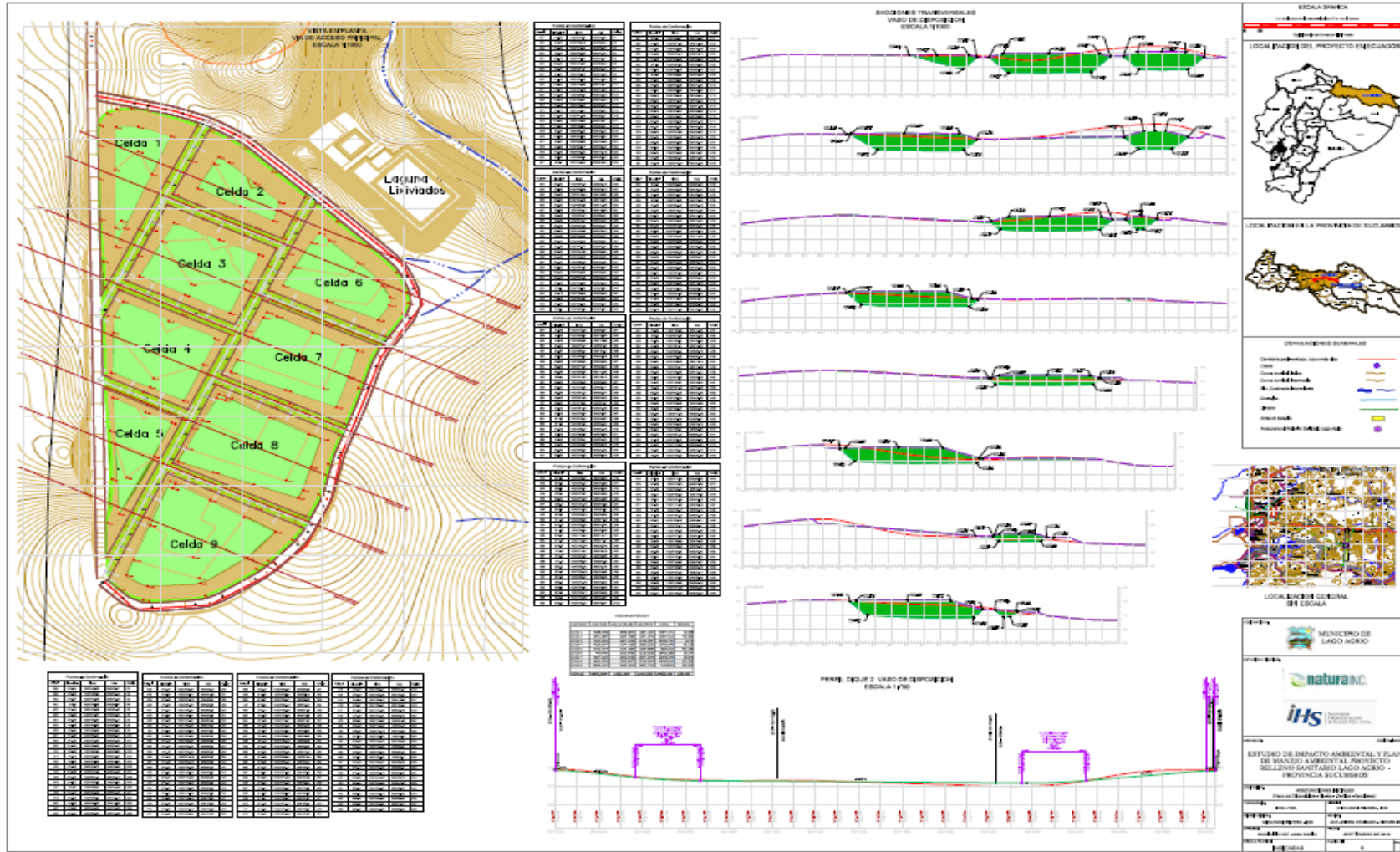


**ANEXO B. Diseño de los Domos uno y dos, del Relleno Sanitario de Lago Agrio.**

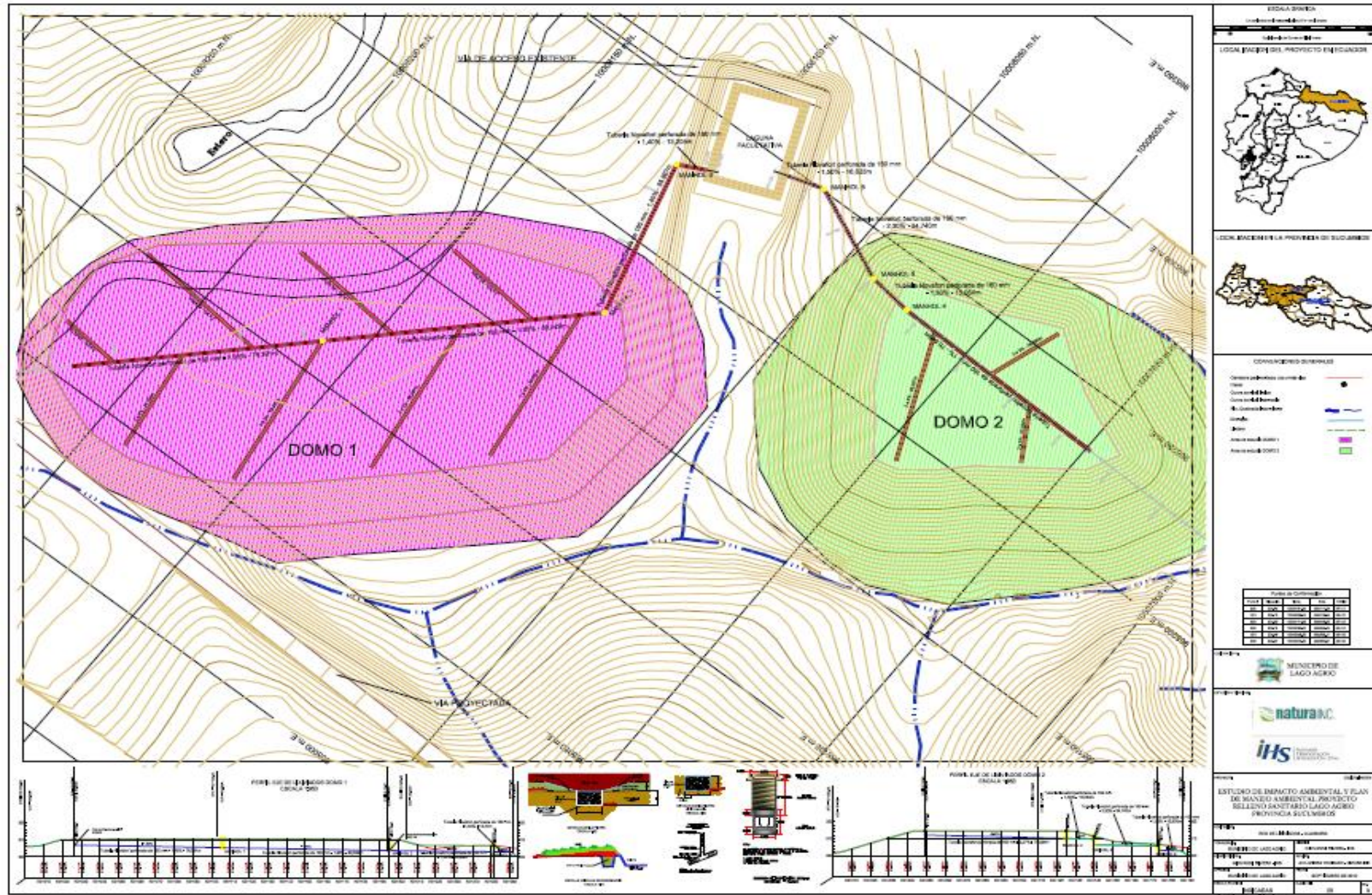




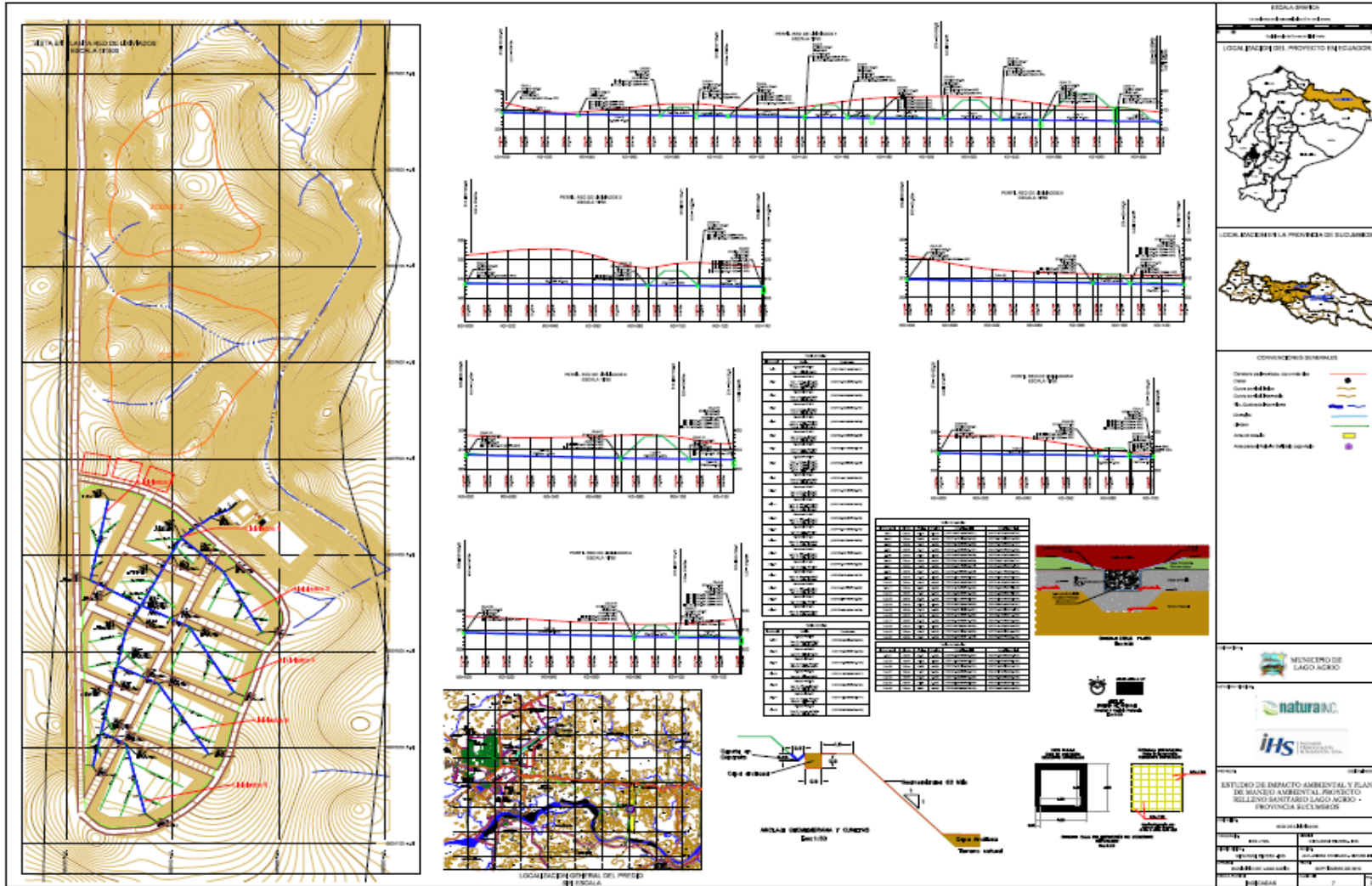
ANEXO C. Diseño de las nueve celdas para residuos sólidos relleno sanitario de Lago Agrio.



### ANEXO D. Red de captación de lixiviados Domo uno y dos.



## ANEXO E. Red de captación de lixiviados de la celda uno a la nueve.



## ANEXO F. Generación de lixiviados en el relleno sanitario de Lago Agrio.

Este relleno se inicia en                      Ene-2010                      Se cierra en                      Dic-2026                      Continúa activo hasta                      51.859,0                      384,0 meses

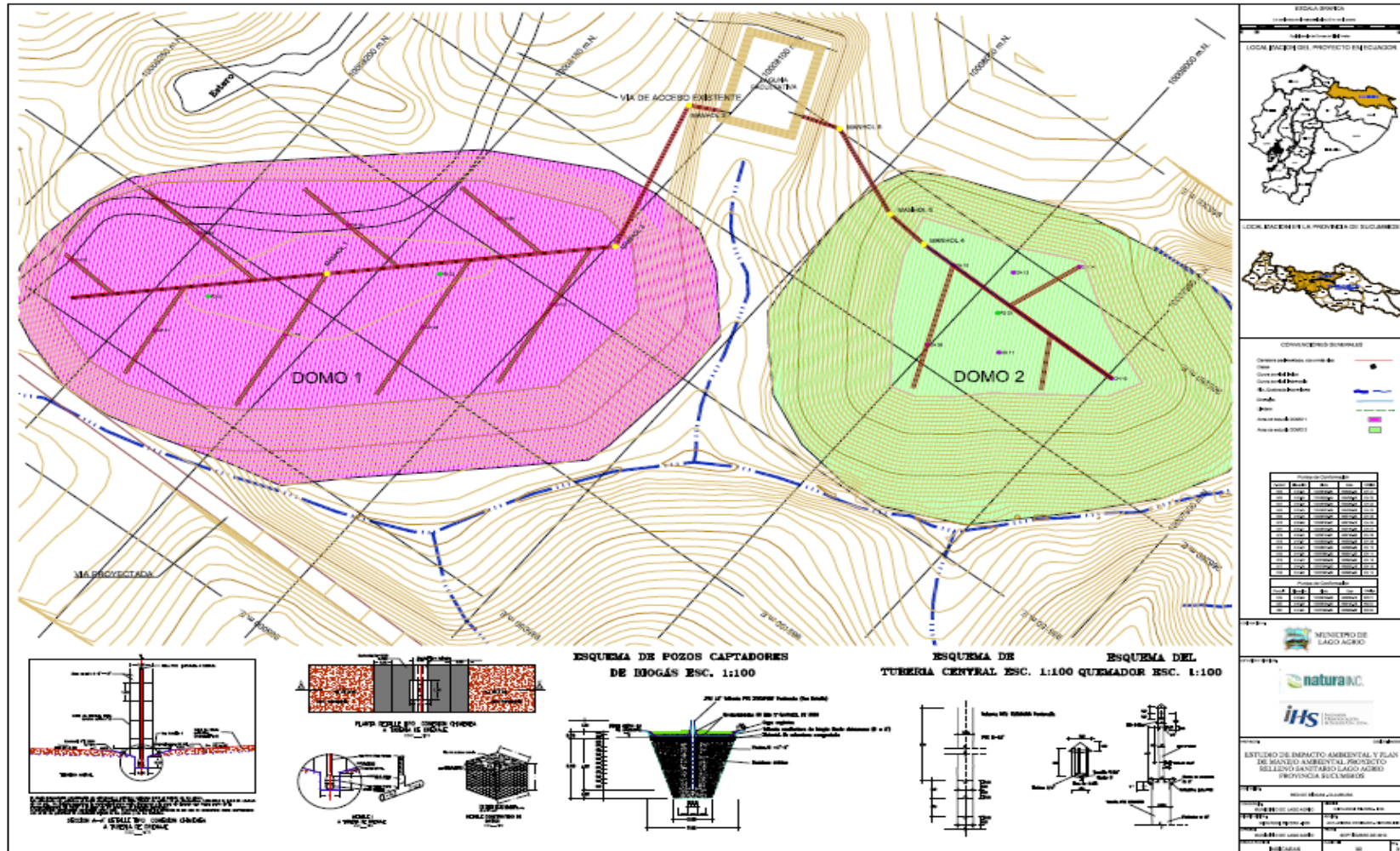
Su basura estará compuesta por: 60 % de putrescible, 6 % de papel, 5 % de textiles, 6 % de jardinería y 24 % de otros  
produciendo 0,09766 metros cúbicos de lixiviados y 218,75 metros cúbicos de gases por tonelada descompuesta a c.d. l. y al 50%

Mes No.	Lixiviados bas m <sup>3</sup> / mes	m <sup>3</sup> gas a c.d.s.	Lixiv totales m <sup>3</sup> / mes	Ton acumul	Espesor de la cobertura (m)	Percolados l / mes	Lluvias mm m m / mes	Evap mm	Area expuesta m <sup>2</sup> -al mes	Basura ton	Mes	Año
1	1,30	2.922,68	110,41	1.068,84	0,10	109.102,34	222,5	94,1	982,5	1.068,8	Ene	2010
2	2,61	5.845,36	316,81	2.137,67	0,10	314.204,74	265,3	80,6	1.964,9	1.068,8	Feb	
3	3,91	8.768,05	611,29	3.206,51	0,10	607.378,24	328,0	90,1	2.947,4	1.068,8	Mar	
4	5,22	11.690,73	1.036,73	4.275,34	0,10	1.031.507,41	422,5	119,6	3.929,8	1.068,8	Abr	
5	6,52	14.613,41	1.088,84	5.344,18	0,10	1.082.320,94	405,2	87,4	3.929,8	1.068,8	May	
6	7,83	17.536,09	964,65	6.413,01	0,10	956.821,75	363,0	82,0	3.929,8	1.068,8	Jun	
7	9,13	20.458,77	632,77	7.481,85	0,10	623.635,05	264,8	81,5	3.929,8	1.068,8	Jul	2010
8	10,44	23.381,45	482,66	8.550,68	0,10	472.217,55	239,4	100,5	3.929,8	1.068,8	Ago	
9	11,74	26.304,14	635,04	9.619,52	0,10	623.294,02	290,7	107,5	3.929,8	1.068,8	Sep	
10	13,05	29.226,82	746,15	10.688,35	0,10	733.105,81	321,6	106,2	3.929,8	1.068,8	Oct	
11	14,35	32.149,50	708,24	11.757,19	0,10	693.887,31	300,7	96,8	3.929,8	1.068,8	Nov	
12	15,66	35.072,18	703,41	12.826,02	0,10	687.748,76	305,6	103,5	3.929,8	1.068,8	Dic	
13	19,51	43.696,76	455,92	13.980,10	0,10	436.409,35	222,5	94,1	3.929,8	1.154,1	Ene	2011
14	22,11	49.524,23	650,52	15.134,18	0,10	628.409,47	265,3	80,6	3.929,8	1.154,1	Feb	
15	24,71	55.351,71	834,55	16.288,25	0,10	809.837,65	328,0	90,1	3.929,8	1.154,1	Mar	
16	27,31	61.179,19	1.058,82	17.442,33	0,10	1.031.507,41	422,5	119,6	3.929,8	1.154,1	Abr	
17	29,91	67.006,66	1.112,24	18.596,41	0,10	1.082.320,94	405,2	87,4	3.929,8	1.154,1	May	
18	32,52	72.834,14	989,34	19.750,49	0,10	956.821,75	363,0	82,0	3.929,8	1.154,1	Jun	
19	35,12	78.661,61	658,75	20.904,56	0,10	623.635,05	264,8	81,5	3.929,8	1.154,1	Jul	
20	37,72	84.489,09	509,94	22.058,64	0,10	472.217,55	239,4	100,5	3.929,8	1.154,1	Ago	
21	40,32	90.316,56	663,62	23.212,72	0,10	623.294,02	290,7	107,5	3.929,8	1.154,1	Sep	
22	42,92	96.144,04	776,03	24.366,80	0,10	733.105,81	321,6	106,2	3.929,8	1.154,1	Oct	
23	45,52	101.971,51	739,41	25.520,87	0,10	693.887,31	300,7	96,8	3.929,8	1.154,1	Nov	
24	48,13	107.798,99	921,65	26.674,95	0,10	873.526,10	305,6	103,5	4.991,4	1.154,1	Dic	
25	53,64	120.156,12	725,82	27.920,55	0,10	672.178,49	222,5	94,1	6.052,9	1.245,6	Ene	2012
26	55,33	123.933,13	1.192,98	29.166,14	0,10	1.137.654,61	265,3	80,6	7.114,5	1.245,6	Feb	
27	57,02	127.710,15	1.523,12	30.411,74	0,10	1.466.107,01	328,0	90,1	7.114,5	1.245,6	Mar	
28	58,70	131.487,16	1.926,11	31.657,33	0,10	1.867.411,64	422,5	119,6	7.114,5	1.245,6	Abr	
29	60,39	135.264,18	2.019,79	32.902,93	0,10	1.959.403,01	405,2	87,4	7.114,5	1.245,6	May	
30	62,07	139.041,19	1.794,28	34.148,53	0,10	1.732.202,85	363,0	82,0	7.114,5	1.245,6	Jun	
31	63,76	142.818,20	1.192,77	35.394,12	0,10	1.129.011,12	264,8	81,5	7.114,5	1.245,6	Jul	
32	65,45	146.595,22	920,34	36.639,72	0,10	854.889,20	239,4	100,5	7.114,5	1.245,6	Ago	
33	67,13	150.372,23	1.195,53	37.885,31	0,10	1.128.393,73	290,7	107,5	7.114,5	1.245,6	Sep	

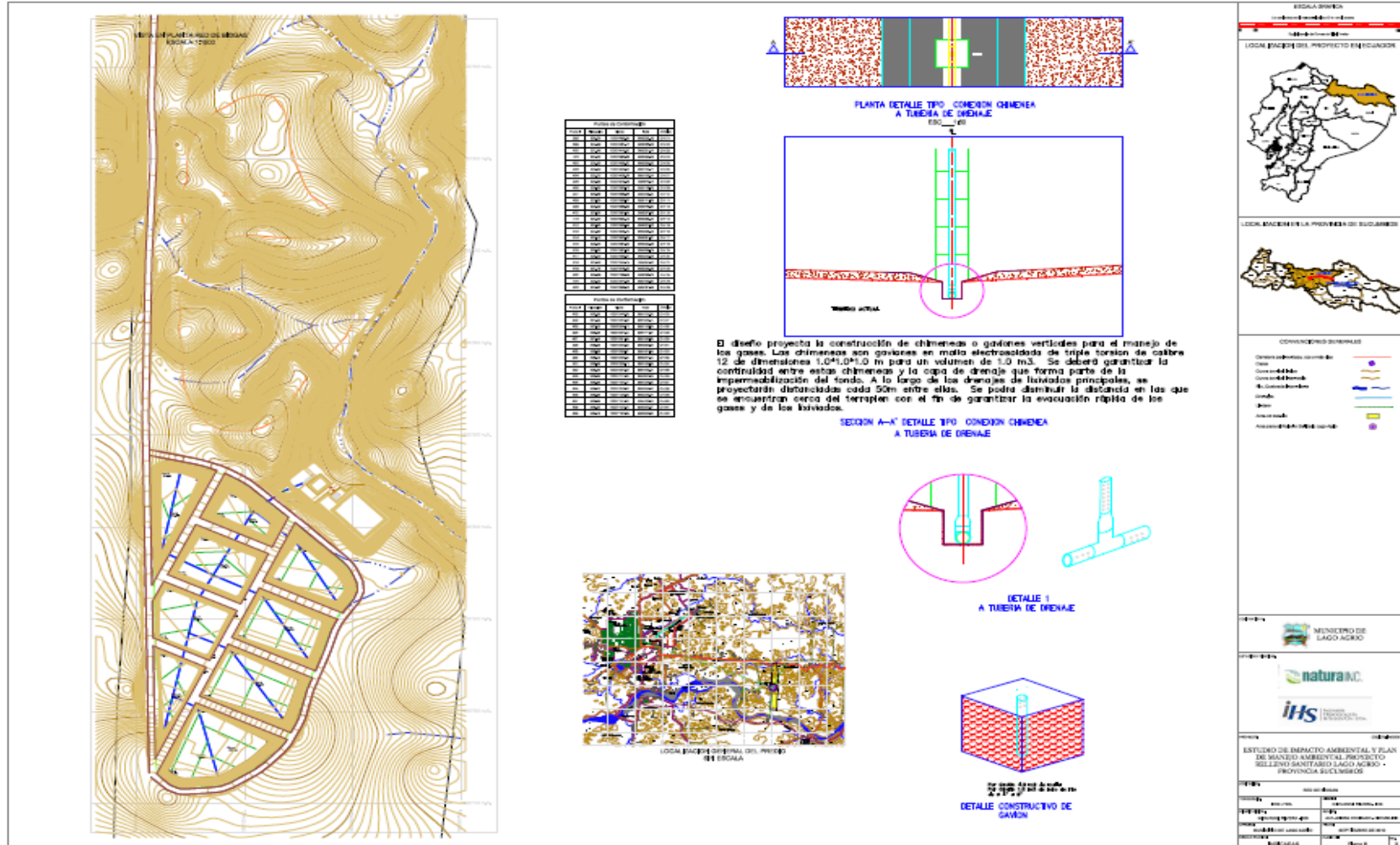
Mes No.	Lixiviados bas m <sup>3</sup> / mes	m <sup>3</sup> gas a c.d.s.	Lixiv totales m <sup>3</sup> / mes	Ton acumul	Espesor de la cobertura (m)	Percolados l / mes	Lluvias mm m m / mes	Evap mm	Area expuesta m <sup>2</sup> al mes	Basura ton	Mes	Año
34	68.82	154 149,24	1 396,01	39.130,91	0,10	1.327.193,87	321,6	106,2	7.114,5	1.245,6	Oct	
35	70,50	157 926,26	1 326,70	40.376,50	0,10	1.256.193,82	300,7	96,8	7.114,5	1.245,6	Nov	
36	72,19	161 703,27	1 317,27	41.622,10	0,10	1.245.080,77	305,6	103,5	7.114,5	1.245,6	Dic	
37	79,01	176 979,74	869,07	42.966,01	0,10	790.063,06	222,5	94,1	7.114,5	1.343,9	Ene	2013
38	80,10	179 427,77	1.217,76	44.309,92	0,10	1.137.654,61	265,3	80,6	7.114,5	1.343,9	Feb	
39	81,20	181.875,80	1.547,30	45.653,83	0,10	1.466.107,01	328,0	90,1	7.114,5	1.343,9	Mar	
40	82,29	184.323,83	1.949,70	46.997,74	0,10	1.867.411,64	422,5	119,6	7.114,5	1.343,9	Abr	
41	83,38	186.771,86	2.383,73	48.341,65	0,10	2.300.350,86	405,2	87,4	8.352,4	1.343,9	May	
42	84,48	189.219,89	2.419,51	49.685,56	0,10	2.335.030,17	363,0	82,0	9.590,4	1.343,9	Jun	
43	85,57	191.667,92	1.803,94	51.029,47	0,10	1.718.375,20	264,8	81,5	10.828,3	1.343,9	Jul	
44	86,66	194.115,95	1.536,57	52.373,38	0,10	1.449.912,54	239,4	100,5	12.066,3	1.343,9	Ago	
45	87,75	196.563,98	2.001,54	53.717,29	0,10	1.913.782,79	290,7	107,5	12.066,3	1.343,9	Sep	
46	88,85	199.012,01	2.339,80	55.061,20	0,10	2.250.952,58	321,6	106,2	12.066,3	1.343,9	Oct	
47	89,94	201.460,03	2.220,47	56.405,11	0,10	2.130.534,80	300,7	96,8	12.066,3	1.343,9	Nov	
48	91,03	203.908,06	2.202,72	57.749,02	0,10	2.111.686,80	305,6	103,5	12.066,3	1.343,9	Dic	
49	98,94	221.618,16	1.438,91	59.198,60	0,10	1.339.965,87	222,5	94,1	12.066,3	1.449,6	Ene	2014
50	99,65	223.204,83	2.029,14	60.648,18	0,10	1.929.489,45	265,3	80,6	12.066,3	1.449,6	Feb	
51	100,36	224.791,49	2.586,91	62.097,76	0,10	2.486.552,59	328,0	90,1	12.066,3	1.449,6	Mar	
52	101,06	226.378,15	3.268,24	63.547,34	0,10	3.167.174,85	422,5	119,6	12.066,3	1.449,6	Abr	
53	101,77	227.964,82	3.424,97	64.996,92	0,10	3.323.194,41	405,2	87,4	12.066,3	1.449,6	May	
54	102,48	229.551,48	3.040,34	66.446,51	0,10	2.937.857,50	363,0	82,0	12.066,3	1.449,6	Jun	
55	103,19	231.138,14	2.018,02	67.896,09	0,10	1.914.829,90	264,8	81,5	12.066,3	1.449,6	Jul	
56	103,90	232.724,80	1.553,81	69.345,67	0,10	1.449.912,54	239,4	100,5	12.066,3	1.449,6	Ago	
57	104,61	234.311,47	2.018,39	70.795,25	0,10	1.913.782,79	290,7	107,5	12.066,3	1.449,6	Sep	
58	105,31	235.898,13	2.356,27	72.244,83	0,10	2.250.952,58	321,6	106,2	12.066,3	1.449,6	Oct	
59	106,02	237.484,79	2.472,33	73.694,41	0,10	2.366.306,10	300,7	96,8	13.401,6	1.449,6	Nov	
60	106,73	239.071,46	2.685,79	75.143,99	0,10	2.579.057,86	305,6	103,5	14.736,9	1.449,6	Dic	
61	115,28	258.208,97	1.911,92	76.707,21	0,10	1.796.641,91	222,5	94,1	16.178,6	1.563,2	Ene	2015
62	115,41	258.501,23	2.702,49	78.270,42	0,10	2.587.082,03	265,3	80,6	16.178,6	1.563,2	Feb	
63	115,54	258.793,50	3.449,53	79.833,64	0,10	3.333.998,80	328,0	90,1	16.178,6	1.563,2	Mar	
64	115,67	259.085,77	4.362,25	81.396,85	0,10	4.246.585,08	422,5	119,6	16.178,6	1.563,2	Abr	
65	115,80	259.378,04	4.571,58	82.960,07	0,10	4.455.777,93	405,2	87,4	16.178,6	1.563,2	May	
66	115,93	259.670,31	4.055,04	84.523,29	0,10	3.939.113,70	363,0	82,0	16.178,6	1.563,2	Jun	
67	116,06	259.962,58	2.683,48	86.086,50	0,10	2.567.426,32	264,8	81,5	16.178,6	1.563,2	Jul	
68	116,19	260.254,84	2.060,25	87.649,72	0,10	1.944.059,70	239,4	100,5	16.178,6	1.563,2	Ago	
69	116,32	260.547,11	2.682,34	89.212,93	0,10	2.566.022,35	290,7	107,5	16.178,6	1.563,2	Sep	
70	116,45	260.839,38	3.403,51	90.776,15	0,10	3.287.060,32	321,6	106,2	17.620,4	1.563,2	Oct	
71	116,58	261.131,65	3.482,36	92.339,36	0,10	3.365.783,10	300,7	96,8	19.062,1	1.563,2	Nov	
72	116,71	261.423,92	3.452,72	93.902,58	0,10	3.336.007,35	305,6	103,5	19.062,1	1.563,2	Dic	
73	126,90	281.999,22	2.242,75	95.588,05	0,10	2.116.855,59	222,5	94,1	19.062,1	1.685,5	Ene	2016
74	126,04	282.314,79	3.174,21	97.273,52	0,10	3.048.175,05	265,3	80,6	19.062,1	1.685,5	Feb	

Mes No.	Lixiviados bas m <sup>3</sup> / mes	m <sup>3</sup> gas a c.d.s.	Lixiv totales m <sup>3</sup> / mes	Ton acumul	Espesor de la cobertura (m)	Percolados l / mes	Lluvias mm m m / mes	Evap mm	Area expuesta m2 al mes	Basura ton	Mes	Año
75	126.18	282.630,37	4.374,69	98.959,00	0,10	4.248.513,60	328,0	90,1	20.616,4	1.685,5	Mar	
76	126.32	282.945,95	5.945,71	100.644,47	0,10	5.819.394,37	422,5	119,6	22.170,7	1.685,5	Abr	
77	126.46	283.261,52	6.232,53	102.329,94	0,10	6.106.066,06	405,2	87,4	22.170,7	1.685,5	May	
78	126.60	283.577,10	5.524,65	104.015,41	0,10	5.398.044,70	363,0	82,0	22.170,7	1.685,5	Jun	
79	126.74	283.892,68	3.645,07	105.700,88	0,10	3.518.324,96	264,8	81,5	22.170,7	1.685,5	Jul	
80	126.88	284.208,26	2.790,96	107.386,35	0,10	2.664.081,81	239,4	100,5	22.170,7	1.685,5	Ago	
81	127.02	284.523,83	3.643,42	109.071,83	0,10	3.516.400,99	290,7	107,5	22.170,7	1.685,5	Sep	
82	127.16	284.839,41	4.263,08	110.757,30	0,10	4.135.919,68	321,6	106,2	22.170,7	1.685,5	Oct	
83	127.30	285.154,99	4.041,97	112.442,77	0,10	3.914.663,00	300,7	96,8	22.170,7	1.685,5	Nov	
84	127.45	285.470,57	4.007,48	114.128,24	0,10	3.880.031,52	305,6	103,5	22.170,7	1.685,5	Dic	
85	137.33	307.602,18	2.599,39	115.945,30	0,10	2.462.064,84	222,5	94,1	22.170,7	1.817,1	Ene	2017
86	137.48	307.942,78	3.682,74	117.762,36	0,10	3.545.260,56	265,3	80,6	22.170,7	1.817,1	Feb	
87	137.63	308.283,39	4.706,44	119.579,43	0,10	4.568.813,17	328,0	90,1	22.170,7	1.817,1	Mar	
88	137.78	308.623,99	5.957,18	121.396,49	0,10	5.819.394,37	422,5	119,6	22.170,7	1.817,1	Abr	
89	137.93	308.964,59	6.244,00	123.213,55	0,10	6.106.066,06	405,2	87,4	22.170,7	1.817,1	May	
90	138.09	309.305,19	5.536,13	125.030,61	0,10	5.398.044,70	363,0	82,0	22.170,7	1.817,1	Jun	
91	138.24	309.645,80	3.922,53	126.847,67	0,10	3.784.286,97	264,8	81,5	23.846,7	1.817,1	Jul	
92	138.39	309.986,40	3.205,25	128.664,73	0,10	3.066.855,60	239,4	100,5	25.522,6	1.817,1	Ago	
93	138.54	310.327,00	4.452,39	130.481,80	0,10	4.313.850,69	290,7	107,5	27.198,6	1.817,1	Sep	
94	138.69	310.667,60	5.212,56	132.298,86	0,10	5.073.863,87	321,6	106,2	27.198,6	1.817,1	Oct	
95	138.85	311.008,21	4.941,28	134.115,92	0,10	4.802.430,59	300,7	96,8	27.198,6	1.817,1	Nov	
96	139.00	311.348,81	4.898,94	135.932,98	0,10	4.759.945,38	305,6	103,5	27.198,6	1.817,1	Dic	
97	149.63	335.165,07	3.170,04	137.891,74	0,10	3.020.412,10	222,5	94,1	27.198,6	1.958,8	Ene	2018
98	149.80	335.532,55	4.499,05	139.850,49	0,10	4.349.255,03	265,3	80,6	27.198,6	1.958,8	Feb	
99	149.96	335.900,04	5.754,89	141.809,25	0,10	5.604.928,98	328,0	90,1	27.198,6	1.958,8	Mar	
100	150.12	336.267,52	7.289,24	143.768,00	0,10	7.139.117,08	422,5	119,6	27.198,6	1.958,8	Abr	
101	150.29	336.635,01	7.641,09	145.726,76	0,10	7.490.800,20	405,2	87,4	27.198,6	1.958,8	May	
102	150.45	337.002,50	6.772,67	147.685,52	0,10	6.622.213,71	363,0	82,0	27.198,6	1.958,8	Jun	
103	150.62	337.369,98	4.466,83	149.644,27	0,10	4.316.210,98	264,8	81,5	27.198,6	1.958,8	Jul	
104	150.78	337.737,47	3.419,02	151.603,03	0,10	3.268.242,49	239,4	100,5	27.198,6	1.958,8	Ago	
105	150.94	338.104,96	4.751,36	153.561,78	0,10	4.600.411,56	290,7	107,5	29.005,3	1.958,8	Sep	
106	151.11	338.472,44	5.899,07	155.520,54	0,10	5.747.958,06	321,6	106,2	30.812,1	1.958,8	Oct	
107	151.27	338.839,93	5.910,75	157.479,29	0,10	5.759.479,50	300,7	96,8	32.618,8	1.958,8	Nov	
108	151.44	339.207,41	5.859,96	159.438,05	0,10	5.708.527,65	305,6	103,5	32.618,8	1.958,8	Dic	
109	162.88	364.847,19	3.785,22	161.549,44	0,10	3.622.332,74	222,5	94,1	32.618,8	2.111,4	Ene	2019
110	163.06	365.243,58	5.379,05	163.660,83	0,10	5.215.993,17	265,3	80,6	32.618,8	2.111,4	Feb	
111	163.24	365.639,96	6.885,14	165.772,22	0,10	6.721.903,20	328,0	90,1	32.618,8	2.111,4	Mar	
112	163.41	366.036,34	8.725,24	167.883,60	0,10	8.561.830,87	422,5	119,6	32.618,8	2.111,4	Abr	
113	163.59	366.432,72	9.147,19	169.994,99	0,10	8.983.598,90	405,2	87,4	32.618,8	2.111,4	May	
114	163.77	366.829,10	8.105,68	172.106,38	0,10	7.941.916,78	363,0	82,0	32.618,8	2.111,4	Jun	
115	163.94	367.225,48	5.340,31	174.177,77	0,10	5.176.363,96	264,8	81,5	32.618,8	2.111,4	Jul	

ANEXO G. Red de captación de biogás del Domo uno y del Domo dos.





## ANEXO H. Red de captación de biogas de las celdas uno a la nueve.





**ANEXO I. Parámetros del lixiviado nativo generado en el relleno sanitario de Lago Agrio, muestra tomada en Septiembre del 2011.**

	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: labsu@andinanet.net Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105	
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 52 066</b>	
SPS: 11 - 4 741	Análisis de agua	ENSAYOS No OAE LE 2C 07-003

Coca, 08 de septiembre de 2011

**SAMBIES.**

Atn. Ing. Nelson Cevallos  
 Dirección: Sacha

**1.- Datos generales:**



Recogidas por.....Ing. Cristina Vera  
 Fecha hora de toma de muestra.....2 011 09 01 10:30  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio .....2 011 09 02 10:00  
 Fecha del análisis .....2 011 09 02 a 2 011 09 08  
 Condiciones Ambientales de Análisis...T. Max. 29,0°C T. Min.21,0 °C  
 Código de LabSu .....Identificación de la muestra.  
 a 50 843 .....Muestra de Agua de lixiviado, relleno sanitario Lago Agrio.

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Ítem	Parámetros	Unidad	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial hidrógeno	~	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+ B	± 0,02
2	Conductividad	uS/cm	PEE-LABSU-03	SM 2510 B	± 10 %
3	Sólidos totales	mg/L	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
4	Sólidos totales suspendidos	mg/L	PEE-LABSU-56	SM 2540 D	~
5	Demanda química de oxígeno	mg/L	PEE-LABSU-08	SM 5220 B 4a; 5220 B 4b	± 6%
6	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	~
7	Bario	mg/L	PEE-LABSU-22	SM 3030 B, 3111 D	± 32%
8	Cromo total	mg/L	PEE-LABSU-21	SM 3030 B, 3111 B-	± 40%
9	Mercurio	mg/L	PEE-LABSU-12	SM 3112 B	~
10	Plomo total	mg/L	PEE-LABSU-24	SM 3030 B, 3111 B	± 30%
11	Vanadio	mg/L	PEE-LABSU-25	SM 3030 B, 3111 D	± 30%
12	Cianuros	mg/L	~	HACH 8029	~



Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Posibilidad de contaminación cruzada o parcial por cualquier medio en el proceso operativo del laboratorio.

 <p><b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<b>VICARIATO APOSTÓLICO DE AGUARICO</b> Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: labsu@andinanet.net Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105		 <p><b>OAE</b> Organismo de Acreditación Ecuatoriana</p>
	<b>INFORME DE</b> <b>ENSAYO N°: 52 066</b>		
SPS: 11 - 4 741	Análisis de agua		<b>ENSAYOS</b> No OAE LE 2C 07-003

**3.- Resultados:**

Parámetros	Unidad	a 50 843
Potencial hidrógeno	~	6,76
Conductividad	µS/cm	12 200
Sólidos totales	mg/L	14 924
*Sólidos totales suspendidos	mg/L	510
*Demanda química de oxígeno	mg/L	15 377
*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	4 125
Bario	mg/L	0,77
Cromo total	mg/L	<0,10
*Mercurio	mg/L	< 0,0002
Plomo total	mg/L	<0,15
Vanadio	mg/L	<0,40
*Cianuros	mg/L	0,50

**4.- Responsables del Informe:**

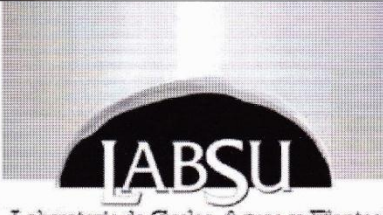

Autorización: Dr. Luis Fernando Soto.  
DIRECTOR TÉCNICO



Téc. Andres Solis Plaza.  
RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

**ANEXO J. Parámetros del lixiviado nativo generado en el relleno sanitario de Lago  
Agrio, muestra tomada en Septiembre del 2012.**

 <p align="center"><b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b> Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: labsu@andinanet.net Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105		 <p align="center"><b>OAE</b> Organismo de Acreditación Ecuatoriana</p>
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 64 253</b>		
	SPS: 12 – 8 749	Análisis de agua	<b>ENSAYOS</b> No OAE LE 2C 07-003

Coca, 03 de octubre de 2012

**SAMBIES.**

Atn. Ing. Nelson Cevallos.  
Dirección: Sacha.


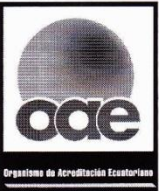
**1.- Datos generales:**

Recogidas por.....Stefanie Rodríguez.  
 Fecha hora de toma de muestra.....2 012 09 12 15:15.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio .....2 012 09 13 16:41.  
 Fecha del análisis .....2 012 09 13 a 2 012 10 02.  
 Condiciones Ambientales de Análisis...T. Max. 27,0°C T. Min. 20,0°C  
**Código de LabSu .....Identificación de la muestra.**  
 a 61 640 .....Muestra de Lixiviado nativo, cisterna 1 relleno sanitario.

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Ítem	Parámetros	Unidad	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial hidrógeno	~	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+ B	± 0,05
2	Sólidos totales	mg/L	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	Sólidos totales suspendidos	mg/L	PEE-LABSU-56	SM 2540 D	~
4	Sólidos sedimentables	ml/L	PEE-LABSU-58	SM 2540 F	~
5	Demanda química de oxígeno	mg/L	PEE-LABSU-08	SM 5220 B 4a; 5220 B 4b	~
6	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	~
7	Cloruros	mg/L	PEE-LABSU-37	SM 4500-Cl- B	~
8	Sulfatos	mg/L	PEE-LABSU-42	SM 4500-SO4= B	~
9	Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	PEE-LABSU-19	SM 4500 E	~
10	Cobre	mg/L	PEE-LABSU-26	SM 3030 B, 3111 B	± 22%
11	Cromo hexavalente	mg/L	PEE-LABSU-21	SM 3030 B, 3111 B	~
12	Hierro total	mg/L	PEE-LABSU-27	SM 3030 B, 3111 B	~
13	Mercurio	mg/L	PEE-LABSU-11	SM 3030 B, 3112 B	~
14	Cianuro libre	mg/L	PEE-LABSU-36	HACH 8027	~
15	Manganeso total	mg/L	PEE-LABSU-28	SM 3030 B, 3111 B	± 22%
16	Zinc	mg/L	PEE-LABSU-29	SM 3030 B, 3111 B	~
17	Fenoles	mg/L	PEE-LABSU-05	DIN 38409-HI6-1	~
18	Aerobios mesófilos	Col/ mL	PEE-LABSU-47	MFLP-41A	~
19	Coliformes Totales	Col/100 mL	PEE-LABSU-44	SM 9222 B	± 12%
20	Coliformes fecales	Col/100 mL	PEE-LABSU-43	SM 9222 D	± 5%

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

 <p><b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: labsu@andinanet.net Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105</p>		 <p><b>OAE</b> Organismo de Acreditación Ecuatoriana</p>
	<p><b>INFORME DE ENSAYO N°: 64 253</b></p>		
	SPS: 12 – 8 749	Análisis de agua	<p>ENSAYOS No OAE LE 2C 07-003</p>

**3.- Resultados:**

Parámetros	Unidad	a 61 640
Potencial hidrógeno	~	7,73
Sólidos totales	mg/L	9 340,07
*Sólidos totales suspendidos	mg/L	580,0
*Sólidos sedimentables	ml/L	15,0
*Demanda química de oxígeno	mg/L	4 720,5
*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	746,67
*Cloruros	mg/L	1 054,74
*Sulfatos	mg/L	54,30
*Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	3,14
Cobre	mg/L	<0,20
*Cromo hexavalente	mg/L	<0,05
*Hierro total	mg/L	21,61
*Mercurio	mg/L	<0,002
*Cianuro libre	mg/L	0,80
Manganeso total	mg/L	2,60
*Zinc	mg/L	0,37
*Fenoles	mg/L	0,92
*Aerobios mesófilos	Col/ mL	160
Coliformes Totales	Col/ 100 mL	1 200
Coliformes fecales	Col/ 100 mL	520

**4.- Responsables del Informe:**



Autorización:   
Ing. Tania Vargas Tierras.  
 DIRECTOR TÉCNICO



  
Ing. Armando Meléndrez.  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

**ANEXO K. Parámetros del lixiviado tratado por el método de aireación, coagulación-floculación, muestra tomada en Septiembre del 2012, en el relleno sanitario de Lago Agrio.**

 <p><b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: labsu@andinanet.net Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105	 <p><b>OAE</b> Organismo de Acreditación Ecuadoriano</p>
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 66 288</b>	
SPS: 12 - 9 969	Análisis de agua	
ENSAYOS No OAE LE 2C 07-003		

Coca, 19 de noviembre de 2012

**SAMBIES.**

Atm. Ing. Nelson Cevallos.  
 Dirección: Sachas.

**1.- Datos generales:**

Recogidas por ..... Marcela Dávila.  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2 012 11 03 10:30.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio ..... 2 012 11 03 12:10.  
 Fecha del análisis ..... 2 012 11 03 a 2 012 11 17.  
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Max. 30,0°C T. Min. 20,5°C  
**Código de LabSu..... Identificación de la muestra.**  
 a 63 308 ..... Muestra de Agua tratada de lixiviado método aireación, coagulación, floculación.

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**



Ítem	Parámetros	Unidad	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial hidrógeno	~	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+ B	± 0,02
2	Sólidos totales	mg/L	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	Sólidos totales suspendidos	mg/L	PEE-LABSU-56	SM 2540 D	~
4	Sólidos sedimentables	mg/L	PEE-LABSU-58	SM 2540 F	~
5	Demanda química de oxígeno	mg/L	PEE-LABSU-89	HACH 8000	± 24%
6	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	~
7	Cloruros	mg/L	PEE-LABSU-37	SM 4500-Cl- B	± 3%
8	Sulfatos	mg/L	PEE-LABSU-42	SM 4500-SO4= B	± 17%
9	Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	PEE-LABSU-19	SM 4500 E	~
10	Cobre	mg/L	PEE-LABSU-26	SM 3030 B, 3111 B	± 22%
11	Cromo hexavalente	mg/L	PEE-LABSU-21	SM 3030 B, 3111 B	~
12	Hierro total	mg/L	PEE-LABSU-27	SM 3030 B, 3111 B	± 26%
13	Mercurio	mg/L	PEE-LABSU-11	SM 3030 B, 3112 B	~
14	Manganeso total	mg/L	PEE-LABSU-28	SM 3030 B, 3111 B	± 22%
15	Zinc	mg/L	PEE-LABSU-29	SM 3030 B, 3111 B	~
16	Cianuro libre	mg/L	PEE-LABSU-36	HACH 8027	~
17	Nitrógeno amoniacal	mg/L	PEE-LABSU-41	SM 4500 NH3 F	~
18	Fenoles	mg/L	PEE-LABSU-05	DIN 38409-II16-1	± 21%
19	Coliformes fecales	Col/100 mL	PEE-LABSU-43	SM 9222 D	± 20%



Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-03

Página 1 de 2

 <p><b>LABSU</b> Laboratorio de Suelo, Agua y Plantas</p>	<b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b> Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: labsu@andinanet.net Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105		 <p><b>OAE</b> Organismo de Acreditación Ecuatoriano</p>
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 66 288</b>		
SPS: 12 - 9 969	Análisis de agua		ENSAYOS No OAE LE 2C 07-003

### 3.- Resultados:

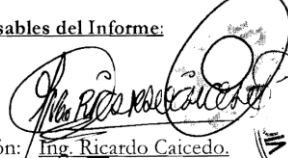
Parámetros	Unidad	a 63 308	Límite máximo permisible
Potencial hidrógeno	~	6,83	5-9
Sólidos totales	mg/L	234,27	1 600
*Sólidos totales suspendidos	mg/L	8,00	100
*Sólidos sedimentables	mg/L	< 0,5	1,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	36,26	250
*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	11,59	100
Cloruros	mg/L	22,91	1 000
Sulfatos	mg/L	7,26	1 000
*Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	1,58	10
Cobre	mg/L	< 0,20	1,0
*Cromo hexavalente	mg/L	< 0,05	0,5
Hierro total	mg/L	< 0,20	10,0
*Mercurio	mg/L	< 0,002	0,005
Manganeso total	mg/L	< 0,10	2,0
*Zinc	mg/L	< 0,01	5,0
Cianuro libre	mg/L	< 0,010	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,23	**
Fenoles	mg/l	< 0,05	0,2
Coliformes fecales	Col/100 mL	< 2	< 3 000

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Registro oficial, marzo del 2003;

Tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

\*\* No establecido en la tabla.

### 4.- Responsables del Informe:

Autorización:   
 Ing. Ricardo Caicedo.  
 DIRECTOR TÉCNICO





  
 Ing. Armando Meléndrez.  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-03

Página 2 de 2

**ANEXO L. Parámetros del lixiviado tratado por el método de ozonización, coagulación-floculación, muestra tomada en Septiembre del 2012, en el relleno sanitario de Lago Agrio.**

	<b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b> Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: labsu@andinanet.net Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105		
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 66 287</b>		
SPS: 12 - 9 969	Análisis de agua		ENSAYOS No OAE LE 2C 07-003

Coca, 19 de noviembre de 2012

**SAMBIES.**

Atn. Ing. Nelson Cevallos.  
 Dirección: Sachas.

**1.- Datos generales:**

Recogidas por..... Marcela Dávila.  
 Fecha hora de toma de muestra..... 2 012 11 03 10:00.  
 Fecha hora ingreso al Laboratorio..... 2 012 11 03 12:10.  
 Fecha del análisis..... 2 012 11 03 a 2 012 11 17.  
 Condiciones Ambientales de Análisis...T. Max. 30,0°C T. Min. 20,5°C  
 Código de LabSu..... **Identificación de la muestra.**  
 a 63 307..... Muestra de Agua tratada de lixiviado método ozonificación, coagulación, floculación.

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**



Ítem	Parámetros	Unidad	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial hidrógeno	~	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+ B	± 0,02
2	Sólidos totales	mg/L	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	Sólidos totales suspendidos	mg/L	PEE-LABSU-56	SM 2540 D	~
4	Sólidos sedimentables	mg/L	PEE-LABSU-58	SM 2540 F	~
5	Demanda química de oxígeno	mg/L	PEE-LABSU-89	HACH 8000	± 5%
6	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	~
7	Cloruros	mg/L	PEE-LABSU-37	SM 4500-Cl- B	± 3%
8	Sulfatos	mg/L	PEE-LABSU-42	SM 4500-SO4= B	± 17%
9	Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	PEE-LABSU-19	SM 4500 E	~
10	Cobre	mg/L	PEE-LABSU-26	SM 3030 B, 3111 B	± 22%
11	Cromo hexavalente	mg/L	PEE-LABSU-21	SM 3030 B, 3111 B	~
12	Hierro total	mg/L	PEE-LABSU-27	SM 3030 B, 3111 B	± 26%
13	Mercurio	mg/L	PEE-LABSU-11	SM 3030 B, 3112 B	~
14	Manganeso total	mg/L	PEE-LABSU-28	SM 3030 B, 3111 B	± 22%
15	Zinc	mg/L	PEE-LABSU-29	SM 3030 B, 3111 B	~
16	Cianuro libre	mg/L	PEE-LABSU-36	HACH 8027	~
17	Nitrógeno amoniacal	mg/L	PEE-LABSU-41	SM 4500 NH3 F	~
18	Fenoles	mg/L	PEE-LABSU-05	DIN 38409-H16-1	± 21%
19	Coliformes fecales	Col/100 mL	PEE-LABSU-43	SM 9222 D	± 20%



Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-03

Página 1 de 2

 <p><b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b> Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: labsu@andinanet.net Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105		 <p><b>oae</b> Organismo de Acreditación Ecuatoriano</p>
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 66 287</b>		
SPS: 12 - 9 969	Análisis de agua		ENSAYOS No OAE LE 2C 07-003

**3.- Resultados:**

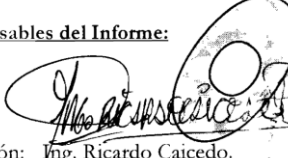
Parámetros	Unidad	a 63 307	Límite máximo permisible
Potencial hidrógeno	~	6,84	5-9
Sólidos totales	mg/L	349,02	1 600
*Sólidos totales suspendidos	mg/L	< 2,00	100
*Sólidos sedimentables	mg/L	< 0,5	1,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	71,01	250
*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	7,53	400
Cloruros	mg/L	53,92	1 000
Sulfatos	mg/L	4,17	1 000
*Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/L	0,97	10
Cobre	mg/L	0,20	1,0
*Cromo hexavalente	mg/L	< 0,05	0,5
Hierro total	mg/L	< 0,20	10,0
*Mercurio	mg/L	< 0,002	0,005
Manganeso total	mg/L	< 0,10	2,0
*Zinc	mg/L	< 0,01	5,0
Cianuro libre	mg/L	< 0,010	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L	1,06	**
Fenoles	mg/L	< 0,05	0,2
Coliformes fecales	Col/100 mL	< 2	< 3 000

**Fuente:** Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Registro oficial, marzo del 2003;

Tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

\*\* No establecido en la tabla.

**4.- Responsables del Informe:**

Autorización:   
 Ing. Ricardo Caicedo.  
 DIRECTOR TÉCNICO



  
 Ing. Armando Meléndrez.  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-03

Página 2 de 2



**ANEXO M. Fotografías del tratamiento de lixiviados en las piscinas de recolección del relleno sanitario de Lago Agrio.**



**Figura M 1. Condición inicial del lixiviado en la piscina 1.**



**Figura M 2. Aireación con compresor.**



**Figura M 3. Dosificación de Cal en la piscina 2.**



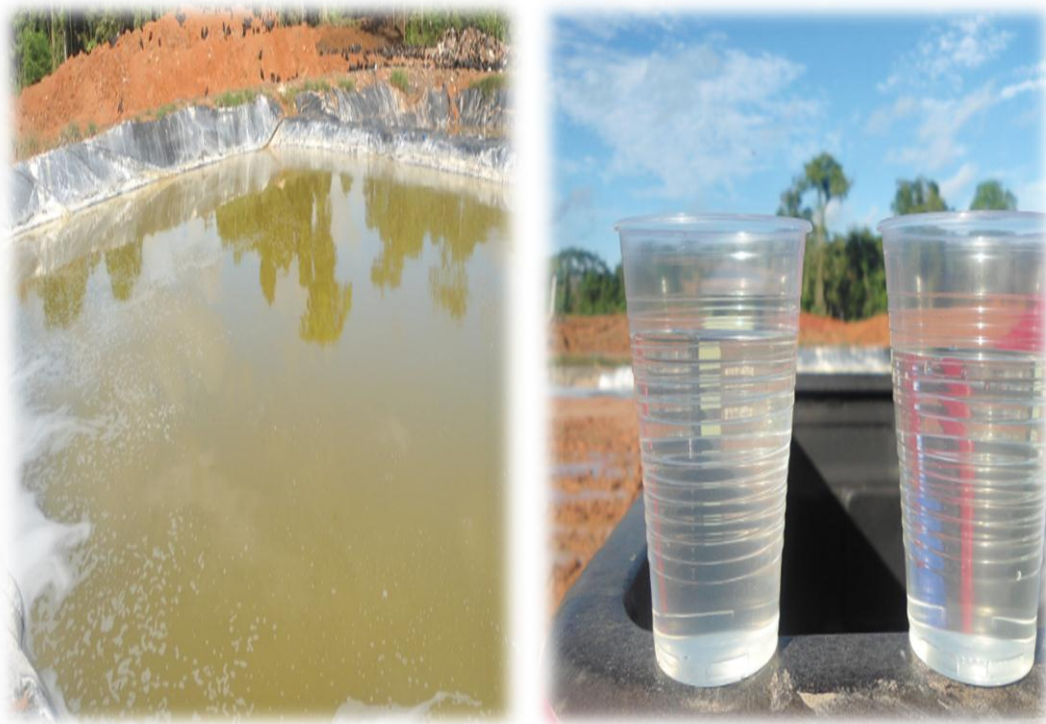
**Figura M 4. Agitación en la piscina 2.**



**Figura M 5. Dosificación de PAC.**



**Figura M 6. Dosificación de Poliacrilamida**



**Figura M 7. Muestra de agua tratada de la piscina 3.**



**Figura M 8. Descarga al Medio Ambiente con permiso del MAE bajo límites permisibles.**

## ANEXO N. Permiso de descarga al medio ambiente emitido por el MAE, Sucumbíos.



Ministerio  
del **Ambiente**



GOBIERNO NACIONAL DE  
LA REPUBLICA DEL ECUADOR

**Oficio Nro. MAE-DPAS-2013-0251**

**Nueva Loja, 04 de abril de 2013**

**Asunto:** Autorización para descarga del agua tratada de los lixiviados del vertedero del cantón Lago Agrio

Señor

Yofre Martin Poma Herrera

**Alcalde del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Lago Agrio**

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE LAGO  
AGRIO**

En su Despacho

De mi consideración:

En atención al Oficio Nro. 02-DA-RS-GADMLA-2013, de fecha 22 de marzo de 2013, y el Alcance con Oficio Nro. 036-DA-2013, de fecha 3 de abril de 2013, por medio del cual su representada remite a esta Cartera de Estado, el Informe Técnico referente al tratamiento de lixiviados y los resultados de los análisis físico-químicos de lixiviado tratado del Relleno Sanitario del cantón Lago Agrio.

Al respecto y sobre la base del Informe Técnico No. 147-2013-UCA-DPS-MAE, remitido mediante Memorando MAE-UCAS-DPAS-2013-0141, del 04 de abril 2013, en el cual se concluye que, los resultados físico químicos muestran que los parámetros se encuentran bajo los límites máximos permisibles conforme la tabla 12 del anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental, por lo tanto el documento en referencia no presenta observaciones; en tal virtud cumple con lo establecido en el artículo 73 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria por lo tanto se autoriza el desalojo del agua tratada.

Particular que pongo en su conocimiento.

Atentamente,



**Oficio Nro. MAE-DPAS-2013-0251**

**Nueva Loja, 04 de abril de 2013**

**Documento firmado electrónicamente**

Abg. Pablo Daniel Carpio Cabrera

**DIRECTOR PROVINCIAL DEL AMBIENTE DE SUCUMBIOS**

Referencias:

- MAE-DPAS-2013-0432

Anexos:

- gadm.lagoagrio.02.pdf

Copia:

Señor

Teresa Del Rosario Ríos Hidalgo

**Dirección Provincial del Ambiente de Sucumbios**

lb/rt



**ANEXO O. Fotografías relleno sanitario de Lago Agrio**



**Figura O 1. Vertido total residuos sólidos, en el Domo dos.**



**Figura O 2. Vertido residuos hospitalarios, en el Domo dos.**



**Figura O 3. Toma de muestra de lixiviado nativo. Primera cisterna de almacenamiento de lixiviados.**



**ANEXO P. Fotografías tratamiento de aireación, coagulación -floculación.**



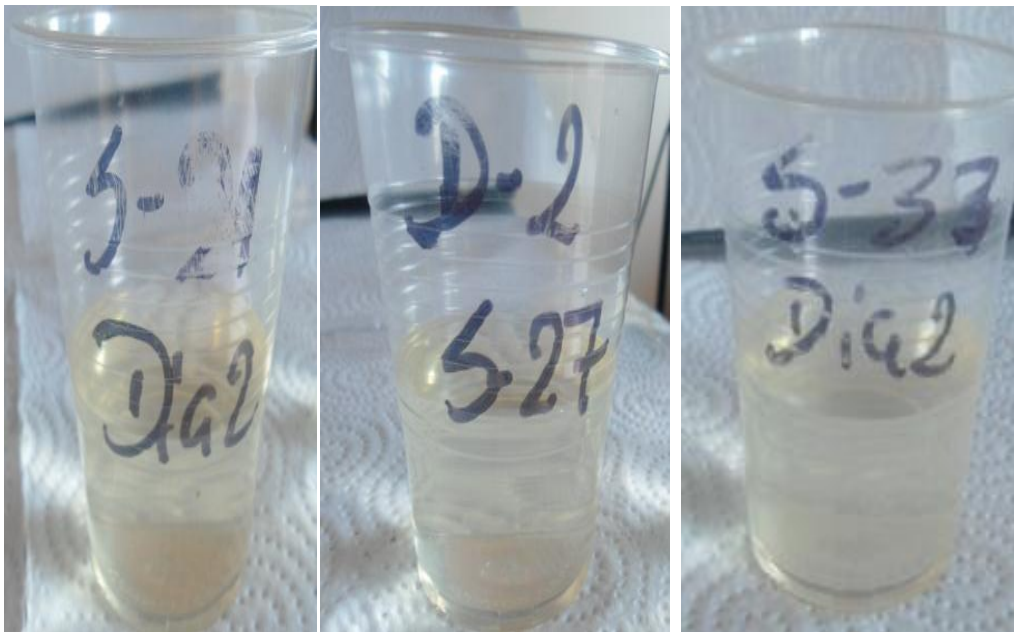
**Figura P 1. Lixiviado al inicio de la aireación.**



**Figura P 2. Cambio de coloración con aireación.**



**Figura P 3. Mejores dosis (día uno). Aireación, coagulación- floculación.**



**Figura P 4. Mejores dosis (día dos). Aireación, coagulación- floculación.**



**Figura P 5. Mejores dosis (día cuatro). Aireación, coagulación- floculación.**



**Figura P 6. Mejores dosis (día seis). Aireación, coagulación- floculación.**



**Figura P 7. Mejores dosis (día ocho). Aireación, coagulación- floculación)**

**ANEXO Q. Fotografías Tratamiento de ozonización, coagulación -floculación.**



**Figura Q 1. Equipo de Ozonización.**



**Figura Q 2. Ozonización de la Muestra de Lixiviado Nativo.**



**Figura Q 3. Mejores dosis (día uno). Ozonización, coagulación- floculación.**



**Figura Q 4. Mejores dosis (día dos). Ozonización, coagulación- floculación.**



**Figura Q 5. Mejores dosis (día cuatro). Ozonización, coagulación- floculación.**