

PARTICIPACION EN LA OPERACIÓN Y MONITOREO DE LA CELDA FINAL
Y RESTAURACION AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO KILILÍ
DIRIGIDO POR LA EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y
ASEO DE PUERTO ASIS - PUTUMAYO

MÓNICA ALEXANDRA ÁLVAREZ HERNÁNDEZ



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2012

PARTICIPACION EN LA OPERACIÓN Y MONITOREO DE LA CELDA FINAL
Y RESTAURACION AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO KILILÍ
DIRIGIDO POR LA EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y
ASEO DE PUERTO ASIS - PUTUMAYO

MÓNICA ALEXANDRA ÁLVAREZ HERNÁNDEZ

Informe final de trabajo de grado modalidad Pasantía, para optar al título de
Ingeniera Ambiental

Director
Ingeniero Civil NAPOLEÓN ZAMBRANO ALFONSO
Docente Programa de Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2012

Nota de Aceptación

El director y los jurados han revisado este trabajo, escuchando la sustentación del mismo por parte del autor y lo encuentran satisfactorio.

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Popayán, Marzo de 2012

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, muy especialmente a Nelly mi madre, que sin duda alguna han creído siempre en mí y con su cariño y apoyo me han enseñado el camino para lograr mis grandes proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy especialmente a todas las personas e instituciones que de una u otra forma han apoyado esta practica profesional:

A Dios por permitirme tener la disposición y voluntad para sobrellevar los diferentes obstáculos en el proceso de aprendizaje, y sobre todo por poner en mi camino a las personas idóneas de quienes recibiría las mejores enseñanzas.

A la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Puerto Asís, por ofrecerme una familia laboral donde pude desarrollar en gran medida mi conocimiento en el tema de residuos sólidos y adquirir una experiencia significativa para mi vida. Y también, y no menos importante, por el grupo humano con el que pude trabajar e intercambiar opiniones durante cinco (5) meses que me brindaron un gran crecimiento personal y profesional.

A la Universidad del Cauca por acogerme durante algo mas de 5 anos en sus aulas y donde pude construir la mayor parte del conocimiento que necesita un buen profesional.

Al Ingeniero Napoleón Zambrano por ser el director de este trabajo de grado y brindarme mucho de su experiencia y conocimiento en los que acerces del mundo de la Ingeniería.

A Carlos Andrés Castro por el apoyo laboral, de quien recibí el acompañamiento total en las actividades realizadas y una amistad incondicional.

A todos mis compañeros de Unicauca de los cuales he aprendido infinitas cosas durante este tiempo de estadía en la universidad, y principalmente por brindarme su amistad.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. JUSTIFICACIÓN	17
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
3. DESCRIPCION DEL PROYECTO	19
3.1 ANTECEDENTES	20
3.1.1 Ubicación	20
3.1.2 Inicio de operación	20
3.1.3 Permisos ambientales	21
3.1.4 Estado del relleno sanitario Kililí, para el mes de Mayo	23
3.1.5 Esta actual celda transitoria 4	25
4. ACTIVIDADES REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS	26
4.1 ETAPA CONSTRUCTIVA DE LA CELDA NÚMERO 5	26
4.1.1 Localización y replanteo	26
4.1.2 Excavación de la trinchera	27
4.1.3 Impermeabilización	29
4.1.4 Sistema de evacuación de lixiviados	31
4.1.5 Sistema de evacuación de gases	32
4.1.6 Clausura celda 4	35
4.2. MONITOREO DE CELDAS TRANSITORIAS	37
4.2.1 Control y monitorio de la etapa operativa	37
4.2.1.1 Operación celda transitoria	37
4.2.1.2 Cuantificación del volumen diario de residuos sólidos	39
4.2.2 Actividades de mantenimiento	41
4.2.2.1 Mantenimiento de canales perimetrales	41
4.2.2.2 Mantenimiento de Planta de tratamiento de lixiviados	42

4.2.3	Monitoreo de estabilidad de las celdas transitorias	43
4.2.4	Indicadores ambientales	46
4.2.5	Monitoreo de lixiviado	47
4.2.6	Monitoreo de evacuación de lixiviado	49
4.3	EVALUACIÓN DE LA EFICIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS	50
4.3.1	Primer muestreo	51
4.3.1.1	Análisis de lixiviado	51
4.3.1.2	Evaluación del grado de intervención sobre el humedal	53
4.3.2	Segundo muestreo	55
4.3.2.1	Análisis de lixiviado	55
4.3.2.2	Evaluación del grado de intervención sobre el humedal	56
4.3.3	Tercer muestreo	57
4.3.3.1	Análisis de lixiviado	58
4.3.3.2	Evaluación del grado de intervención sobre el humedal	59
4.3.4	Carga contaminante del Humedal	60
4.4	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS	61
4.4.1	Campañas de educación ambiental con grandes generadores	61
4.4.2	Vermicompostaje	62
4.4.3	Compostaje con Microorganismos eficientes	66
4.4.4	Análisis de calidad del compost	68
4.4.4	Aprovechamiento de residuos reciclables	70
4.5	IMPACTO VISUAL	72
4.5.1	Sendero ecológico	72
4.5.2	Reforestación e implementación de barreras vivas	73
4.5.3	Reforestación de la celda 4	74
4.5.4	Uso Final	75
5.	CONCLUSIONES	77
6.	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Cuantificación del volumen diaria dispuesto	40
Tabla 2. Monitoreo de estabilidad celda 1	44
Tabla 3. Monitoreo de estabilidad celda 2	45
Tabla 4. Monitoreo de estabilidad celda 3	45
Tabla 5. Monitoreo de estabilidad celda 4	45
Tabla 6. Monitoreo semanal del caudal lixiviado	47
Tabla 7. Calidad del lixiviado efluente (primer muestreo)	51
Tabla 8. Eficiencias Planta de tratamiento de lixiviado (primer muestreo)	51
Tabla 9. Grado de intervención sobre el humedal (primer muestreo)	53
Tabla 10. Calidad del lixiviado efluente (segundo muestreo)	55
Tabla 11. Eficiencias Planta de tratamiento de lixiviado (segundo muestreo)	55
Tabla 12. Grado de intervención sobre el humedal (segundo muestreo)	57
Tabla 13. Calidad del lixiviado efluente (tercer muestreo)	57
Tabla 14. Eficiencias Planta de tratamiento de lixiviado (tercer muestreo)	58
Tabla 15. Grado de intervención sobre el humedal (tercer muestreo)	59
Tabla 16. Carga contaminante efluente del humedal	60
Tabla 17. Calidad de compost EM	68
Tabla 18. Calidad del Vermicompost	69

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Vista aérea celda 4 Kililí	19
Figura 2. Celda transitoria numero 4	19
Figura 3. Botadero a cielo abierto – antes	21
Figura 4. Relleno sanitario - después	21
Figura 5. Celda transitoria 1	23
Figura 6. Celdas transitorias 2,3 y 4	23
Figura 7. Planta de tratamiento de lixiviado	24
Figura 8. Ubicación Celda Sur	26
Figura 9. Replanteo celda sur	27
Figura 10. Chequeo de cotas del terreno	27
Figura 11. Obtención cotas de fondo (trinchera)	27
Figura 12. Canal de anclaje	28
Figura 13. Instalación del sistema impermeabilizante	29
Figuras 14 y 15. Proceso de instalación y sellado	30
Figura 16. Celda sur Impermeabilizada	31
Figura 17. Instalación de sistema de drenaje de lixiviados	32
Figura 18. Sistema de evacuación de gases	33
Figura 19. Celda Sur construida	34
Figura 20. Quemadores finales del gas	34
Figura 21. Celda 4 colmatada	35
Figuras 22 y 23. Etapa de clausura y cobertura final	36
Figuras 24 y 25. Medición de la cobertura final	36
Figura 26. Actividades diarias, manejo de residuos sólidos	39
Figura 27. Determinación de grado de compactación aplicado	40
Figura 28. Mantenimiento del filtro rápido para agua lluvia	41

Figuras 29 y 30. Mantenimiento de canales de agua lluvia	42
Figuras 31 y 32. Mantenimiento Planta tratamiento de lixiviados	43
Figura 33. Variación del caudal de lixiviado	48
Figura 34. Piezómetros	49
Figura 35. Primer muestreo PTAR	52
Figura 36. Humedal	54
Figura 37. Segundo muestreo PTAR	56
Figura 38. Tercer muestreo PTAR	59
Figura 39. Calidad del Humedal	60
Figuras 40 y 41. Capacitación con grandes generadores	61
Figuras 42 y 43. Preparación del material a compost	63
Figuras 44 y 45. Trituración de material orgánico	64
Figuras 46 y 47. Cría de lombriz roja californiana	65
Figura 48. Producto compostado	66
Figura 49. Preparación de camas de compostaje	67
Figura 50. EM	67
Figuras 51 y 52. Preparación del material a compostar	68
Figura 53. Material reciclable aprovechado	71
Figura 54. Trazado del sendero ecológico	72
Figura 55. Preparación del terreno para adoquinar	72
Figuras 61 y 62. Sendero ecológico	73
Figuras 63 y 64. Almacenamiento y embellecimiento de llantas	73
Figura 65. Vivero temporal limón Swinglea	74
Figura 66. Barrera viva con limón Swinglea	74
Figura 67. Reforestación celda 4	75
Figura 68. Esquema parque ecológico	76

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis de agua lixiviada, laboratorio Fundacorh primer, segundo y tercer muestreo

Anexo B. Análisis de compost, laboratorio Fundacorh

Anexo C. Cálculos de eficiencia de la planta de tratamiento de lixiviados

Anexo D. Cálculo del caudal efluente del Humedal

Anexo E. Cartera topográfica de la cuantificación del volumen diario dispuesto y grado de compactación de los residuos sólidos

Anexo F. Cuantificación del volumen dispuesto de residuos sólidos (Auto CAD)

Anexo G. Diseño Sendero Ecológico (Auto CAD)

Anexo H. Esquema de puntos de muestreo

Anexo I. Registro semanal del proceso de compostaje

Anexo J. Planos de diseño celda Sur numero 5

Anexo K. Tablas de relación C:N

GLOSARIO

ACONDICIONAMIENTO DE RESIDUOS: operaciones que transforman los residuos a formas adecuadas para su transporte y/o almacenamiento seguros.

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS: conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

BIODEGRADABLE: sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivientes, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias. Sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos e insectos. Lo contrario corresponde a sustancias no degradables, como plásticos, latas, vidrios que no se descomponen o desintegran, o lo hacen muy lentamente.

BIOGÁS: el conjunto de gases generados por la descomposición microbiológica de la materia orgánica.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS: estudio y determinación de las propiedades de los residuos de un emplazamiento.

COMPOSTAJE: es un proceso de reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación en estado sólido, controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

CONTAMINACIÓN: alteración reversible o irreversible de los ecosistemas o de alguno de sus componentes producida por la presencia o la actividad de sustancias o energías extrañas a un medio determinado. (2) La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL: introducir al medio cualquier factor que anule o disminuya la función biótica.

DESARROLLO SOSTENIBLE: desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad y manejo racional de los recursos naturales.

DISPOSICIÓN FINAL: la acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

EMISIÓN: sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo o subsuelo.

FRACCIÓN ORGÁNICA DE RESIDUOS: parte de los residuos constituida por desperdicios de origen doméstico, como por ejemplo verduras, frutas, carnes, pescados, harinas o derivados, etc., susceptible de degradarse biológicamente, y también por los residuos de jardinería y poda.

GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS: el conjunto articulado e interrelacionado de acciones y normas operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de los residuos sólidos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

LIXIVIADOS: los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua.

MEDIO AMBIENTE: marco animado e inanimado en el que se desarrolla la vida de los seres vivos. Abarca seres humanos, animales, plantas, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como los valores de estética, ciencias naturales e histórico culturales.

METANO (CH₄): componente, entre otros, del gas natural y del biogás. El gas natural es una de las fuentes fósiles de energía. El metano se forma en procesos de degradación anaeróbica, (en pantanos, en los rumiantes y en procesos de tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales). El metano es junto con el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, el principal causante del efecto invernadero.

PRESTADOR DE SERVICIOS: empresa autorizada para realizar una o varias de las siguientes actividades: recolección, transporte, acopio, tratamiento y disposición final de residuos.

PROCESO DE DEGRADACIÓN: proceso por el cual la materia orgánica contenida en la basura sufre reacciones químicas de descomposición (fermentación y

oxidación) en las que intervienen microorganismos dando como resultado la reducción de la materia orgánica y produciendo malos olores.

RECICLAJE: proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU): son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas (viviendas), servicios (hostelería, hospitales, oficinas, mercados, etc.) y tráfico viario (papeleras y residuos viarios de pequeño y gran tamaño.

REUTILIZAR: volver a usar un producto o material varias veces sin "tratamiento", equivale a un "reciclaje directo". El relleno de envases retornables, la utilización de estivas de madera o plástico en el transporte, etc., son algunos ejemplos.

SEPARACIÓN EN LA FUENTE: método de recuperación de materiales reciclables en su punto de generación.

VECTOR: cualquier insecto, artrópodo u otro animal capaz de transmitir enfermedades.

VERMICULTURA: es el cultivo de la lombriz para la descomposición de materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional que ha experimentado en las últimas décadas las principales ciudades del país, debido a la concentración de actividades económicas e industriales, ha propiciado una fuerte demanda de los servicios públicos, rebasando la capacidad de las autoridades para la prestación de éstos con la cantidad y calidad que se requiere.

Ha tomado gran fuerza la problemática ambiental enfocada en la protección del medio ambiente a nivel mundial, y en Colombia la gestión integral de los residuos sólidos. Esta gestión integrada es el término aplicado a todas las actividades asociadas con el manejo de los diversos flujos de residuos dentro de la sociedad y su meta básica es administrar los residuos de tal forma que sean compatibles con el medio ambiente y la salud pública.

Los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y porque cada vez son más, asunto asociado al incremento de la población humana, a los procesos de transformación industrial (globalización), y a los hábitos de consumo de los individuos. Haciéndose necesario un enfoque al desarrollo sostenible, reducción de la generación de residuos sólidos y una verdadera gestión integral de los mismos; por medio de las prácticas de reutilización, recuperación y reciclaje. La sostenibilidad ambiental es una de las grandes metas del siglo XXI, lograrlo significa mucho esfuerzo y sobre todo una verdadera aplicación de la normatividad ambiental municipal, nacional y mundial.

El proyecto denominado “Participación en la operación y monitoreo de la celda final y restauración ambiental del relleno sanitario Kililí dirigido por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Puerto Asís Putumayo” está íntimamente relacionado con la ejecución del Plan de Cierre, Clausura y restauración ambiental del sitio de disposición final Kililí, aprobado mediante la resolución 0039 del 11 de Abril de 2011, ejecutado por La empresa de servicios públicos municipal, el cual considera las actividades de operación, monitoreo, clausura de las celdas transitorias, restauración ambiental, construcción y mantenimiento de los sistemas de drenaje, control de olores, roedores y vectores, obras de post-clausura y mitigación del impacto visual, las cuales buscan garantizar la protección del medio ambiente y reducir cualquier impacto negativo a los diferentes compartimentos ambientales involucrados.

Conociendo la producción per cápita del municipio, era necesario realizar un enfoque al manejo integral de los residuos sólidos, aprovechamiento y separación en la fuente; con ánimos de reducir considerablemente el volumen de residuos sólidos a confinar en las celdas transitorias, y de esta manera aumentar la vida útil

del Kililí. Las estrategias implementadas para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, tienen como base el compostaje con EM (Microorganismos eficientes) y lombricultura; en lo que respecta a los residuos inertes reciclables, campañas de educación ambiental, con estudiantes, comunidad y recuperadores ambientales.

En este informe inicialmente se describe la empresa de servicios públicos donde se llevó a cabo el proceso de pasantía, se exponen sus objetivos, la misión, visión, y reseña histórica; seguidamente las actividades realizadas que con base a los objetivos planteados permitieron desarrollar a cabalidad el proyecto.

1. JUSTIFICACIÓN

Para la ejecución del plan de Cierre, Clausura y Restauración ambiental del sitio de disposición final Killí, es necesario llevar a cabo un proceso en el cual se realicen las actividades como: construcción de nuevas celdas, clausura de celdas transitorias, restauración ambiental del área de trabajo, aplicación de procesos de aprovechamiento de residuos sólidos, monitoreo y control operacional y acciones encaminadas a la reducción de los impactos ambientales generados en estos focos de contaminación.

La complejidad de ésta implementación radica en el desarrollo diario de las actividades debido a que, el volumen diario de residuos sólidos es muy significativo, el impacto visual y la falta de restauración ambiental está muy marcada. Este escenario se convierte en una fuente de conocimientos y de aprendizaje fundamental para un Ingeniero Ambiental.

Las prácticas profesionales brindan la oportunidad de participar en el campo laboral ayudando al mejoramiento de la calidad profesional del estudiante, así como también en la capacidad de gestión y administración de la comunidad, fortaleciendo las bases formadas en la Universidad, lo que beneficia tanto a los actuales profesionales de la ingeniería y a las entidades prestadoras del servicio de Aseo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Participar, durante el tiempo de la pasantía, en las actividades de campo y de oficina, requeridas para la OPERACIÓN Y MONITOREO DE LA CELDA FINAL Y LA RESTAURACION AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO KILILÍ dirigido por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Puerto Asís.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Apoyar en el desarrollo de las actividades de construcción de la celda final número 5, y su posterior operación, donde se implementaran las técnicas reglamentadas en la RAS-2000 para el sistema de Aseo Urbano.
- Monitorear las celdas clausuradas, verificando la estabilidad de los residuos, la producción de lixiviados, controlando así cualquier impacto que pueda ocasionar estos contaminantes en el ambiente.
- Realizar una evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de lixiviado presente en el sitio de disposición final (tanque séptico, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, laguna aerobia), y de la intervención antrópica sobre el humedal receptor del vertimiento final.
- Implementar estrategias para el aprovechamiento de residuos orgánicos y reciclables, en búsqueda de la reducción del volumen de residuos a disponer y la obtención de beneficios agronómicos para la comunidad de Puerto Asís Putumayo.
- Desarrollar actividades de reforestación y embellecimiento para mitigar el impacto visual presente en el relleno sanitario.

3. DESCRIPCION DEL PROYECTO

La Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Puerto Asís Putumayo, es la entidad encargada del manejo y disposición final de los residuos sólidos municipales, opera mediante la aprobación y ejecución del Plan de Cierre, Clausura y Restauración ambiental. Las principales actividades consideradas en este plan son: Operación y monitoreo de celdas transitorias, clausura de celdas colmatadas, restauración ambiental y paisajística, construcción y mantenimiento de los sistemas de drenaje, control de olores, roedores y vectores, construcción de obras de pos-clausura, mitigación del impacto visual y aprovechamiento integral de los residuos sólidos. Cuyo objetivo fundamental es disminuir el impacto ambiental que genera una disposición inadecuada de los residuos sólidos en el municipio de Puerto Asís.

En el Plan de Cierre, Clausura y Restauración Ambiental se soporta en una guía técnica de operación y monitoreo, exigida por la Corporación Autónoma Regional del Sur de la Amazonia “Corpoamazonía”; detallada de manera explícita las actividades, acciones y manejo para el sitio de disposición final; considera dentro de la línea de trabajo, la apertura de dos celdas transitorias con vida útil alrededor de 16 meses, y las cuales permitirían el confinamiento final de los residuos hasta la culminación de su vida útil, tiempo para el cual se debería haber instalado la capacidad de recepción en el nuevo relleno sanitario municipal que reemplazaría al Kililí dado a que este finalizaría su plan de operación, e iniciaría la clausura total y restauración final.

A continuación se detalla el estado del sitio de disposición final Kililí, sus antecedentes y las actividades ejecutadas por parte de la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo antes de iniciar las prácticas profesionales. En las figuras 1 y 2, se observa el estado actual del sitio de disposición final Kililí para el mes de mayo.

Figura 1. Vista aérea celda 4 Kililí



Fuente: Registro aeronáutica civil

Figura 2. Celda transitoria numero 4



3.1 ANTECEDENTES

3.1.1 Ubicación. El relleno sanitario Kililí, se encuentra ubicado a 4.5 km del casco urbano, a 3.1 km en línea recta del centroide del área de prestación del servicio y a 2.5 km en línea recta del aeropuerto 3 de Mayo. Con coordenadas geográficas de origen WGS84 0°31'58,7" N y 076°29'35,3" W. localizado sobre la marginal izquierda de la vía que conduce a Kililí, en la vereda Bajo Danta.

3.1.2 Inicio de operación. El sitio de disposición final Kililí presenta un área de 58.524 m²; operó como botadero a cielo abierto durante 10 años, hasta el 2006; prácticamente en el 90 % del terreno hay presencia de residuos sólidos, todos estos cubiertos con material natural (tierra) y con material arbustivo. Mediante las técnicas ambientales para manejo de residuos estipuladas en la Resolución 1390 de 2005, se obligó a la administración a disponer mediante celdas transitorias los residuos del área afectada y realizar una reacomodación y restauración ambiental del lugar de trabajo.

Durante estos años, la carencia de orden y planificación del municipio fue muy evidente, dado a que la disposición de los residuos en un lugar abierto sin medidas de control y monitoreo generarían riesgos físicos, químicos y biológicos ante la exposición directa de residuos contaminados. Dentro de la descripción del botadero a cielo abierto se podría observar que:

- No poseía disposición controlada de residuos sólidos, ninguna cobertura diaria, Intermedia o final, ningún grado de compactación, ningún control de erosión o de drenaje en el sitio, ningún manejo de lixiviados.
- Ningún manejo del gas producto de la descomposición de los residuos
- Quemadas incontroladas
- Olores desagradables
- Presencia de vectores y animales: moscas, zancudos, caballos, cerdos, perros, etc.
- Basuras en vías aledañas que poco a poco fueron llegando al interior de la fuente hídrica, obstaculizando el tránsito normal de la corriente.
- Recuperación y comercialización de materiales reciclables: papel, botellas, cartón y chatarra, por parte de los recicladores locales, sin aplicación de las medidas de seguridad industrial del personal, desprotegidos de indumentaria y datación adecuada para evitar riesgos para su salud.

En resumen, el botadero Kililí presentaba tantas deficiencias y problemas que la única posibilidad era la clausura definitiva y su remplazo por una instalación de disposición final que satisficiera las condiciones técnicas y ambientales de los

rellenos sanitarios, en un lugar diferente al actual, porque en el mismo ya no existía espacio donde construirlo, excepto para la construcción de las celdas transitorias de la que hablaba la Resolución 1390 de 2005 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Estas razones hicieron indispensable el inicio de la conformación y construcción de celdas transitorias en el sitio de disposición final Kililí, y la reacomodación y ordenamiento del lugar de trabajo para iniciar procesos de clausura y restauración ambiental. En las figuras 3 y 4 se aprecia la transición de botadero a cielo abierto a relleno sanitario.

Figura 3. Botadero a cielo abierto – antes



Fuente: Archivo EAAAP ESP.

Figuras 4. Relleno sanitario - después



3.1.3 Permisos Ambientales

- El artículo 130 del Decreto 1713 de 2002, señaló que a partir de su promulgación, todos los municipios y distritos quedaban obligados a ejecutar todas las acciones necesarias para clausurar y restaurar ambientalmente o adecuar técnicamente los actuales sitios de disposición final que no cumplan con la normatividad vigente.
- El artículo 13 de la resolución 1045 de 2003, emitida por el MAVDT estableció un plazo de 2 años contados a partir de la publicación para realizar la clausura y restauración ambiental de botaderos a cielo abierto o su adecuación a rellenos sanitarios técnicamente diseñados, construidos y operados conforme al plan de manejo ambiental.
- El artículo 21 del decreto 838 de 2005 determinó que sin perjuicio de las actividades establecidas en el PMA le corresponde a las entidades

territoriales y a los prestadores del servicio de aseo recuperar los sitios que hayan sido utilizados como botadero a cielo abierto o transformarlos previo estudio en rellenos sanitarios de ser viable técnica, económica y ambientalmente.

- Mediante la resolución 1390 del 27 de Septiembre de 2005 el MAVDT se dieron las directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia en el artículo 13 de la Resolución 1045 de 2003.
- Los municipios que no contaran con un relleno sanitario y el más próximo excediera los 60km, deberían realizar la construcción de celdas transitorias para disponer sus residuos por un plazo máximo de 3 meses a partir de la vigencia de la presente resolución 1390, las celdas deberían tener capacidad de recepción para el equivalente a la generación de residuos sólidos correspondientes a 36 meses.
- En virtud de lo establecido en la Resolución 1390 de 2005, la Dirección Territorial Putumayo de CORPOAMAZONIA, mediante el Auto DRP. 0573 de octubre de 2005, dio apertura a un proceso administrativo sancionatorio ambiental contra el prestador del servicio de aseo en la cabecera municipal de Puerto Asís y se requirió al ente territorial de Puerto Asís la presentación del Plan de Manejo Ambiental y el Plan de Cierre y Clausura del botadero Municipal Kililí.
- En Marzo de 2006 fue presentado ante la Corporación Autónoma Regional el Plan de Manejo Ambiental y aprobado mediante la Resolución 0644 del 1 de Agosto de 2006 por el término de 1 año contado a partir del acto administrativo.
- La Resolución 0860 del 6 de Septiembre de 2007, amplió el plazo de operación por 12 meses, contados a partir del 1 de Agosto de 2007.
- Mediante la resolución 0719 del 31 de Julio de 2007, se modifica la resolución 0644 del 1 de Agosto de 2006, acto administrativo mediante el cual se aprobó el Plan de Manejo Ambiental primera y segunda fases del sitio de disposición final Kililí.
- Mediante la resolución 1684 de Septiembre de 2008, MAVDT modificó la resolución 1390 de 2005. En el artículo 1, amplió el plazo de operación de las celdas transitorias de que tratan los artículos 5 y 7 de la resolución 1390 de 2005, hasta el 29 de Septiembre de 2009, siempre y cuando la autoridad ambiental verifique el cumplimiento de las obligaciones.

- La resolución 1822 del 22 de Septiembre de 2009, modificó la resolución 1684 de 2008, estableciendo que las actividades de cierre, clausura y restauración ambiental de las celdas transitorias no podrían superar el término de un año, contado a partir del 30 de Septiembre de 2009.
- El 6 de Agosto de 2010, el MAVDT mediante la resolución 1529 modificó el artículo 1 de la resolución 1684 de 2008, ampliando el plazo por 12 mes más, hasta el 29 de Septiembre de 2011.
- La resolución DTP-0039 del 11 de Abril de 2011, aprueba el Plan de Cierre, Clausura y Restauración Ambiental del Sitio de disposición final Kililí.

3.1.4 Estado del relleno sanitario Kililí, para el mes de Mayo. En el Sitio de disposición final Kililí se llevaba a cabo el confinamiento de los residuos sólidos ordinarios generados en el sector urbano del municipio mediante la construcción, operación y clausura de celdas transitorias tipo trincheras, las cuales se encontraban en diferentes etapas, así:

Celda 1: Construida en Febrero de 2006 con vida útil de 13 meses, y actualmente clausurada y con cubrimiento vegetal, reforestada.

Celda 2: Construida en Marzo de 2007 con vida útil de 16 meses y actualmente clausurada.

Celda 3: Construida en Mayo de 2008 con vida media de 19 meses y actualmente clausurada.

Celda 4: Construida en Enero de 2010, con vida útil de 16 meses y actualmente disponible.

Figura 5. Celda transitoria 1



Fuente: Registro aeronáutica civil

Figura 6. Celdas transitorias 2,3 y 4



La transición de botadero a cielo abierto a relleno sanitario se logró mediante la construcción, operación y clausura de cuatro celdas tipo trinchera y combinada, impermeabilizadas con geomembrana de calibre 20 MILS, con sistemas de evacuación de gases mediante chimeneas (extracción pasiva), y sistema de drenaje de lixiviados (red de tuberías en espina de pescado).

El sistema de evacuación de lixiviados estaba compuesto por una red tubería interconectada, que conducía el caudal producido en la celda a una unidad de tratamiento para la remoción de carga contaminante. La planta de tratamiento constaba de un tanque séptico con dos compartimientos, un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente y laguna de oxidación (no operada).

Figura 7. Planta de tratamiento de lixiviado



Fuente: Archivo EAAAP ESP

El caudal afluente al sistema de tratamiento provenía de las cuatro celdas en mención; la celda 1 con un aporte mínimo, las celdas 2 y 3 aportes mayores en época de invierno y la celda 4 con un aporte significativo, dado a que actualmente operaba y permitía la percolación de aguas lluvias, aumentando considerablemente el volumen de lixiviados a tratar.

El efluente del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) era transportado por tubería de 10" en PVC hasta el humedal receptor, ubicado hacia el suroeste del relleno sanitario; el cual como todo sistema natural realizaba la bioasimilación de carga contaminante y macronutrientes contenidos como N y P. Desde finales del mes de Mayo se inició la operación en la laguna de oxidación, con ánimos de mejorar la eficiencia en remoción de parámetros críticos de la calidad del lixiviado.

Para la extracción de gases, se había trabajado con un sistema de chimeneas compuestas por tubería perforada revestida en piedra y malla para gavión,

colocados en posición vertical, amarrados sobre el sistema de evacuación de lixiviados. La restauración paisajística se había realizado con empradización de la superficies, siembra de césped y especies nativas cuyas raíces eran poco profundas y de fácil crecimiento en terrenos tan intervenidos por el hombre.

Hasta el momento las tres primeras celdas transitorias se encontraban en la etapa de post-clausura, mediante las acciones de embellecimiento que se realizan sobre la superficie de las mismas. Sobre estas se adelantaría la adecuación de un sendero ecológico delimitada por especies nativas y árboles frutales.

3.1.5 Estado de la celda transitoria 4

Para inicios del mes de Mayo, en el sitio de disposición final de residuos sólidos del municipio de Puerto Asís, se operaba una celda tipo combinada con dimensiones 40m * 65m y una profundidad promedio de 4 m, inclinación de taludes 3:1 (H: V), la celda estaba impermeabilizada con geomembrana calibre 20 MILS; evitando la percolación de aguas lixiviadas a través del suelo permeable hacia depósitos de agua subterráneas.

Una vez impermeabilizado el fondo de la celda, instalado el sistema de recolección de lixiviados y las chimeneas para la evacuación de gases, se aplicó una capa de material permeable (arena gruesa) sobre la geomembrana; la cual buscaba permitir la filtración y el fácil traspaso de los residuos líquidos hacia el sistema de colectores, evitando la colmatación de estos ductos por la presencia de partículas de gran tamaño y a la vez protegiendo la geomembrana de materiales corto punzantes que pudieran generar averías en este tipo de material sintético y por ende riesgo de contaminación.

La celda transitoria número 4, se encontraba en su nivel máximo de colmatación y se hacía necesario el cese de actividades y la respectiva clausura, dado a que su tiempo de vida media estaba próximo a culminar.

4. ACTIVIDADES REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 ETAPA CONSTRUCTIVA DE LA CELDA NÚMERO 5

El Plan de Cierre, Clausura y Restauración Ambiental del sitio de disposición final Kililí, consideraba dentro de su diseño, la construcción y operación de la celda transitoria número 5, denominada celda Sur. Esta con ánimos de garantizar la recepción de residuos sólidos municipales y dar una disposición tecnificada reduciendo notablemente la generación de situaciones adversas al medio ambiente y a la comunidad. El apoyo a la etapa constructiva de la celda sur, tuvo como objeto de monitoreo y control de las siguientes actividades:

4.1.1 Localización y replanteo

Figura 8. Ubicación Celda Sur



Fuente: Aeronáutica civil

Fácilmente se aprecia en la fotografía aérea, el área destinada para la construcción y operación de la celda Sur, celda final número 5. El proceso de localización y replanteo fue la primera actividad llevada a cabo para identificar y materializar puntos de referencia con base en el levantamiento topográfico realizado en la etapa de diseño. En éste, con ayuda de equipo de topografía como teodolito y nivel de precisión se instalaron puntos de control para chequeos del área de trabajo y cotas de fondo, fundamentales en el proceso de excavación.

Figura 9. Replanteo celda sur



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Chequeo de cotas del terreno



Una vez finalizada la etapa de replanteo y localización del área de trabajo, se realizó el retiro de la cobertura vegetal y descapote de área a intervenir. La etapa de excavación inició una vez el terreno estaba libre de material arbustivo de gran tamaño. La maquinaria de trabajo fue una retroexcavadora MARCA DAEWOO MODELO 94 DH 200 LC con brazo hidráulico mayor a 3 metros y un Máquina BULLDOZER TIPO D6 MARCA KOMATSU SERIE 34855.

4.1.2 Excavación de la trinchera. La excavación tiene por objetivo remover el material necesario para hallar en terreno las cotas de diseño de la trinchera y adecuar taludes de tal manera que no causen erosión y se pueda dar una buena estabilidad a la celda. Se trabajó con pendiente 2:1 (H:V), el fondo de la trinchera se construyó con pendiente del 2% para lograr una buena conducción de las aguas de lixiviadas a los drenajes instalados, y de esta manera poder evitar acumulación de líquidos y poner en peligro la estabilidad de la obra.

Figura 11. Obtención cotas de fondo (trinchera)



Fuente: Elaboración propia

Se removió aproximadamente 3984 m³ de tierra, para lograr las cotas de fondo que con base en los diseños son las aptas para garantizar la buena disposición de los residuos sólidos sin poner en riesgo la estabilidad y los compartimentos ambientales relacionados.

La celda sur, se construyó con dimensiones de 49m de larga, con 28m de ancho en la base menor y 34m de ancho en la base mayor, similar en planta a un trapecio y su volumen corresponde a un tronco de pirámide con una profundidad media de 4.6m, con inclinación de taludes de 2:1. Su capacidad de almacenamiento es de 3635m³, la cual con una densidad de 1.4 Ton/ m³ (densidad calculada en campo) proporcionada por el equipo compactador (Bulldózer tipo oruga) permite almacenar un volumen de 5090 m³ de residuos sólidos equivalentes a 6 meses de recepción.

Figura 12. Canal de anclaje



Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizada la etapa de excavación y obtenidas las cotas de fondo que garantizarían el libre drenaje de los lixiviados al sistema de recolección; se recomendó la remoción manual de material corto-punzante, raíces de árboles, y cualquier tipo de residuo que pudiese generar daños a la geomembrana impermeabilizante una vez instalada e igualmente riesgo de contaminación subterránea. Para la instalación del material sintético fue necesario la construcción de canales perimetrales de 0.3m * 0.3m a 1 metro del borde de la celda, para poder realizar el anclaje y garantizar la estabilidad de la geomembrana; este fue realizado con mano de obra no calificada. En la figura 13 se puede apreciar el canal de anclaje.

4.1.3 Impermeabilización. El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, nos enuncia dos tipos de sistemas impermeabilizantes con sus ventajas y condiciones; la impermeabilización natural realizada con material limo-arcilloso y la sintética realizada con geomembrana; para la primera es necesario la instalación de una barrera de arcilla compactada de por lo menos 30 cm de espesor que posea una conductividad hidráulica menor o igual de 1×10^{-7} cm/s, con requisitos de suelos finos $\geq 20\%$ - 30% , un índice de plasticidad $\geq 20\%$ y un porcentaje de suelo grueso $\leq 30\%$.

En caso que la capa del suelo no lograrse la permeabilidad que se requiere, se pueden utilizar aditivos como bentonita y caolinita, teniendo en cuenta no usar aditivos con altos índices de plasticidad ($I_p > 30-40\%$), por la dificultad que presentan en el trabajo en campo.

Figura 13. Instalación del sistema impermeabilizante



Fuente: Elaboración propia

Para la segunda opción, la RAS 2000 recomienda el uso de material sintético como geomembranas, la cual con una adecuada instalación pueden ser la mejor opción en lugares con características de permeabilidad significativa. En el proceso de diseño y planificación de la obra, se consideró como mejor alternativa la impermeabilización con geomembrana calibre 20 MILS, dado a la presencia de material limoso de alta plasticidad (MH) y de baja permeabilidad con una resistencia a la compresión inconfiada de 15.1 ton/m^2 de acuerdo a los resultados de estudios de suelos realizados a muestras inalteradas tomadas a una profundidad de 4.8 m. Según el estudio de suelo la conductividad hidráulica es baja, no inferior a la recomendada pero si muy próxima; se trabajó con geomembranas como factor de seguridad para garantizar la no percolación de las aguas lixiviadas al suelo y capas subterráneas. En la elección del tipo de

geomembrana a utilizar se tuvo en cuenta la resistencia química frente al lixiviado para corto, mediano y largo plazo de tal forma que no hubiese deterioro en sus características mecánicas por reacciones con el líquido que la inhabiliten para cumplir su función, de igual manera se supervisó el proceso de unión y sellado del material el cual es vital para garantizar la eficiencia del sistema.

En la etapa anterior, etapa de excavación, se mencionaba la importancia de tener el terreno libre de material como rocas, raíces, exceso de agua y residuos cortopunzantes, que pudiesen ocasionar daño al sistema; por esta razón se realizó inspección visual y táctil del área.

Figuras 14 y 15. Proceso de instalación y sellado



Fuente: Elaboración propia

Se contrató suministro e instalación de la geomembrana con Geopolímeros Ltda. Empresa dedicada a esta labor, que con su experiencia en el mercado puede garantizar la durabilidad y eficiencia del sistema. El proceso de unión y sellado fue llevado a cabo por un profesional especializado con ayuda de mano de obra no calificada para el cargue, desdoble y anclaje de la geomembrana. Se utilizó equipo como: selladoras y trías, con esto garantizando una óptima unión de todo el material a instalar. Para el control de calidad, la empresa encargada de la instalación lleva una muestra para realizar una prueba de juntas según las normas ASTM D4437-84, D4545-86 y D5820-95.

Figura 16. Celda sur Impermeabilizada



Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 se puede apreciar el sistema de anclaje, que como se enunció anteriormente corresponde a un canal perimetral de 0.3m * 0.3m a 1 metro del borde de las celdas Sur. En este caso se utilizó gravilla para el anclaje y no tierra como es de costumbre, dado a que, como la topografía del terreno muestra que la escorrentía se dirige a la celda, se utilizaría el canal como un filtro recolector de aguas lluvias, el cual con una pendiente mínima del 2% garantizaría el buen drenaje y evacuación de estas aguas impidiendo su entrada a la celda.

De otra parte la capacidad portante del suelo de cimentación obtenida en las pruebas respectivas; garantizan la estabilidad de la obra durante su etapa de operación y post-clausura. Puesto que el peso de la columna final de residuos dispuesta sobre un metro cuadrado de suelo; es inferior a la resistencia del suelo. Lo anterior teniendo en cuenta que la densidad compactada de los residuos obtenida en campo fue de 1.4 ton/ m³ aproximadamente.

4.1.4 Sistema de evacuación de lixiviado. En todo relleno sanitario y/o celda transitoria dispuesta para el confinamiento final de los residuos sólidos, encontramos gran variedad de desechos que por sus características pueden generar disoluciones al pasar agua a través de ellos. Los lixiviados son líquidos oscuros que se producen por la descomposición de la materia orgánica y el agua que entra al relleno por la precipitación, los cuales al fluir, disuelven sustancias y arrastran partículas contenidas en los residuos. La composición de los lixiviados varía mucho de acuerdo con el tipo de residuos, las precipitaciones en el área, las velocidades de descomposición química y otras condiciones del lugar, pero todos coinciden en poseer una alta carga orgánica.

Es necesario garantizar la evacuación del lixiviado fuera de la celda transitoria, mediante sistemas de recolección y conducción. Como se enunció anteriormente en la etapa de excavación, se conformó la trinchera cuya pendiente del terreno

garantizaría el drenaje de los líquidos lixiviados hacia los sistemas de recolección, y facilitaría la evacuación de estos, fuera de la celda. Sobre el terreno impermeabilizado se procedió a la localización del sistema de filtros conforme a los diseños presentados, el cual fue similar al de un sistema espina de pescado.

Figura 17. Instalación de sistema de drenaje de lixiviados



Fuente: Elaboración propia

El sistema para el drenaje de los lixiviados fue constituido con tubería perforada en PVC de 6" de diámetro, cubierta por material granular de alta permeabilidad (grava con diámetro oscilante entre 1"-2"), facilitando el paso de los lixiviados hacia el interior del conducto y sin obstaculizar los orificios de entrada. Esta tubería se perforó en toda su longitud con orificios de $\frac{3}{4}$ " de diámetro separados cada 5 cm, hechas mediante el empleo de taladro y broca.

4.1.5 Sistema de evacuación de gases. Conociendo que un relleno sanitario no es otra cosa más que un digestor anaeróbico en el que, debido a la descomposición natural o putrefacción de los residuos sólidos, principalmente orgánicos, no sólo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos. La descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, ocurre en dos etapas: aerobia y anaerobia.

En la primera el oxígeno está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados, siendo rápidamente consumido. En cambio en la segunda, ausencia total de oxígeno, que es la predominante en un relleno sanitario y generadora de cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases desagradables como ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos.

Figura 18. Sistema de evacuación de gases



Fuente: Elaboración propia

El gas metano reviste el mayor interés en nuestro estudio, porque a pesar de ser un gas inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases. El sistema implementado para la evacuación de estos gases fue mediante una extracción pasiva por medio de chimeneas de drenaje vertical en piedra. Este drenaje está constituido por un sistema de ventilación de tubería perforada de PVC revestidas en piedra, que funcionará a manera de chimeneas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie.

El sistema constructivo de las chimeneas consiste en el empleo de una malla metálica de triple torsión (empleada para la construcción de muros en gavión), con la cual se hace un cubo de 1 metro; abierto en su parte superior; de tal manera que sea posible introducir el material granular de origen aluvial, utilizado como recubrimiento de los ductos de extracción.

Una vez se retiró la capa de grava que se tiene sobre el filtro de lixiviados se interconectó los drenes mediante Tee, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario y buscando liberar las presiones generadas al interior del sistema de recolección y transporte de lixiviado. Sobre el área despejada del filtro se armó el gavión y se colocó en su interior de una tubería PVC sanitaria de 6" de diámetro con perforaciones de ½ pulgada de diámetro en toda su periferia. Una vez colocada la tubería, se llenó el gavión con el material granular.

Figura 19. Celda Sur construida



Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior se evidencia una capa de tierra-arena en el fondo de la celda; esta fue recomendada con el objetivo de actuar como filtro y evitar el acceso de material de gran tamaño que pudiese obstaculizar la evacuación del lixiviado; además para proteger la geomembrana contra las primeras capas de residuos que fácilmente pueden contener materiales punzantes, vidrios, latas entre otros.

Una vez se inicie la etapa de clausura de la celda transitoria, se instalará un sistema de evacuación permanente como los empleados en las celdas 1, 2, 3 y 4 clausuradas que consiste en una transición a la tubería de extracción, pasando de una sección de diámetro mayor a una sección mucho más reducida. De tal manera que se logre concentrar los gases generados en el interior de las celdas en una tubería de diámetro pequeño ($\frac{1}{2}$ " para la respectiva quema de este.

En el sitio de disposición final Kililí solo se realizaba la quema del gas hasta la clausura de las celdas transitorias, se recomendó instalar quemadores para las chimeneas de la celda sur, con ánimos de reducir la emisión de metano a la atmosfera estimando que el volumen generado es aún mayor en la etapa de operación.

Figura 20. Quemadores finales del gas



Fuente: Elaboración propia

Toda la fase constructiva de la celda transitoria tiene como objetivo fundamental, garantizar la protección del medio ambiente, y crear armonía entre las actividades humanas y la naturaleza; de igual manera, el proyectarse a un desarrollo sostenible es la base primordial de las expectativas ambientales; y para su aplicabilidad tenemos la normatividad ambiental Colombia.

4.1.6 Clausura celda 4. La clausura de una celda transitoria implica la finalización o el cese de las operaciones para la disposición de residuos sólidos, de manera que ya no se acepta el ingreso de residuos sólidos a la celda, siendo necesario la disposición en una nueva si aún el lugar cuenta con capacidad instalada. En esta etapa, la celda se cubre con un material denominado cobertura final con el ánimo de dar seguridad a la estructura y eliminar focos de contaminación, posteriormente se lleva a cabo de la etapa de restauración ambiental.

Una vez se finalizó la etapa de construcción de la celda Sur, se inició el proceso de clausura de la celda 4, dado a que su tiempo de vida útil había culminado.

Figura 21. Celda 4 colmatada



Fuente: Elaboración propia

Según recomendaciones de la RAS 2000, la cobertura final debe estar entre 0.45m-0.6m de espesor de material arcilloso y con baja permeabilidad con el fin de cumplir con las siguientes condiciones:

- Prevenir la percolación de agua pluvial hacia el interior del relleno
- Promover el drenaje del agua superficial hacia fuera del sitio
- Prevenir la erosión de la cubierta final
- Prevenir la fuga incontrolada de biogás, dependiendo de las condiciones específicas del sitio.

Figuras 22 y 23. Etapa de clausura y cobertura final Celda 4



Fuente: Elaboración propia

Se había recomendado cobertura de 0.60 m, pero por motivos económicos se redujo a 0.55 m, estos una vez compactados con el Bulldózer tipo oruga garantizaron el aislamiento definitivo de los residuos sólidos dispuesto del ambiente y así impedir impactos no favorables para el sistema, facilitando la etapa de restauración ambiental.

Figuras 24 y 25. Medición de la cobertura final



Fuente: Elaboración propia

4.2 MONITOREO DE CELDAS TRANSITORIAS

4.2.1 Control y monitoreo de la etapa operativa (celda final). Se define un relleno sanitario como las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos no reciclables ni aprovechables, diseñada para minimizar el impacto ambiental potencial generado por los desechos. Para la adecuada gestión de un relleno sanitario se debe desarrollar exitosamente todas las etapas asociadas, específicamente la operacional, y garantizar un control de los siguientes elementos:

- Control de lixiviados
- Control de gases
- Análisis y control de estabilidad
- Monitoreo ambiental durante la operación

4.2.1.1 Operación. El proceso operativo de cada celda transitoria cuenta con diferentes etapas como: recolección, transporte, disposición, compactación, estabilización de pH, cubrimiento temporal. Adicionalmente cuando se realiza aprovechamiento de residuos se incluye la etapa de selección y clasificación. A continuación se detalla el desarrollo de cada etapa llevada a cabo en el sitio de disposición final Kililí.

- **Recolección:** En el municipio de Puerto Asís se ha diseñado y trabajado con 4 macro-rutas, divididas entre un vehículo compactador de residuos con capacidad de 10 Ton y un vehículo estilo volqueta con capacidad de 5 Ton; la frecuencia de recolección es de 3 veces/semana, lo que implica operación los 6 días de la semana (Lunes-Sábado). Cada Macro-ruta tiene identificada la micro-ruta, la cual se diseñó con ánimos de reducir distancias muertas y reducir el tiempo de recolección.

Se había determinado que 32.5 Ton/día era la cantidad de residuos recolectados por la empresa prestadora del servicio en casco urbano; por motivos de ampliación de cobertura se presta el servicio a los corregimientos y veredas cercanas al municipio, con el fin de reducir las disposiciones inadecuadas de los residuos sólidos y la contaminación ambiental generada por esto. Debido a que no se cuenta con sistema de pesaje a la entrada del Kililí, se lleva simplemente un registro diario de la hora y salida de los vehículos, así como la estimación de la cantidad de residuos que recoge en cada viaje.

- Transporte: Una vez el vehículo cuenta con la capacidad ideal de carga, debe dirigirse al lugar de confinamiento final a realizar el debido descargue y si aún hay ruteo faltante, regresar hasta terminarlo. Se determinó que el centroide de recolección era en el sector denominado como la Galería, la distancia del centroide al lugar disposición final es de 4.5 km, y tiempo aproximado 30 minutos en vuelta completa, considerando la llegada al Kililí, el descargue y el regreso al área de recolección.
- Descargue y compactación de residuos sólidos: Una vez ingresa el vehículo recolector al área de trabajo en el sitio de disposición final, se lleva a cabo el descargue de todos los residuos recolectados en la jornada, e inmediatamente con ayuda de un Bulldózer tipo oruga se realiza la adecuación y compactación de los residuos sólidos. Se está suministrando una presión tal que aumenta la densidad a 1.4 Ton/m^3 , esto siendo muy útil para la reducción del espacio en la celda y para prolongar la vida útil de cualquier relleno sanitario.
- Estabilización del pH: Dado a que en el municipio de Puerto Asís no se ha diseñado el proyecto de separación en la fuente de residuos sólidos, es muy habitual encontrar desechos mezclados de todo tipo, donde los orgánicos son mayoritarios. Conociendo que las reacciones de oxidación de materia orgánica libera sustancias con pH muy bajos, que son propias para la formación de ácidos de olor característico como ácido sulfhídrico (H_2S), y sustancias como amoniaco (NH_3) y mercaptanos; es indispensable realizar una estabilización del pH por medio de sustancias químicas como hidróxido de calcio, y demás formas de bases capaces de neutralizar la gran acides provocada por los residuos orgánicos.
- Cubrimiento diario: Sabemos que un relleno sanitario y/o una celda transitoria en operación es una fuente activa para aves de carroña y animales callejeros, es necesario controlar y reducir parcial o totalmente este problema. La RAS 2000 recomienda cubrimientos diarios con material natural como tierra-arena, gravilla, etc, aproximadamente 0.2 m de espesor para aislar totalmente a los residuos una vez finaliza la jornada de trabajo; pero en algunos lugares como el Kililí, hay ausencia total de fuentes para extraer este tipo de material, se recomendó el uso de cobertores sintéticos denominados geo-textiles no tejidos como aisladores temporales de los residuos sólidos. El cubrimiento diario en la celda Sur redujo notablemente el impacto visual negativo generado en el relleno sanitario Kililí.

Figura 26. Actividades diarias, manejo de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia

Las actividades enunciadas anteriormente, son realizadas en cada jornada de trabajo como acciones obligatorias encaminadas a la adecuada operación de las celdas transitorias y tendientes a garantizar la reducción de efectos adversos al medio ambiente y a la salud de los trabajadores.

4.2.1.2 Cuantificación del grado de compactación y volumen diario de residuos sólidos dispuestos. Para cuantificar el grado de compactación de los residuos sólidos en la celda transitoria es necesario tomar un volumen como referencia y determinar la cantidad de material dispuesto en peso. Para el ensayo realizado se tomó un área de 50*50 cm, y una profundidad de 70 cm. Mediante el empleo de equipo de mano se pudo realizar la excavación y extraer el material contenido en ella; este una vez pesado y mediante cálculos matemáticos se pudo estimar que la compactación que había sido aplicada era de 1.4 ton/ m³ aproximadamente, similar a la realizada meses atrás por pasantes anteriores.

Figura 27. Determinación de grado de compactación aplicado



Fuente: Elaboración propia

Conociendo que la compactación es una de las actividades operacionales determinantes del buen funcionamiento y de la prolongación de la vida útil de cualquier sitio de disposición final, el verificar y constatar esta aplicación es una manera de garantizar la estabilidad de la celda.

Se cuantificó el volumen disponible de la celda para los primeros 30 días con ánimos de conocer y verificar tanto el grado de compactación como el volumen real ocupado y el volumen real disponible; con base en esto conocer los m³ en día que se disponen en el Kililí; el ejercicio se realizó de igual manera para el día 80 y el día 130. Los datos se obtuvieron en el terreno mediante el empleo de equipo topográfico, para facilidades de trabajo se habían dejado materializados puntos de referencia, y cotas fijas como BM.

Los resultados obtenidos se relacionan en la tabla 1.

Tabla 1. Cuantificación del volumen diaria dispuesto

Tiempo de operación (días)	Volumen ocupado (m³)	Volumen disponible (m³)	Volumen diario (m³)	Grado de compactación (Ton/m³)
30	660.7	2974.3	22.02	1.47
80	1915.1	1719.9	23.9	1.36
130	2924.5	710.5	22.5	1.45

Fuente: Elaboración propia

Los datos anteriores corresponden a las 32.5 Ton/día producida en el municipio de Puerto Asís.

4.2.2 Actividades de Mantenimiento. En el sitio de disposición final Kililí se han construido canales perimetrales para la recolección de aguas lluvias y la evacuación de estas, con ánimos de reducir la incidencia sobre la celda transitoria en operación. Conociendo que Kililí fue un botadero a cielo abierto durante muchos años, era muy probable que materiales mal dispuestos generaran contaminación al agua de escorrentía; por esta razón diseñaron y construyeron un tratamiento para las aguas lluvias, el cual consistió en un filtro rápido en grava de flujo descendente cuyo objetivo fundamental era el de eliminar contaminantes del agua.

El filtro rápido como toda unidad de tratamiento requiere mantenimiento, cambio del material filtrante, eliminación de sólidos suspendidos de gran tamaño arrastrados en las fuertes lluvias y demás actividades para garantizar la eficiencia del tratamiento. En los manuales operativos de la planta de tratamiento se recomiendan mantenimientos cada año para el filtro rápido y cada 2 años para la PTAR. Ciñéndonos a esto se realizó el mantenimiento de la unidad para mejorar eficiencia en remoción. Dado que se desconoce la calidad del agua de escorrentía recogida y la eficiencia de la unidad por ausencia total de análisis de agua, se considera esta unidad como un factor de seguridad cuando el agua de escorrentía se pudiese contaminar con aguas lixiviadas.

Figura 28. Mantenimiento del filtro para aguas lluvias



Fuente: Elaboración propia

4.2.2.1 Mantenimiento de canales perimetrales. Los canales perimetrales encargados del drenaje de las aguas lluvias, son de uso fundamental en el relleno sanitario; siendo que son canales naturales sin revestimiento el rápido crecimiento de cobertura vegetal es notorio; esto hace indispensable un control y monitoreo de actividades para la adecuación y limpieza de los canales. En las imágenes se puede apreciar jornadas de recolección de materiales sólidos que por acción de la lluvia y vientos terminan en éstos, y desmonte de los mismos para una más rápida evacuación de las aguas lluvias.

Figuras 29 y 30. Mantenimiento de canales de aguas lluvias



Fuente: Elaboración propia

Para estas actividades es necesario el empleo de equipo manual y funcionarios operativos que puedan remover y disponer adecuadamente los residuos recolectados en los canales perimetrales. Estas jornadas de mantenimiento fueron realizadas mensualmente, dado a que por condiciones climatológicas y características del suelo (abundante en materia orgánica) el crecimiento de especies es rápido. Igualmente por los fuertes vientos diariamente material liviano es arrastrado a canales perimetrales.

4.2.2.2 Mantenimiento de Planta de tratamiento de lixiviado. La planta de tratamiento de aguas lixiviadas o residuales, es la unidad encargada de reducir en nivel de contaminación de los líquidos efluentes de las celdas transitorias y permitir una remoción conforme a lo estipulado en la normatividad ambiental Colombiana. La planta de tratamiento del relleno sanitario consta de : un tanque séptico, un Filtro anaerobio de flujo ascendente y una laguna de oxidación. Estas unidades tienen como objetivo primordial remover DBO5, DQO, SST, N, P, metales pesados y demás contaminantes característicos de los lixiviados.

Al ser unidades de tratamiento anaerobias y aerobias, tienen producción de lodos a diferentes velocidades dado que unos sistemas son más lentos que otros, pero es indispensable realizar a cada unidad un mantenimiento periódico cada 1 o 2 años, según el sistema, para remover cierta cantidad de lodo acumulado que en gran volumen puede generar resuspensión de sólidos. Sin embargo algunas actividades semanales como remoción de espumas, material suspendido ayudan a que el tratamiento no pierda eficiencia.

Figuras 31 y 32. Mantenimiento Planta tratamiento de lixiviados



Fuente: Elaboración propia

El primero de Julio, se realizó un mantenimiento general de la planta de tratamiento de lixiviados para remover lodo acumulado durante los últimos 4 años, última fecha registrada en libros operativos (13/09/2007). Para esta actividad se trabajó con equipo manual como baldes, coladores, palas y equipo mecánico como motobombas para la evacuación total del agua, igualmente fue necesario el equipo de trabajo operativo que están capacitados para este tipo de actividad con alto riesgo biológico; el HSQ de la empresa verifico que las medidas de protección personal fueran las adecuadas para garantizar la reducción de efectos adversos a la salud de los trabajadores y que las condiciones mínimas de trabajo fueran las acordes al tipo de actividad realizada.

Todo sistema de tratamiento anaerobio como el encontrado en la primera sección, tanque séptico y FAFA, requieren para su arranque una inoculación previa con lodo activo o con material de alta carga microbiológica, esto para hacer que el sistema inicie su remoción de carga contaminante rápidamente dado a que por sí el sistema tardaría meses en dar la eficiencia requerida. Para la inoculación se agregó un pequeño porcentaje del lodo extraído y estiércol bovino fresco.

4.2.3 Monitoreo de la Estabilidad de las celdas transitorias. En todos los lugares de confinamiento final mediante celdas transitorias, encontramos presencia notable de residuos orgánicos e inorgánicos, los cuales tienen velocidades de descomposición variables, que dependen del tamaño de la partícula, forma, densidad, los componentes químicos, la cantidad de microorganismos presentes, el oxígeno disponible, la humedad, la temperatura, el pH, entre otras.

Sabiendo que la descomposición de los materiales dispuestos puede generar tres grandes productos como son: producción de lixiviados, producción de gases y

asentamientos de la corteza; es necesario tener un control exhaustivo de cada variable. Anteriormente se mencionó los sistemas para recolección y evacuación de gases y lixiviados, ahora se mencionarán las medidas de control de asentamientos y hundimientos que afectan la estabilidad de las celdas transitorias.

Conociendo que los hundimientos y asentamientos pueden poner en riesgo la estabilidad de las celdas y generar un riesgo latente de contaminación, es primordial resaltar las causas que conllevan a estos problemas. Se identificó que la elevada altura de las celdas, el inicio de descomposición de los residuos sólidos, la compactación deficiente, depósitos de residuos orgánicos junto con inorgánicos (diferencia en velocidad de descomposición) y llenado irregular de las celdas ocasionan problemas de hundimientos y asentamientos no aptos en rellenos sanitarios, dado a que sería inminente los encharcamiento de agua, incrementando la generación de lixiviados, mayor producción de biogás y la reducción del crecimiento de especies vegetales.

Para reducir el riesgo de asentamientos y hundimientos en el Kililí se ha venido desarrollando una serie de actividades tendientes a mejorar la estabilidad de las celdas, estas son: buena compactación, recuperación de materiales voluminosos, nivelación de áreas para favorecer los escurrimientos y llenar las depresiones con material de relleno si estas son evidentes.

Para el monitoreo de la estabilidad y grado de asentamiento, se utilizó mojones (cilindros en concreto) que enterrados y asignado un valor de cota servirían como BM fijo para determinar niveles específicos. Haciendo uso un nivel de precisión se instalaron 4 puntos en cada celda clausurada para tomar lectura del nivel cada mes, y determinar así, si se producen asentamientos significativos con el paso del tiempo.

Tabla 2. Monitoreo Celda 1

CELDA 1	1	2	3	4	Fecha lectura
Mayo (Lectura base)	1.37	1.41	1.42	1.43	(10-May-11)
Junio	1.37	1.41	1.42	1.43	(15-May-11)
Julio	1.37	1.41	1.42	1.43	(21-Jul-11)
Agosto	1.37	1.41	1.42	1.43	(30-Ago-11)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Monitoreo Celda 2

CELDA 2	1	2	3	4	Fecha lectura
Mayo (Lectura base)	1.45	1.51	1.48	1.49	(10-May-11)
Junio	1.45	1.51	1.48	1.49	(15-May-11)
Julio	1.45	1.508	1.48	1.488	(21-Jul-11)
Agosto	1.45	1.508	1.479	1.488	(30-Ago-11)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Monitoreo Celda 3

CELDA 3	1	2	3	4	Fecha lectura
Mayo (Lectura base)	1.52	1.56	1.53	1.545	(10-May-11)
Junio	1.52	1.56	1.53	1.545	(15-May-11)
Julio	1.52	1.55	1.53	1.545	(21-Jul-11)
Agosto	1.51	1.55	1.53	1.545	(30-Ago-11)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Monitoreo Celda 4

CELDA 4	1	2	3	4	Fecha lectura
Junio (Lectura base)	0.89	0.78	0.85	0.87	(15-May-11)
Julio	0.91	0.80	0.87	0.88	(21-Jul-11)
Agosto	0.92	0.80	0.88	0.90	(30-Ago-11)

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados anteriores, es evidente que para la celda clausurada 1, no se halló asentamiento alguno, esto dado a que su tiempo de clausura es próximo a los 5 años, y es normal que haya disminución de la actividad bioquímica la cual influye directamente en los asentamientos.

Para la celda 2 hubo un asentamiento poco significativo pero apreciable, esto puede verse reflejado en una deficiente compactación, considerando que en años anteriores el trabajo operativo no era monitoreado por la autoridad ambiental y no se disponía de personal calificado para supervisión de actividades.

Para la celda 3 se determinó cambios significativos en algunos puntos, asentamientos de 0.5-1 centímetros en 4 meses de registro es aceptable, dado a que lleva 17 meses de clausura y la actividad bioquímica aún sigue activa, influyendo en asentamientos visibles pero no adversos al medio; está en condiciones normales, solo se debe monitorear y controlar posibles erosiones del suelo y agrietamiento.

Para la celda 4, las variaciones en los 3 meses de monitoreo oscilaron entre 2-3 centímetros, esto es apreciable por el poco tiempo de cierre y clausura que lleva, viéndose aún afectada por las reacciones bioquímicas en el interior de la celda y por la diferencia de velocidades de descomposición, visibles hundimientos son normales siempre y cuando se puedan controlar y rellenar con material natural.

Esto es aceptable dado a que en el Killí ni en Puerto Asís se ha realizado aprovechamiento de material orgánico, ni separación en la fuente que lo permita, de manera que todos los residuos sólidos han sido dispuestos en la misma celda sin valorar la afección que generarían con el paso del tiempo. Según la caracterización de residuos hecha en el PGIRS, el 51 % de los desechos son orgánicos, los restantes se asocian a plásticos, vidrios, metales, cartón, papel, textil, y otros; esto justifica que a pesar de una buena compactación los asentamientos una vez clausuradas las celdas transitorias serán evidentes y significantes, motivo por el cual se debe llevar control y supervisión de las posibles áreas afectadas para poder prevenir y mitigar impactos adversos al ambiente.

4.2.4 Indicadores ambientales. Un indicador ambiental es una medida, generalmente cuantitativa, que puede ser usada para ilustrar y comunicar un fenómeno complejo de manera simple, incluyendo tendencias y progresos a lo largo del tiempo. Con esta pequeña definición podemos ver la aplicabilidad que tiene un monitoreo y control de indicadores ambientales en un relleno sanitario.

En el Killí, se han determinado algunos indicadores ambientales según la necesidad y con base en el previo conocimiento de las afecciones que genera al medio ambiente, estos son: Cobertura vegetal, Hundimientos y agrietamientos y Emisión de olores

- **Cobertura vegetal:** La cobertura vegetal, es un indicador del inicio de la restauración ambiental y determina la eficiencia en la clausura llevada a cabo. Pérdida de cobertura vegetal puede significar encuentro de material peligroso y/o metales pesados así como emisiones de gases por mala evacuación del mismo.
- **Hundimientos y agrietamientos:** Mediante la supervisión semanal se pueden identificar hundimientos de la superficie en celdas clausuradas y agrietamientos de las mismas, esto es producto de la mala compactación realizada en el proceso operativo y malas técnicas de manejo de las celdas transitorias, igualmente, se deduce que al no existir separación en

la fuente de residuos sólidos y aprovechamiento de residuos orgánicos, es habitual que exista hundimientos pasivos por la rápida descomposición de éstos, y la creación de vacíos internos generan por el peso del material de cobertura final pequeñas depresiones del terreno. En el Kililí los hundimientos han sido identificados y se han implementado medidas curativas para el efecto, como el relleno con material de cobertura final para impedir la percolación de aguas lluvias.

- **Emisión de olores:** Uno de los factores de mayor control y supervisión en Kililí, es la percepción de olores, este indicador del inicio de descomposición del material orgánico dispuesto en las celdas transitorias y haciendo necesario la neutralización con Cal, compuesto utilizado para subir el pH y evitar la producción de gases causantes de los olores desagradables y no benéficos para la salud.

4.2.5 Monitoreo de lixiviado. Los lixiviados son líquidos que se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos que se encuentran en las fases de composición (Vigil, 1993), con esta definición, podemos considerar al lixiviado como el principal y gran contaminante generado en un relleno sanitario.

Durante las 20 semanas de práctica, se llevó a cabo un monitoreo del caudal generado, los primeros 4 registros se realizaron para la celda 4 y los siguientes para las 4 y 5, dado a que se inició operación en la celda Sur y aun la producción de la celda 4 era significativo.

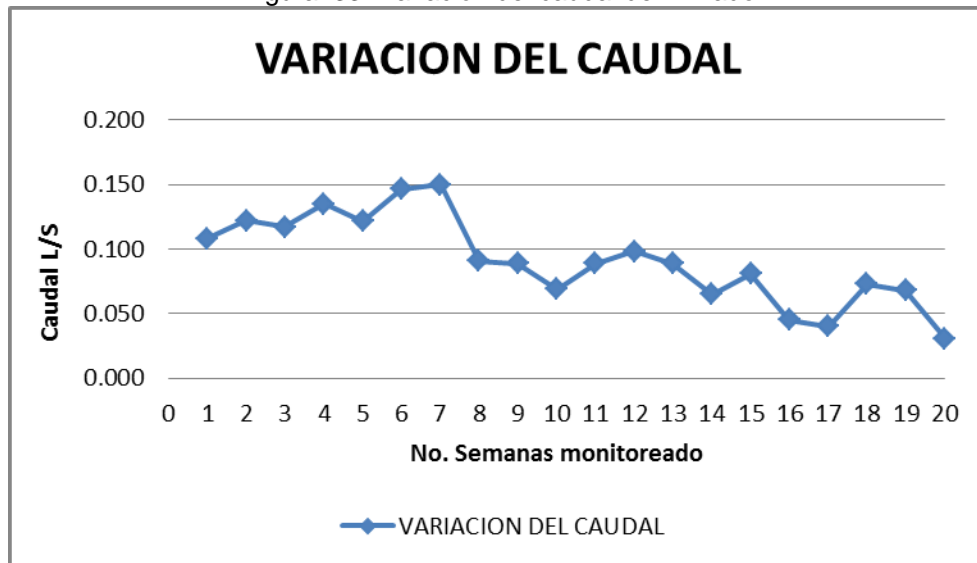
Tabla 6. Monitoreo semanal del caudal de lixiviado

Fecha	Semana	Caudal(l/s)
4-May-2011	1	0.108
11-May-2011	2	0.122
18-May-2011	3	0.117
25-May-2011	4	0.135
1-Jun-2011	5	0.122
8-Jun-2011	6	0.146
15-Jun-2011	7	0.150
21-Jun-2011	8	0.091
30-Jun-2011	9	0.089
6-Jul-2011	10	0.069

13-Jul-2011	11	0.089
21-Jul-2011	12	0.098
28-Jul-2011	13	0.089
3-Ago-2011	14	0.065
10-Ago-2011	15	0.081
17-Ago-2011	16	0.045
25-Ago-2011	17	0.04
2-Sep-2011	18	0.073
9-Sep-2011	19	0.068
15-Sep-2011	20	0.031

Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Variación del caudal de lixiviado



Fuente: Elaboración propia

De la figura 33, podemos evidenciar un aumento considerable del volumen generado para las primeras 8 semanas de monitoreo, esto coincide con los meses de Mayo, Junio y Julio, meses afectados severamente por la ola invernal, y conociendo la relación directa entre la precipitación y la generación de lixiviado, se justifica este evento; igualmente cabe resaltar que desde la semana 4, semana de clausura de la celda 4, por motivos de lluvias extensas se suspendió la aplicación de cobertura final, y la celda quedo expuesta por tres semanas consecutivas a la intemperie y por ende a las precipitaciones presentadas. Para las semanas siguientes, el caudal es variante pero con gran similitud, dado a que cualquier variación en el tiempo afecta severamente el caudal de lixiviado producido.

4.2.6 Monitoreo del sistema de evacuación de lixiviado. El sistema implementado para la evacuación del lixiviado, explicado anteriormente, requiere de una constante supervisión, para prevenir y mitigar efectos generados por taponamiento y obstrucción del sistema. Por medio de tubos de 3" en PVC, instalados verticalmente junto a las chimeneas, y en similitud a piezómetros, se puede determinar cualquier alteración en la columna de lixiviado generada y se puede evaluar el comportamiento del sistema de evacuación.

Esta actividad se realizó diariamente, con apoyo del personal operativo del relleno; en ningún momento se presentó evidencia de posibles fallas o colapsos del sistema que pudiesen generar encharcamientos y desestabilizar la celda.

Figura 34. Piezómetros



Fuente: Elaboración propia

En la figura 34, podemos visualizar el sistema, es sencillo, pero muy eficiente para determinar problemas en la evacuación de lixiviados, especialmente en épocas de lluvias donde se pueden presentar fallas.

Las actividades de monitoreo de celdas transitorias se enfocaron principalmente a garantizar la integridad física de las diferentes estructuras y/o sistemas, y de esta manera poder obtener el grado de eficiencia requerido y así poder reducir o eliminar los focos de contaminación que se pueden generar por la inadecuada disposición de los residuos sólidos urbanos.

4.3 EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

La normatividad ambiental colombiana en materia de vertimientos líquidos superficiales, es específica mediante el decreto 1594 de 1984, donde da una guía para los permisos de vertimientos y establece unas obligaciones al generador bajo las cuales se pretende establecer objetivos en busca de reducir el impacto negativo al ambiente. La empresa de servicios públicos de Puerto Asís, bajo la resolución DTP-0149 cuenta con el permiso de vertimientos para el sitio de disposición final Kililí, y se hace responsable de los compromisos adquiridos en materia ambiental.

Dentro de la guía presentada por el Decreto 1594 de 1984, es responsabilidad del generador, realizar la remoción en carga contaminante del 80% de DBO5, DQO, y SST, valores de P y N tales que, no se genere eutrofización del agua. Y serán los beneficiarios del permiso de vertimientos quienes lleven monitoreo de la calidad de agua vertida y la eficiencia del sistema de tratamiento con que se cuente.

En el Kililí, se cuenta con una planta de tratamiento de lixiviados, que consta de: un tanque séptico, un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), una laguna de oxidación. Todas estas unidades tienen como objetivo primordial lograr la remoción en carga contaminante y permitir que el vertimiento final a fuentes superficiales sea ameno con el medio ambiente. El vertimiento final es realizado sobre un humedal que se encuentra dentro del área del relleno sanitario.

Se realizaron 3 muestreos, para determinar parámetros de calidad, el primero el día 17 de Junio, el segundo el día 27 de Julio y el tercero el día 31 de Agosto de 2011. Todos con el objetivo de evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento y conocer las características fisicoquímicas del lixiviado generado y la intervención sobre el humedal receptor, así como su capacidad de autodepuración natural. Una vez obtenidos los resultados del primer muestreo se tomaron medidas curativas para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento.

4.3.1 Primer muestreo (17-06-2011)

- **Resultados Obtenidos**

Tabla 7. Calidad del lixiviado efluente (primer muestreo)

PARAMETRO EVALUADO	ANTES PTAR	DESPUES PTAR	DESPUES LAGUNA OXIDACION	SALIDA FINAL DEL HUMEDAL	100 M ANTES DEL VERTIMIENTO SOBRE EL HUMEDAL
DBO (mg/l)	325	240.5	110.0	63.2	36.3
DQO (mg/l)	963.3	670	316	187.0	16.7
CLORUROS (mg/l)	47.5	47.5	23.8	4.8	4.8
CONDUCTIVIDAD (uS/cm)	9.1	10.2	4.6	169.6	76.3
COLOR (Unid Pt-Co)	284	3120	1660	188	98
COT (mg/l)	68	140	48	2	45
FENOL (mg/l)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
FOSFORO (mg/l)	2.4	2.0	0.8	0.6	0.7
NITROGENO (mg/l)	644.3	544.0	240.8	8.4	8.4
NITRATOS (mg/l)	280	20	66	0	0
SST (mg/l)	225	160	80	26.0	65
PH (unidades pH)	7.9	8.2	8.1	7.2	7.3

Fuente: Elaboración propia

Nota: El objetivo de análisis se enfocó en DBO₅, DQO, SST, P y N, serán estos los parámetros para el cálculo de la eficiencia. En el anexo H se identifican los puntos de muestreo.

4.3.1.1 Análisis del lixiviado

Tabla 8. Eficiencia Planta de tratamiento de Lixiviado

UNIDAD	FAFA	LAGUNA OXIDACION	TRATAMIENTO TOTAL
Eficiencia DBO5 (%)	26	54	66
Eficiencia DQO (%)	30	53	67
Eficiencia N (%)	15	56	63
Eficiencia P (%)	16	60	66
Eficiencia SST (%)	29	25	64

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos en el cálculo de la eficiencia individual de tratamiento y global del sistema; podemos inferir que para el filtro anaerobio en todos los parámetros de interés la remoción es inferior a la teórica esto induce a que probablemente la unidad de tratamiento no funciona de la manera correcta y/o se presentan colmatación del filtro disminuyendo significativamente la eficiencia.

Para la laguna de oxidación, registramos eficiencias en remoción de los parámetros de interés acordes a las teóricas, dado a que tienen un tiempo de retención hidráulica de 15 días que permite una buena sedimentación y digestión de los lodos producidos, al ser una laguna aerobia los procesos biológicos son más eficientes y rápidos que en sistemas anaerobios. Para SST se reportó una remoción baja, esta es justificada dado que no existía ningún mecanismo de control para lluvias, y algunas precipitaciones extensas alteran y re-suspenden los sólidos.

Figura 35. Primer muestreo PTAR



Fuente: Elaboración propia

La determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de lixiviados operada en el relleno sanitario tiene por objetivo evaluar los parámetros permisibles según el decreto 1594 de 1984 y realizar recomendaciones para mejorar el funcionamiento del sistema.

Si bien, el decreto 1594 remite que todo vertimiento debe hacerse única y exclusivamente después de la remoción de la carga contaminante mayor o igual al 80% tanto para DBO₅, DQO, SST y para los parámetros de N y P se exige que no existan concentraciones capaces de eutrofizar una fuente hídrica. Con base a este decreto para los parámetros de DBO₅, DQO y SST la normatividad no se cumple dada a que la remoción es inferior a la reglamentada, para N y P, las concentraciones finales no son significativas para generar procesos de eutrofización dado a que el humedal posee gran cantidad de material vegetal que

realiza una asimilación natural, esto evidenciado en el muestreo realizado a la salida, donde las concentraciones son mínimas.

Se recomendó, realizar un mantenimiento a la planta de tratamiento de lixiviados dado a que al verificar el volumen de lodo acumulado en el tanque séptico se pudo constatar que sobrepasaba los 80 cm lo que para una profundidad útil de 1.8 m es elevado; de igual manera se recomendó verificar la calidad del lecho filtrante (grava), emplear polisombras para amortiguar las precipitación extensa y disposición de material liviano como plásticos, hojas de árboles, etc., sobre la laguna de oxidación.

4.3.1.2 Evaluación del grado de intervención sobre el Humedal (fuente receptora del vertimiento)

Tabla 9. Grado de intervención sobre el humedal (primer muestreo)

Parámetros de análisis	Calidad del Humedal antes del vertimiento	Calidad del vertimiento	Calidad del efluente del Humedal	Autodepuración del Humedal (%)
DBO5 (mg/l)	36.3	110	63.2	42.5
DQO (mg/l)	16.7	316	187	40.8
SST (mg/l)	65	80	26	67.5
N (mg/l)	8.4	240.8	8.4	96.5
P (mg/l)	0.7	0.8	0.6	25

Fuente: Elaboración propia

El humedal presente en el área del relleno sanitario, ha sido la fuente hídrica que recibe el vertimiento final del lixiviado una vez éste pasa por las diferentes unidades del tratamiento. Es importante resaltar que antes del vertimiento se presenta una remoción de DBO₅, DQO, SST, N y P, que no cumple a cabalidad las reglamentadas en el decreto 1594, por ende, se está realizando un vertimiento con cargas contaminantes no adecuadas para una fuente natural. Por esta razón es más que necesario llevar a cabo un monitoreo del grado de intervención sobre el humedal y evaluar la autodepuración que realiza.

Si bien los humedales son considerados como los ecosistemas más productivos del mundo, que además de su gran valor estético y paisajístico, prestan un servicio hidrológico y ecológico, por lo cual se hace indispensable prevenir y controlar el deterioro ambiental y las intervenciones antrópicas sobre este.

Si se evalúa el grado de variación en términos de calidad, se está aumentando la DBO₅ en 26.9 mg/l y la DQO 170.3 mg/l, se habla específicamente de estos dos parámetros dado a que el N y P son fácilmente asimilables por las hidrófitas presentes en el humedal. Con los valores anteriores podemos considerar un grado de afección negativo y elevado para un ecosistema de este tipo.

Fácilmente se aprecia que, el humedal remueve valores significativos de todos los parámetros de análisis; pero es de considerar que al verter estos efluentes de la disposición final de los residuos sólidos, se está alterando notablemente el ecosistema y poniendo en riesgo la calidad del agua, la flora y fauna presente.

Se pudieron identificar algunas especies de interés como: variedades de hidrófitos propios de la región como briofitas, plantas anfibias o helófitos (plantas emergentes, cuya raíz está por debajo de la lámina de agua), las principales encontradas son; los esparganios, las Españas y lirio de agua; igualmente la presencia de macrófitos flotantes como el helecho de agua “la azolla caroliniana”, cuyo interés radica en la Fitodepuración que realizan en aguas residuales.

Todos los hidrófitos tienen la habilidad de fijar N y P contenido en las aguas, así como el nitrógeno atmosférico una vez se haya finalizado. Es por esta razón que la eficiencia en remoción de estos dos parámetros es muy alta, de igual manera las raíces de los hidrófitos permiten la captura y sedimentación de sólidos suspendidos asociados a materia orgánica e inorgánica, reduciendo en parte DBO₅ y DQO.

Figura 36. Humedal



Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Segundo muestreo (27-07-2011)

- **Resultados Obtenidos**

Tabla 10. Calidad de lixiviado (segundo muestreo)

PARAMETRO EVUALUADO	ANTES PTAR	DESPUES PTAR	DESPUES LAGUNA OXIDACION	SALIDA FINAL DEL HUMEDAL	100 M ANTES DEL VERTIMIENTO AL HUMEDAL
DBO (mg/l)	378	222	128	76.2	23
DQO (mg/l)	881	557	243.3	123.0	14.0
CLORUROS (mg/l)	51.3	49.8	31.2	15.2	5.1
CONDUCTIVIDAD (uS/cm)	14.2	12.4	6.9	123.0	45.0
COLOR (Unid Pt-Co)	1789	1432	832	224.0	68.0
COT (mg/l)	89	110	31	5.0	32.0
FENOL (mg/l)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
FOSFORO (mg/l)	8.5	4.6	1.2	0.025	0.001
NITROGENO (mg/l)	320	222.8	178	4.0	4.0
NITRATOS (mg/l)	120	76	34	0.0	0.0
SST (mg/l)	200	115	45	6.0	23
PH (unidades pH)	7.2	7.5	7.7	7.1	7.1

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.1 Análisis de Eficiencia

Tabla 11. Eficiencia Planta de tratamiento de Lixiviado

UNIDAD	FAFA	LAGUNA OXIDACION	TRATAMIENTO TOTAL
Eficiencia DBO5 (%)	41	42	66
Eficiencia DQO (%)	37	56	72
Eficiencia N (%)	30	19	44
Eficiencia P (%)	46	73	86
Eficiencia SST (%)	42	60	77

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos en el segundo muestreo realizado el día 27 de Julio, se puede notar que para el FAFA, la eficiencia en remoción de todos los parámetros evaluados aumentó considerablemente; dentro de las actividades realizadas se puede constatar un mantenimiento a la PTAR (detallado en las actividades de mantenimiento). Para la laguna de oxidación, la eficiencia en DBO_5 y N disminuyó con respecto al primer muestreo, pero en DQO, SST y P aumentó. Hay que considerar que las condiciones climáticas tienen gran influencia en el sistema, dado a que pueden generar grande, media y mínima dilución, esto influenciando directamente los análisis realizados; de igual manera algunos aspectos como la acumulación de material vegetal (hojas de árboles perimetrales) en la laguna de oxidación, alteran significativamente la demanda biológica de oxígeno.

Dentro de las recomendaciones a seguir para mejorar la eficiencia del sistema, está la construcción de canales para aguas lluvias en el perímetro de la planta de tratamiento y el mantenimiento de los actuales, lo que generaría un menor volumen de aguas precipitadas dentro de las celda en operación, disminuyendo el caudal y aumentando el tiempo de retención hidráulica; y evitar totalmente el ingreso de hojas, ramas y demás materiales que puedan aumenten la carga orgánica la laguna de oxidación.

Figura 37. Segundo muestreo PTAR



Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2 Evaluación del grado de intervención en el Humedal (Fuente receptora del vertimiento). Al comparar la calidad del humedal antes y después del vertimiento, se puede evidenciar la alteración significativa en la DBO_5 y DQO, dado que el efluente final posee 76.2 mg/l y 109 mg/l respectivamente. A pesar de que se presenta una autodepuración del ecosistema alrededor del 50 %, el humedal difícilmente podrá restablecer las concentraciones iniciales. }

Tabla 12. Grado de intervención sobre el humedal (segundo muestreo)

Parámetros de análisis	Calidad del Humedal antes del vertimiento	Calidad del vertimiento	Calidad del efluente del Humedal	Autodepuración del Humedal (%)
DBO5 (mg/l)	23	128	76.2	40.4
DQO (mg/l)	14	243	123	49.4
SST (mg/l)	23	45	6	86.7
N (mg/l)	4	178	4	97.7
P (mg/l)	0.001	1.2	0.024	98

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto a pesar que la eficiencia del sistema de tratamiento aumentó, la carga contaminante aplicada no permite que el ecosistema intervenido bioasimile y pueda mantener una tendencia al equilibrio natural. A pesar de que no se conocen las consecuencias exactas del vertimiento, si se puede asociar fácilmente el cambio del hábitat, así como el desplazamiento de muchos macro-invertebrados que alguna vez pudieron disfrutar de este ecosistema.

4.3.3 Tercer muestreo (31-08-2011)

- **Resultados Obtenidos**

Tabla 13. Calidad de lixiviado (tercer muestreo)

PARAMETRO EVALUADO	ANTES PTAR	DESPUES PTAR	DESPUES LAGUNA OXIDACION	SALIDA FINAL DEL HUMEDAL	100 M ANTES DEL VERTIMIENTO AL HUMEDAL
DBO (mg/l)	573	308	174.0	102.0	15.0
DQO (mg/l)	1034	613	273.0	154.0	9.0
CLORUROS (mg/l)	49	48.1	28.0	12.3	4.5
CONDUCTIVIDAD (uS/cm)	13.1	14.5	5.2	155.0	78.0
COLOR (Unid Pt-Co)	2456	1976	923	91	34.0
COT (mg/l)	112	78	29	0.0	21.0
FENOL (mg/l)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
FOSFORO (mg/l)	15.3	8.8	4.1	0.05	0.001
NITROGENO (mg/l)	690	521.0	310.0	33.0	5.0

NITRATOS (mg/l)	345	187.0	89.0	0.0	0.0
SST (mg/l)	214	140.0	41.0	11.0	16.0
PH (unidades pH)	7.8	8.5	8.0	7.4	7.1

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.1 Análisis de Eficiencia

Tabla 14. Eficiencia Planta de tratamiento de Lixiviado

UNIDAD	FAFA	LAGUNA OXIDACION	TRATAMIENTO TOTAL
Eficiencia DBO5 (%)	46	44	70
Eficiencia DQO (%)	41	55	73
Eficiencia N (%)	25	40	55
Eficiencia P (%)	42	53	73
Eficiencia SST (%)	34	71	81

Fuente: Elaboración propia

En este último muestreo se constató que a pesar de las recomendaciones y actividades ejecutadas para mejorar la eficiencia y cumplir a cabalidad con el decreto 1594 de 1984, el sistema de tratamiento no satisface la expectativa y por ende no remueve el valor ideal para DBO₅ y DQO. A pesar que para SST, N y P, el sistema remueve gran parte de la concentración hallada en el lixiviado, es fundamental que la demanda biológica y bioquímica de oxígeno cumpla la remoción mínima permisible, dado a que estos parámetros son directamente relacionados con el nivel de polución de una fuente superficial y pueden afectar severamente la integridad del medio ambiente.

Se recomendó una recirculación del lixiviado a la celda transitoria, y suspensión temporal del vertimiento hasta obtener unidades externas que permitan mejorar la eficiencia en remoción. Es importante saber que la recirculación conlleva al aumento de la humedad de los residuos sólidos dispuestos, por lo tanto una mayor producción de gas y problemas de estabilidad en épocas de lluvias. Esto hace necesario crear medidas inmediatas para reducir el volumen y el tiempo a recircular.

De igual manera se recomendó la construcción de una unidad adicional para la remoción de metales pesados, que a pesar de no ser un parámetro de interés

dentro de este objetivo es fundamental como criterio de calidad; unidades con buchón de agua pueden ser útiles para reducir la carga en metales pesados que pueden inhibir dentro de los procesos biológicos realizados.

Figuras 38. Tercer muestreo PTAR



Fuente: Elaboración propia

4.3.3.2 Evaluación del grado de intervención en el humedal (Fuente receptora del vertimiento). En el último análisis realizado para determinar la eficiencia del tratamiento y la calidad del vertimiento, sirvió para constatar que la carga contaminante efluente de la celda transitoria aumenta directamente con el volumen de material dispuesto y , esto indica, que aunque la eficiencia en remoción aumente, difícilmente se encontrarán concentraciones ideales en la calidad del humedal, y por ende garantizar el equilibrio por medio de la autodepuración se hace cada vez más dispendioso y difícil de alcanzar.

Tabla 15. Grado de intervención sobre el humedal (tercer muestreo)

Parámetros de análisis	Calidad del Humedal antes del vertimiento	Calidad del vertimiento	Calidad del efluente del Humedal	Autodepuración del Humedal (%)
DBO5 (mg/l)	15	174	102	41.4
DQO (mg/l)	9	273	154	43.6
SST (mg/l)	16	41	11	73.2
N (mg/l)	5	310	33	89.4
P (mg/l)	0.001	4.1	0.05	98.8

Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Carga contaminante del humedal

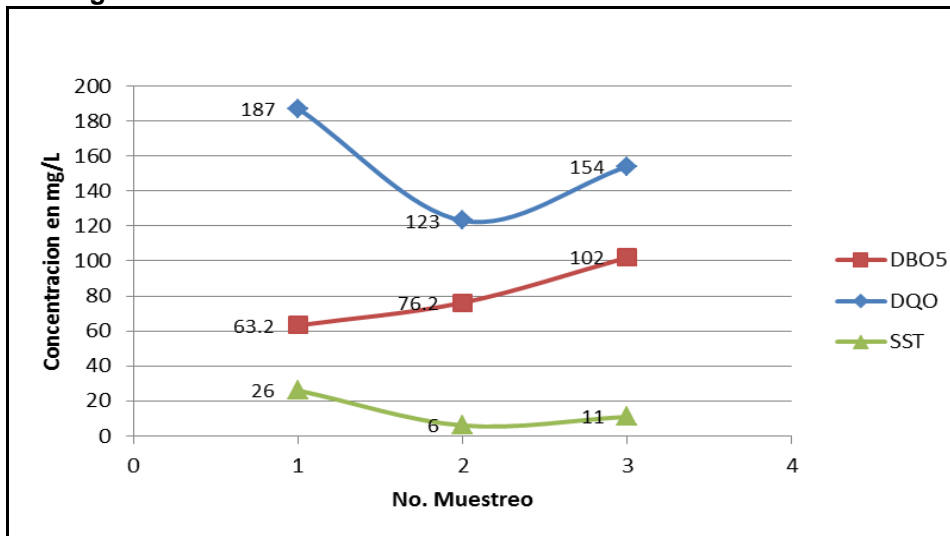
Tabla 16. Carga contaminante efluente del humedal

PARAMETRO EVALUADO	Antes del vertimiento (primer muestreo)	A la salida (primer muestreo)	Antes del vertimiento o (segundo muestreo)	A la salida (segundo muestreo)	Antes del vertimiento o (tercer muestreo)	A la salida (tercer muestreo)
DBO (mg/l)	36.3	63.2	23.0	76.2	15.0	102.0
DQO (mg/l)	16.7	187.0	14.0	123.0	9.0	154.0
SST (mg/l)	65.0	26.0	23.0	6.0	16.0	11.0
PH (unidades pH)	7.3	7.2	7.1	7.1	7.1	7.4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se registra la variación que sufre el humedal en sus parámetros físico-químicos antes y después del vertimiento, éstos indican que el agua posee un grado de contaminación significativo antes de recibir la descarga del Kililí; según la escala de clasificación de calidad del agua para valores de DBO₅ entre 30-120 mg/l se consideran “aguas superficiales con descargas de aguas contaminadas no tratadas” y para DBO₅ entre 6-30 mg/l se considera “con indicio de contaminación, con capacidad de dilución o con descargas biotratada” (CONAGUA 2006), esto significa que el agua afluente al humedal ha sido receptora de descargas residuales domésticas por la presencia de asentamientos humanos en la zona de influencia.

Figura 39. Calidad del Humedal



En la Figura 39, se puede ver que todos los parámetros fueron alterados aún más después del vertimiento, indicando la mala calidad del agua. Conociendo que el caudal promedio efluente del humedal es de 30 l/s (fácilmente medible por sistema alcantarilla, anexo D) se puede estimar que la carga contaminante promedio es de 69 kg/día en DBO₅ y 133.6 kg/día de DQO. Estas aguas siguen su curso una vez son vertidos mediante alcantarilla, dado a que son afluentes de la quebrada La Danta, ubicada aproximadamente a 1.5 km del Kililí.

4.4 APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS

El plan de gestión integral de residuos sólidos municipales (PGIRS) de Puerto Asís, considera dentro de sus objetivos uno fundamental, el aprovechamiento y reutilización de los residuos orgánicos y reciclables, con el ánimo de fomentar el desarrollo de tecnologías más limpias que abarquen desde la reutilización de los desechos y la conversión en nuevos productos, reduciendo significativamente la necesidad de materias primas y recursos naturales. En tanto a los orgánicos un aprovechamiento mediante compostaje y lombricultura permiten obtener productos mejoradores de suelos y reducir significativamente los impactos generados por la disposición en celdas transitorias, como lixiviados, gases, olores ofensivos entre otros.

Todo plan de gestión integral fomenta al aprovechamiento ambiental y económico de los residuos sólidos, donde el factor social se beneficia constantemente. En las 20 semanas de la práctica profesional se realizó un aprovechamiento a escala piloto, para verificar la eficiencia en transformación de los residuos y la calidad del material obtenido; así como tener bases sólidas para proyectos de aprovechamiento de los residuos orgánicos a escala real.

4.4.1 Campañas de Educación ambiental con grandes productores

Figuras 40 Y 41. Capacitación con grandes generadores



Fuente: Elaboración propia

Como parte fundamental del objetivo de aprovechamiento de residuos sólidos, la etapa de educación ambiental y vinculación de grandes productores al proceso es vital para llevar a cabo el desarrollo de proyectos a futuro; los compromisos adquiridos fueron la base primordial del buen desempeño y realización de los procesos de compostaje. En primer lugar con los representantes legales de los 7 supermercados de mayor producción de material orgánico adquirieron compromisos de separación en la fuente y diferenciación por colores para una respectiva selección en el sitio de disposición final, dado a que no existen rutas selectivas para facilitar el trabajo. En segundo lugar se capacitó al personal vinculado en cada microempresa para separar en la fuente y conocer las posibilidades de aprovechamiento de los residuos sólidos.

Con el apoyo del Comité interinstitucional de educación ambiental (CIDEA), se llevaron a cabo campañas de recolección de materiales reutilizables, reciclables y asesoría y capacitación sobre el manejo, aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos, dando un énfasis en la compostación casera y las prácticas de separación en la fuente, como medida preventiva de impactos negativos en el hogar.

4.4.2 Vermicompostaje. El compostaje es un proceso de aprovechamiento de desechos orgánicos, que permite la conversión de productos generados como residuos de las actividades humanas a productos amigables con el ambiente, y con nutrientes que permiten el mejoramiento de los suelos.

En el Kililí se desarrolló un estudio a escala piloto para conocer el comportamiento de estos residuos sólidos según la técnica de compostaje a utilizar. La primera técnica empleada fue el compostaje caliente con ayuda de especies propias de esta actividad como: bacterias, actinomicetos, hongos, algas, protozoos para la fase inicial y en la final el empleo de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) la cuál según estudios posee un alto grado de aporte en nutrientes una vez realiza el proceso de descomposición en su tracto digestivo.

Para la primera semana de trabajo se diseñó un esquema operativo de aprovechamiento, conociendo que los grandes aportes de residuos orgánicos son los provenientes de los supermercados y galerías, se desarrolló una campaña de capacitación y educación ambiental para incentivar a la separación en la fuente de residuos orgánico - inorgánicos y facilitar el aprovechamiento por medio del compostaje. Esta campaña se realizó durante dos semanas y tuvo éxito con grandes supermercados que aproximadamente generaban 1 tonelada de residuos diario, a pesar que el aprovechamiento que se realizó no consumió toda la cantidad separada, se obtuvo un avance fuerte en educación ambiental.

Figuras 42 y 43. Preparación del material a compostar



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el compromiso de separación en la fuente con los grandes generadores, se realizó la adecuación de la caseta de compostaje, que para ventaja del estudio contaba con las instalaciones precisas para las actividades a desarrollar. Inicialmente se construyeron pequeñas camas para llevar a cabo el compostaje, éstas elaboradas en ladrillo, como se puede apreciar en las imágenes anteriores. El material a descomponer conformó las pilas y fue inoculado con estiércol bovino para permitir un rápido arranque del proceso.

La aplicación inicial comprendió residuos de verduras, restos de frutas, residuos de poda, hojas secas, estiércol bovino y de cabras como activadores del proceso, así como compost maduro. Según la literatura, el control de la relación C: N garantiza un buen rendimiento en el proceso de compostaje, y dado que a cada residuo se le asocia una relación diferente, cabe resaltar que fue mediante estimación visual la determinación de la cantidad y tipo de materiales a compostar, basado en guías prácticas y tablas de composición de residuos orgánicos (Ver anexo K).

Otro de los criterios a tener en cuenta fue el tamaño de las partículas, dado que entre más pequeño se proporciona mayor velocidad de descomposición, esto hizo necesario la trituration manual de los residuos a compostar. El material fue humedecido según recomendaciones teóricas de 60-80% de humedad, comprobado mediante prueba puño, que consistía en tomar el material en la mano y apretarlo verificando la cantidad de agua que se puede extraer, lo ideal sería una o dos gotas para no saturar los residuos de agua y crear ambientes anaerobios.

Para este proceso fue necesario llevar un control y monitoreo de los parámetros como: temperatura, pH, humedad, y la oxigenación o aireación. Todos estos factores limitan la velocidad de descomposición y en condiciones no ideales generan problemas adversos para el proceso y el medio ambiente.

Se tuvieron en cuenta algunos indicadores de posibles incidentes como: la emisión de olor a amoníaco, el cual se genera cuando se ha dispuesto demasiados materiales con altos contenidos de nitrógeno; emisión de olor a azufre, presentado por exceso de agua en el material e inicios de fase de descomposición anaerobia; y la baja velocidad de descomposición, dada por bajo nivel de humedad y de nitrógeno.

Figuras 44 y 45. Trituración de material orgánico



Fuente: Elaboración propia

La técnica usada fue la compostación rápida o caliente, en esta es necesario crear un equilibrio entre el aire, humedad y energía para los microorganismos descomponedores, el montón caliente facilita y acelera el proceso con rapidez, además el calor permite la destrucción de material patógeno y/o organismos causantes de enfermedades. Para garantizar el calor contenido se realizó volteos una vez por semana, en donde se verificaba la temperatura (no superar los 70°C), el nivel de humedad del material y se aireaba para garantizar el proceso aeróbico, igualmente se verificaba la existencia de problemas por olores, lixiviados y vectores. Para realizar la recolección del lixiviado se rodeaba el perímetro de la pila con aserrín, dado a que este material tiene gran capacidad de absorción, una vez saturado se disponía en la celda en operación; en cuanto a vectores se realizó cubrimiento total del material y aislamiento del medio. Se anexa registro de temperatura, pH y humedad semanal del proceso.

Una vez armada la pila, se verificó la temperatura, la cual oscilaba entre 22-25°C y su pH era de 6.8, para el segundo día de estudio, la temperatura iniciaba su ascenso, se encontraba en 28°C y su pH iniciaba su caída a 6.7; esta conocida como etapa mesofílica del proceso. A partir del día séptimo hasta el día 35 hubo un crecimiento considerable de la temperatura hasta los 65°C (nivel máxima registrado), el pH presento disminución en los primeros 10 días, pero desde el día 11 se registró un aumento variable hasta el día 35; según la literatura es la presencia de la etapa termofílica, en la cual se producen las reacciones más

importantes del proceso con ayuda de microorganismos termófilos como los enunciados anteriormente, actinomicetos, bacterias, hongos, etc.

Desde la semana 6-8 la reducción considerable de la temperatura era indicador de que gran parte del material biodegradable (con alto contenido en nitrógeno) se había transformado por su rápida velocidad de descomposición, y que era hora de dar inicio al proceso de humificación, con ayuda de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*), considerando que el compost aún no estaba listo y aún tenía gran contenido de residuos aptos como alimento de oligoquetos.

Para la humificación fue necesario adquirir 1 kg de *Eisenia Foetida* y desarrollar un cultivo propio para aumentar el número de oligoquetos a usar en esta etapa. El cultivo se llevó a cabo en pequeños silios como se aprecia en las figuras 46 y 47. Similar al compostaje, se requiere el control y monitoreo de parámetros físicos, químicos y ambientales.

Figuras 46 y 47. Cría de lombriz roja californiana



Fuente: Elaboración propia

Dado a la rápida incubación y reproducción de la lombriz, al término de dos meses se contaba con aproximadamente 2.5 Kg de material apto para implementar en la fase de humificación. Ingresado el cultivo de lombriz en el compost procesado, se inicia la etapa de maduración en la cual el papel fundamental de la *Eisenia Foetida* es realizar humificación del material y brindar los nutrientes necesarios para convertir al compost en un mejorador de suelos.

Semanalmente se monitorea las condiciones de la pila, controlando principalmente la humedad y aireación, dado a que son los factores que más influyen en proceso de desarrollo de los oligoquetos.

Para la semana 17 se contaba con un producto cuyas características en color, olor, textura, pH, temperatura y humedad eran muy similares a las especificadas

en la literatura como indicadores de la etapa de finalización del proceso de vermicompostaje.

Figura 48. Producto compostado



Fuente: Elaboración propia

En la figura 48 podemos apreciar el resultado de la humificación con lombriz roja californiana, cuyas características físicas, químicas y biológicas son motivo de análisis.

4.4.3 Compostaje con Microorganismos eficientes. Como complemento del objetivo de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, se realizó compostaje mediante la tecnología EM; recordando el concepto de los microorganismos benéficos de origen natural podemos relacionar directamente la utilidad de éstos en el compostaje y la consecuente aceleración del proceso que se presenta.

Vale la pena citar las principales bacterias contenidas en el coctel EM utilizado, Bacterias fotosintéticas o fototrópicas (*Rhodopseudomonas* spp) capaces de sintetiza sustancias útiles, materia orgánica y/o gases nocivos (sulfuro de hidrógeno), usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* spp) productoras de ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y las Levaduras (*Saccharomyces* spp) sintetizadoras de sustancias antimicrobiales y otras sustancias útiles para el crecimiento de las plantas, a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas y la materia orgánica.

Figura 49. Preparación de camas de compostaje



Fuente: Elaboración propia

Figura 50. EM



La metodología utilizada para el compostaje con EM es similar a la empleada para vermicompostaje, solamente que al inicio del proceso se debe regar con una dilución específica de EM y en cada volteo humedecer solo con este material, el proceso realizado fue el siguiente:

- En primer lugar, se armó una cama de llenado en ladrillo, con base en aserrín para la recolección del lixiviado generado.
- Igualmente que para el proceso anterior, es necesario triturar el material a compostar, dado a que es más fácil para los microorganismos actuar sobre materiales de pequeño tamaño.
- La dosificación dada por el fabricante fue de 5litros de EM por tonelada de material fresco durante todo el proceso, el cual se distribuyó de la siguiente manera:
 - Armado de la pila: 2litros de EM diluidos en 18 litros de agua.
 - Volteos: 1 litro de EM diluido en 9 litros de agua por volteo y durante 3 volteos.
- Se realizó un volteo cada 10 días, donde se contralaba humedad y temperatura (no superar los 70°C).
- Finalmente se cosecha el compost que se obtuvo al cabo de 50 días, tiempo menor al consumido en el vermicompostaje.

Figuras 51 y 52. Preparación del material a compostar



Fuente: Elaboración propia

Transcurridas 8 semanas del proceso, el compost generado mediante la técnica EM se encontraba en la fase de maduración esto se determinó por el color característico que presentaba (marrón oscuro), por su olor característicos y su esponjosidad. El producto se dejó reposar por 3 semanas adicionales, antes de ser aplicado como acondicionador de suelos.

4.4.4 Análisis de calidad del compost

Microorganismos eficientes

Tabla 17. Calidad de compost EM

Parámetro	Concentración en %
Materia orgánica	41.2 %
Nitrógeno	2.19 %
Fosforo (P ₂ O ₅) aprovechable	0.45 %
pH	7.2
Potasio (K ₂ O) Aprovechable	0.75 %
Relación C:N	11.9

Fuente: Elaboración propia

Humificación

Tabla 18. Calidad del Vermicompost

Parámetro	Resultado
Materia orgánica	48.76 %
Nitrógeno (N) aprovechable	1.34 %
Fosforo (P ₂ O ₅) aprovechable	0.67 %
pH	7.4
Potasio (K ₂ O) Aprovechable	0.81 %
Relación C:N	13.82

Fuente: Elaboración propia

Según la FAO (1991) los valores de análisis del abono orgánico deben estar contenidos en: materia orgánica en un rango de 25 a 80 %, nitrógeno de 0.4 a 3.5 %, fósforo de 0.1 a 1.6 %, potasio de 0.4 a 1.6 % y calcio de 6.0 a 11 %, la relación C/N está entre 10 y 20.

Con base en los anteriores datos se determina que para el pH obtenido en los abonos de vermicompostaje y EM (7.4 y 7.2), se encuentra dentro del rango de buena calidad, con mínimos efectos Fitotóxicos. El contenido de potasio, también, se encuentra dentro de los rangos normales para compost maduro (0,4 - 1,6%), respecto al fósforo total, los resultados se encuentran dentro de los valores de calidad (0,1 - 1,6%).

Para el nitrógeno total obtenidos en vermicompostaje y EM están alrededor del 2 %, el cual cae dentro del rango de 0,4 - 3,5 % considerado normal para un compost maduro. La materia orgánica y la relación C:N también se encuentran dentro de los valores establecidos.

El fósforo disminuyó su concentración dado a la existencia de lixiviación en las pilas, producto que se recogió mediante elementos absorbentes; para el compost maduro era deseable que el nitrógeno fuese inorgánico en su mayoría y que la fracción de amoníaco fuese mínima, esto se garantizaría con el control de pH dado a que valores elevados facilitan la pérdida mediante amoníaco.

Los valores elevados de C/N y materia orgánica pueden disminuir aún más a medida que la actividad microbiana transforme y asimile tanto el carbono como el nitrógeno, esto significa que es necesario aún validar el tiempo de maduración del producto obtenido.

En conclusión, los dos procesos implementados de compostaje, dieron como resultado un producto con calidad en nutrientes muy similares, cabe resaltar que el proceso realizado con EM, tuvo una reducción considerable en lixiviado generado, cero proliferación de olores y vectores, en comparación al compostaje natural. Desde el punto de vista de calidad la diferencia es mínima dado a que ambos presentan buenas concentraciones de nutrientes, pero es el vermicompostaje el que obtuvo un rendimiento mayor, esto generado por el uso de *Eisenia Foetida* (lombriz roja californiana) cuyas propiedades es el aporte de nutrientes al suelo que habitan.

El producto generado es netamente de origen biológico, puede ser utilizado en suelos con el objeto de mejorar la calidad microbiológica y físico-química, dinamizando el desarrollo de las plantas, aumentando la producción y la calidad de las cosechas, bajo un modelo de conservación del suelo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.

Este mejorador del suelo permite aumentar la fijación de Nitrógeno, la solubilización de la fracción mineral y actúa al mismo tiempo como biocida frente a agentes patógenos. Igualmente mejora la porosidad, la estructura y la textura del suelo, crea características que permite mejor retención de agua y por lo tanto más eficiente la retención de nutrientes. Algunas propiedades químicas que están ligadas al abono orgánico han sido el mejoramiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), aumentar la disponibilidad de macronutrientes como (N,P,K) y de micronutrientes como (S, Na, B), evitando la pérdida por lixiviación natural.

4.4.5 Aprovechamiento de residuos reciclables. El municipio de Puerto Asís, cuenta con diferentes asociaciones de recuperadores ambientales; Asocar realiza recolección selectiva en algunos barrios específicos de la ciudad, y el aprovechamiento de los residuos reciclables, como plástico, vidrio, metales, papel y cartón. Unión familiar realiza la separación de material reciclable como plásticos de baja, media y alta densidad, vidrio, cobre, aluminio, y demás residuos que representan posibilidad de aprovechamiento, estas actividades son realizadas directamente de la celda transitoria en operación, esto significa que la exposición a riesgos biológicos, químicos, físicos es elevada e incalculable.

Biofuturo es una asociación de recuperadores ambientales que realizan la compra y transformación de los plásticos, los cuales una vez llevados a las instalaciones de la planta convierte todo este material en un nuevo producto denominado Madera Plástica. Esto resultó de una iniciativa de emprendedores que con apoyo de la Corporación Autónoma Regional adquirieron la infraestructura, equipos y materiales necesarios para llevar a cabo la transformación.

Las maderas plásticas, tienen aplicabilidad similar a maderas naturales, y en el mercado representan gran demanda al ser producto no biodegradable y económicamente factible para cualquier persona. Además de fomentar el aprovechamiento de residuos sólidos y minimizar el consumo de recursos naturales así como la intervención de bosques nativos como materia prima de las grandes industrias madereras. Actualmente se recicla cerca de 15 Toneladas de plástico / mes.

Figura 53. Material reciclable, aprovechado



Fuente: Elaboración propia

A pesar de que la normatividad ambiental Colombiana ha estipulado en sus diferentes resoluciones y decretos la restricción de personal externo al vinculado con la entidad prestadora del servicio para realizar separación de residuos sólidos directamente en las celdas transitorias; en Puerto Asís por problemas sociales y políticas no ajustadas se permite el desarrollo de esta actividad siempre y cuando se cuente con los equipos de protección básicos como guantes, botas, tapabocas, overol y cascos, los cuales fueron proporcionados por la Corporación Autónoma Regional, Corpoamazonía, con la cual adelantan gestiones encaminadas para la implementación de proyectos ambientales que abarcan separación en la fuente, rutas selectivas y aprovechamiento y transformación de residuos ordinarios urbanos, así como proyectos de educación ambiental patrocinados por el CIDEA (Comité interinstitucional de educación ambiental).

4.5 IMPACTO VISUAL

4.5.1 Sendero Ecológico. Cumpliendo las actividades encaminadas al mejoramiento del impacto visual presentado en el sitio de disposición final Killí, se diseñó y construyó un sendero ecológico en adoquinado y madera plástica como la Fase I de la utilidad final del relleno sanitario. Conociendo que era importante mitigar el impacto visual, se optó por hacer un sendero ecológico que tuviese un tiempo de vida media considerable para la fase de post-clausura y que permitiera el fácil acceso de los estudiantes, profesionales y personal empresarial para visitas técnicas.

Figuras 54. Trazado del sendero ecológico



Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Preparación del terreno para adoquinar



Inicialmente se realizó el diseño en Auto CAD, con referencia a los planos del levantamiento topográfico del relleno, se realizó una inspección visual del terreno para conocer detalles específicos como cambios de pendiente, depresiones, zonas inestables, estado real de las celdas clausuradas por donde pasaría el sendero. Una vez revisado el área de trabajo se trazó el camino y se plasmó en el terreno. Este como guía para el contratista que llevaría a cabo la obra civil.

En las fotografías anteriores se puede ver la primera etapa de construcción del adoquinado, el cual fue supervisado por el Ingeniero Civil de la empresa de Acueducto. Finalizada la etapa constructiva, se realizó la instalación del cercado en madera plástica con postes de 2" de diámetro y manguera plástica de ½".

Figuras 56 y 57. Sendero ecológico



Fuente: Elaboración propia

Igualmente, se inició un aprovechamiento de materiales plásticos como llantas de automóvil, motocicletas y bicicletas; estas con el ánimo de transformarlas en material para juegos recreativos una vez se inicie la clausura total del relleno sanitario, dado a que la fase II del uso final, es la instalación de un parque ecológico a partir de madera plástica y materiales reciclables. Aproximadamente en el sitio de disposición Kililí, se reciclan de 5-7 llantas diarias y se almacenan para la respectiva adecuación y embellecimiento.

Figuras 58 y 59. Almacenamiento y embellecimiento de llantas



Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Reforestación de celdas clausuradas e implementación de barreras vivas. La barrera viva, es la primera estrategia de mitigación de olores e impacto visual que se puede implementar en un relleno sanitario; conociendo las ventajas significativas, se realizó la siembra de la especie Limón Swinglea, que por su rápido crecimiento puede ser muy útil como cerca viva en el Kililí. La siembra se

llevó a cabo con la aplicación de abonos orgánicos y tierra de vivero, para obtener una mezcla de nutrientes aptos para el sano crecimiento de las plantas, y proporcionar la resistencia adecuada frente a plagas y efectos adversos del clima. Las plántulas fueron sembradas cada 15 cm para permitir un cerramiento total del perímetro limitante con la vía principal de acceso al Kililí una vez éstas alcance tamaño apreciable, y evitar así la visibilidad hacia el interior del relleno.

Figura 60. Vivero temporal limón Swinglea



Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Barrera Viva con limón Swinglea



4.5.3 Reforestación de la celda 4. El inicio de la restauración ambiental de la celda clausurada 4, consistió en una cobertura final de 0.55 m de material arcilloso, para aislar totalmente el sistema de disposición final (celda transitoria) y permitir una reforestación natural, en donde se realizó una adecuación del terreno con abonos orgánicos para permitir un rápido crecimiento de la cobertura vegetal; posteriormente se implantaron especies aromáticas como embellecimiento y aromatización del área.

Actualmente se lleva a cabo reforestación con chiparos, guaduas, Pomorroso y otras especies nativas de la región, todo para disminuir la intervención paisajística realizada en el Kililí, y en la etapa de post-clausura hacer de ésta un área de estudio, descanso y recreación de la comunidad.

Figura 62. Trazado para reforestar celda 4



Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Uso final. Todos los rellenos sanitarios y celdas transitorias una vez clausurados constituyen una fuente potencial de problemas, pero también son un recurso porque su superficie puede usarse en beneficio de la comunidad. Es una fuente potencial de problemas por su contenido, así como por el riesgo de que los residuos sólidos migren fuera de la celda.

El área clausurada tiene limitaciones para su uso final, las cuales son:

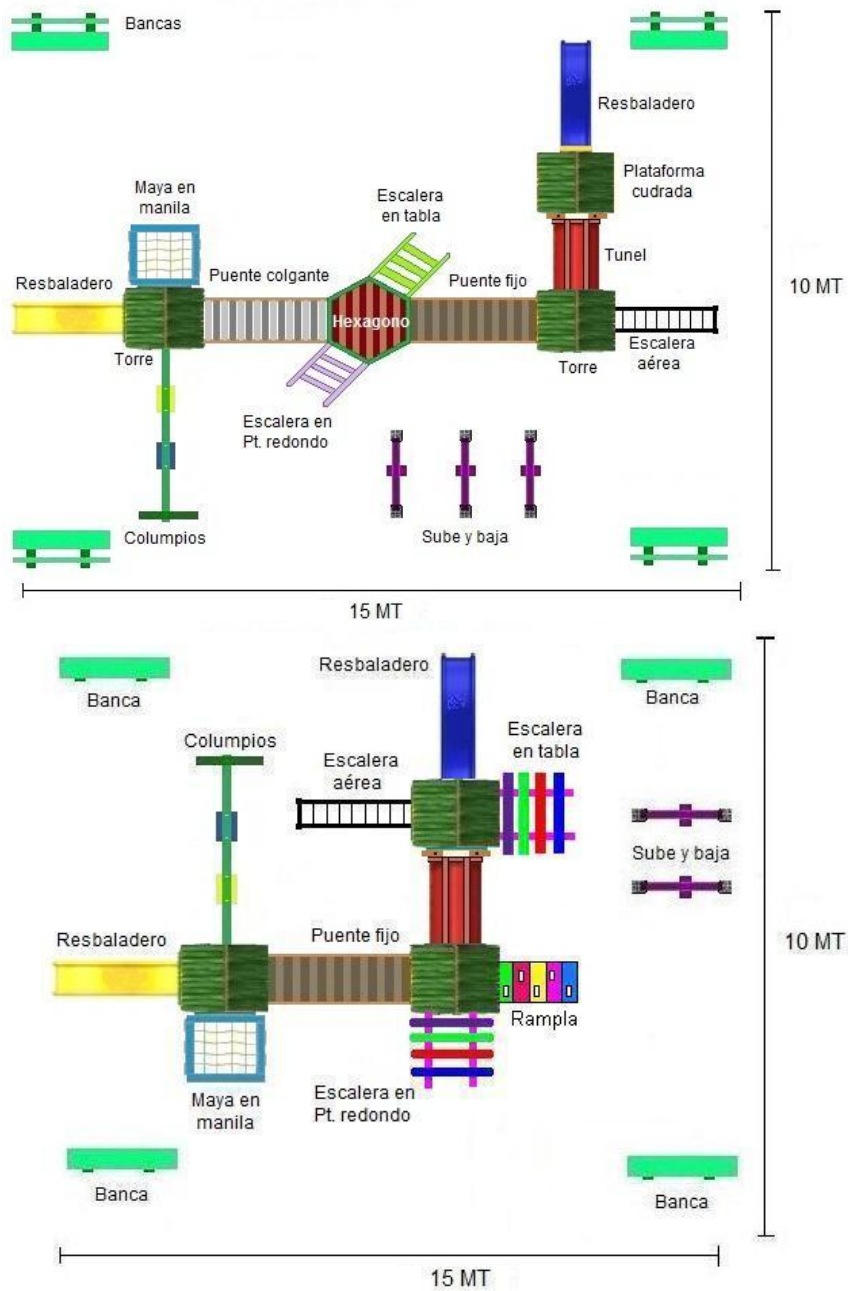
- Necesidad de preservar la integridad de la cobertura final del relleno sanitario.
- Riesgos del gas del relleno sanitario.
- La probabilidad de asentamiento diferencial

Las limitaciones enunciadas, dependen de varios factores como: los tipos de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario, la edad del relleno, el grado de compactación, el clima, etc. Donde se puede intuir que, si el relleno tiene un tiempo de estabilidad suficiente, puede ser apto para reutilizar el área, de lo contrario, es necesario permitir que la naturaleza intente equilibrarla, y reducir los efectos notorios de la intervención realizada.

En el Kililí, se inició un sendero en adoquinado y madera plástica, por las celdas con tiempo de clausura superiores a 5 años, se tuvo en cuenta su paso por áreas poco intervenidas y con características de estabilidad apreciables; de igual manera se proyectó la construcción de un parque ecológico a partir de material reciclable como el plástico, el cual una vez transformado permite el diseño, construcción e instalación de unidades aptas para el entretenimiento infantil y con ánimos de crear espacios de relajamiento y recreación.

A continuación se ilustra el diseño del parque ecológico previsto como uso final del relleno sanitario Kililí.

Figura 63. Esquema parque ecológico



Fuente: Catalogo de productos Biofuturo

5. CONCLUSIONES

- El trabajo de grado, modalidad pasantía, fue una etapa muy enriquecedora para el pasante, debido a que además de ampliar los conocimientos teóricos y prácticos de la ingeniería civil, permitió conocer y aprender cómo se debe realizar el manejo de personal, para que en conjunto se pueda culminar obras de la mejor calidad.
- Los objetivos propuestos en el proyecto de pasantía se cumplieron a cabalidad, esto permitiendo una mejora inmediata en las condiciones operacionales del relleno sanitario y viéndose reflejado en el ambiente laboral y paisajístico.
- Las actividades planteadas y ejecutadas permitieron abordar problemas ambientales críticos como el impacto visual y la intervención paisajística que se había realizado, la ausencia total de control y monitoreo de celdas transitorias, la determinación de eficiencia de los sistemas de tratamiento y actividades de mantenimiento del relleno sanitario. Todas éstas enfocadas a garantizar una operación y reducción de impactos negativos al ambiente, a la salud pública y a los trabajadores.
- El implementar estrategias de aprovechamiento como reutilización, compostaje y reciclaje permiten una reducción considerable del volumen de material a disponer; y eliminar la generación de productos a partir de la putrefacción de la materia orgánica como lo son los lixiviados y gases; aumentar tiempo de vida media de cualquier lugar de disposición final es el gran objetivo de las nuevas perspectivas ambientales. En cuanto al compostaje, comprobar el rendimiento y calidad del material generado es una base fuerte para próximos proyectos ambientales que tengan por objeto la generación y comercialización de abonos orgánicos; siempre y cuando se evalúen parámetros de viabilidad y factibilidad.
- El manejo de problemas ambientales asociados a residuos sólidos y el diagnóstico y aplicación de alternativas permiten adquirir conocimientos prácticos, destrezas que hacen del profesional una persona multidisciplinar capaz de dar solución a eventos emergentes y situaciones adversas.

6. RECOMENDACIONES

Teniendo como referencia las actividades realizadas en el periodo de pasantía en la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Puerto Asís, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Monitorear las aguas subterráneas, para verificar la eficiencia del sistema de impermeabilización instalado.
- Realizar análisis de calidad de aire para conocer la composición del biogás, explosividad, caudal, partículas suspendidas totales y partículas respirables.
- Ejecutar programas ambientales enfocados a: separación de residuos sólidos en la fuente, el aprovechamiento y reutilización, y sobre todo estrategias para educar ambientalmente a la comunidad.
- Construir unidades adicionales al tratamiento de lixiviados y / o replantear los diseños del sistema utilizado, mejorando la remoción de carga contaminante y dando cumplimiento al decreto 1594 de 1984.
- Trabajar a escala real la compostación del material orgánico y fomentar áreas de trabajo social para estudiantes y recuperadores ambientales.
- Llevar a cabo el uso final del relleno sanitario Killilí, mediante la instauración de parques recreativos y áreas de estudio.
- Ejecutar el programa de salud ocupacional de la empresa de servicios públicos, con ánimo de proteger la salud de los trabajadores y crear ambientes aptos para el buen desempeño de las actividades diarias.
- Gestionar la adquisición de un nuevo vehículo compactador de residuos sólidos, que pueda sustituir las rutas realizadas por el vehículo tipo volqueta, el cual no es apto para actividades de recolección de residuos.

BIBLIOGRAFIA

Agroflor lombricultura. Manual Lombricultura.

APROLAB .Manual para la producción de compost con Microorganismos Eficientes, EM-1. - Diciembre- 2007

Giraldo, Eugenio. Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos. (1997)

Guía ambiental para el saneamiento y cierre de botaderos a cielo abierto (2002).
Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá – Colombia.

Jaramillo Pérez, Jorge A. Relleno Sanitario Manual, Guía para el Diseño, Construcción y Operación. Medellín, Colombia. Abril, 1988. Pp. 153

Nieves Díaz, Erika. Disposición final de Residuos Sólidos en Colombia. (2009).
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Medellín.

Opazo G, Mario. Manual para el tratamiento integral de basuras. Bogotá: ENDA, 1991. 58 p.

Plan De Cierre, Clausura y Restauración Ambiental del sitio de disposición final Kililí, Municipio de Puerto Asís, Putumayo.

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000).
Título F, Sistemas de Aseo Urbano. Bogotá, D.C.