



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DECANATO DE POSTGRADOS

**MAESTRÍA EN INGENIERIA AMBIENTAL MENCIÓN EN
SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo previo a la obtención del título de: **MAGISTER EN INGENIERIA AMBIENTAL MENCIÓN EN SANEAMIENTO AMBIENTAL**

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**DETERMINACIÓN DE LIXIVIADO EN LA CELDA DE DISPOSICIÓN
FINAL EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN PASTAZA.**

AUTOR

SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MSC. EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE

Puyo-Ecuador

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

FORMATO DP-UT-013A: DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, VILLAGÓMEZ REINOSO SERGIO ALEJANDRO, con cédula de identidad 1600226094, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo titulado **“DETERMINACIÓN DE LIXIVIADO EN LA CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN PASTAZA”**, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.



VILLAGÓMEZ REINOSO SERGIO ALEJANDRO
CI. 1600226094



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-013B

**FORMATO DP-UT-013B: CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE
EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN**

EL TRIBUNAL DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN

CERTIFICA QUE:

El presente trabajo “Determinación de lixiviado en la celda de disposición final en el relleno sanitario del cantón Pastaza”, bajo la responsabilidad del maestrante VILLAGOMEZ REINOSO SERGIO ALEJANDRO, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación:

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

DR. LUIS RAMÓN BRAVO SÁNCHEZ
PRESIDENTE DE TRIBUNAL EVALUADOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DR. REINER ABREU NARANJO
MIEMBRO 1

MGS. PAUL MARCELO MANOBANDA PINTO
MIEMBRO 2



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-011

FORMATO DP-UT-011: AVAL DEL DIRECTOR DE TRABAJO TITULACIÓN

MAESTRÍA EN MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL MENCIÓN EN SANEAMIENTO AMBIENTAL	
COHORTE: I	FECHA ELABORACIÓN: 10/11/2022
INFORME FINAL Y AVAL	
<p>Quien suscribe, MSC. EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE portador de la cédula de identidad número: 0502956261, en calidad de Director del trabajo de titulación denominado: DETERMINACIÓN DE LIXIVIADO EN LA CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN PASTAZA, opción Proyecto de trabajo de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo, a cargo del maestrante SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO, portador del número de cédula de identidad: 1600226094, certifico haber acompañado y revisado el documento entregado a mi persona, considero que cumple con los objetivos planteados, lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.</p> <p>Por lo antes expuesto se avala el trabajo de titulación para que sea presentado para la sustentación correspondiente.</p>	
ELABORADO POR:	
	
MSC. EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE CI: 0502956261 DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	



UNIVERSIDAD ESTADAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-013C

FORMATO DP-UT-013C: CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

Quien suscribe el presente MSc. Edison Roberto Suntasig Negrete con CI: **0502956261**, certifica que el Proyecto final de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo titulado: **“DETERMINACIÓN DE LIXIVIADO EN LA CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN PASTAZA”** ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del **3%**.

En el cantón Pastaza, a los 01 días del mes de noviembre del 2022.


MSc. Edison Roberto Suntasig Negrete
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Document Information

Analyzed document	Tesis Sergio Villagómez (1).docx (D148242907)
Submitted	2022-10-31 19:31:00
Submitted by	EDISON SUNTASIG
Submitter email	esuntasig@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	esuntasig.uea@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS FINAL pdf.pdf Document TESIS FINAL pdf.pdf (D48398758)	 15
SA	UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / proyecto Diseño celda emergente.docx Document proyecto Diseño celda emergente.docx (D35411442) Submitted by: rledesma@uea.edu.ec Receiver: rledesma.uea@analysis.arkund.com	 1
SA	Tesis Gracia - Hidalgo.pdf Document Tesis Gracia - Hidalgo.pdf (D80507733)	 1
SA	UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / FORMATO INFORME DE PRÁCTICAS ALEJANDRO ROSERO_RELLENO SANITARIO.pdf Document FORMATO INFORME DE PRÁCTICAS ALEJANDRO ROSERO_RELLENO SANITARIO.pdf (D142291260) Submitted by: ga.roserof@uea.edu.ec Receiver: ppenafiel.uea@analysis.arkund.com	 1
SA	TRABAJO DE TITULACION ENRIQUEZ - SUAREZ.docx Document TRABAJO DE TITULACION ENRIQUEZ - SUAREZ.docx (D131745232)	 1

Entire Document

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
 DECANATO DE POSTGRADOS
 MAESTRÍA EN INGENIERIA AMBIENTAL MENCIÓN EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
 Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo previo a la obtención del título de:
 MAGISTER EN INGENIERIA AMBIENTAL MENCIÓN EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
 TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DETERMINACIÓN DE LIXIVIADO EN LA CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL EN EL
 RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN PASTAZA.
 AUTOR SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO
 DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN MSC. EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE
 Puyo-Ecuador 2022
 DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS
 FORMATO DP-UT-013A: DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

AGRADECIMIENTO

A Elvia, Alejandra y Pablo por su apoyo y paciencia.

A mis maestros que compartieron sus conocimientos y enseñanzas.

A todas las personas que con sus conocimientos colaboraron en la consecución de este logro académico.

DEDICATORIA

A Elvia, Alejandra y Pablo por su paciencia y apoyo.

RESUMEN EJECUTIVO

El constante crecimiento de las ciudades trae como consecuencia un incremento proporcional del volumen de desechos sólidos. En Ecuador, así como en la mayoría de los países en vías de desarrollo los vertederos se han convertido en la respuesta generalizada como destino final para la basura. Esta práctica trae como consecuencia la descarga de lixiviados al ambiente, los cuales pueden resultar altamente contaminantes cuando no disponen de un adecuado tratamiento previo. En el cantón Pastaza, el relleno sanitario cuenta con una celda de disposición final en operación, la misma que con una capacidad de 80.966 m³ proyecta una vida útil de 11 meses. Esta celda descarga sus lixiviados a una planta de tratamiento convencional cuyas características de diseño no difieren de las existentes en otras zonas del país. En su operación son frecuentes los colapsos tanto por superar los límites de descarga permisibles como por las altas precipitaciones de la región Amazónica. El presente estudio plantea que una de las causas para la problemática descrita es el erróneo dimensionamiento de la planta, originado en una imprecisa cuantificación del caudal. La investigación aplica el método suizo y el método del balance hídrico para determinar la cantidad de caudal de lixiviado generado, comparando su confiabilidad en base a la medición del volumen real de descarga. Se concluye que el método del balance hídrico aporta mayor precisión, considerando que las principales variables en el sistema son la precipitación con 4640,19 mm anuales y el aporte de humedad de los desechos es del 14%.

Palabras clave: Balance hídrico, caudal, humedad, lixiviado, vertedero.

ABSTRACT

The constant growth of cities results in a proportional increase of the solid waste volume. In Ecuador, as well as in most developing countries, landfills have become the arrival point for the destination of garbage. This practice consequently results in the discharge of leachates into the environment that might be highly polluting when they do not have an adequate previous treatment. In Pastaza canton, the landfill has a final disposal cell in operation, which has a capacity of 80.966 m³ and projects a useful life of 11 months. This cell discharges its leachate to a conventional treatment plant whose design characteristics do not differ from those existing in other areas of the country. Collapses are frequent and its operation for both because of exceeding permissible discharge limits and because of high rainfall in the Amazon region. This study suggests that one of the causes for the problem is the wrong dimensioning of the plant caused by an imprecise quantification of the flow. The research applies the Swiss method and the hydric balance method to determine the amount of leachate flow generated, comparing its reliability based on the measurement of the actual discharge volume. It is concluded that the water balance method provided greater precision considering that the main variables in the system are precipitation with 464,019 mm per year and the moisture content of the waste is 14%.

Keywords: Water balance, flow, humidity, leachate, landfill.

ÍNDICE

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema Científico.....	2
1.2. Hipótesis de la Investigación.....	3
1.3. Objetivo general	3
1.4. Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II.....	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Gestión integral de desechos sólidos.....	5
2.2. El problema de los residuos sólidos municipales (RSM).....	5
2.3. Disposición final de desechos sólidos.....	7
2.4. Rellenos sanitarios.....	7
2.5. Métodos utilizados para la construcción de rellenos sanitarios	9
2.6. Lixiviados.....	11
2.7. Caudal Teórico	18
CAPITULO III	26
3. MATERIALES Y METODOS.....	26
3.1. Localización del área de Estudio.....	26
3.2. Descripción del Área	27
3.3. Tipo de Investigación	30
3.4. Métodos de Investigación.....	30
3.5. Tratamiento de Datos	34
3.6. Recursos Humanos y Materiales	44
CAPÍTULO IV	50
4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	50
4.1. Determinación de Precipitación Media Anual	50
4.2. Contenido de humedad en desechos sólidos.	51
4.3. Contenido de humedad en el material de cobertura.	54
4.4. Resultados de los análisis de contenido de humedad.....	54
4.5. Determinación de descarga actual de lixiviados.	55
4.6. Cálculo de Producción de Lixiviado por Balance Hídrico.....	58

4.7. Discusión.....	63
5. CONCLUSIONES.....	68
6. RECOMENDACIONES	69
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA	70
8. ANEXO	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de relleno sanitario según su situación.....	9
Tabla 2: Clasificación de lixiviados.	14
Tabla 3: Composición típica de lixiviados.	16
Tabla 4: Capacidad de campo para varios tipos de suelo.	23
Tabla 5: Resultados de Gestión.	36
Tabla 6: Población con servicio de recolección de residuos sólidos en el año 2021.	39
Tabla 7: Gestión de residuos y desechos sólidos.	40
Tabla 8: Desechos orgánicos confinados en celda diaria provenientes del sector rural.	41
Tabla 9: Desechos orgánicos confinados en celda diaria provenientes del sector urbano...	42
Tabla 10: Material de cobertura utilizado en el periodo 2019 a 2021.....	43
Tabla 11: Recursos humanos utilizados.....	45
Tabla 12: Equipo de seguridad utilizado.	46
Tabla 13: Equipo utilizado para toma de muestras.	47
Tabla 14: Equipo y herramientas utilizado para determinación de caudal.....	49
Tabla 15: Precipitación registrada en la estación M0008 INAMHI desde 2005 al 2013...	50
Tabla 16: Contenido de humedad en desechos y material de cobertura.	55
Tabla 17: Determinación de caudal en descarga 1.....	57
Tabla 18: Determinación de caudal en descarga 2.....	57
Tabla 19: Caudal total descargado.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localización del relleno sanitario de la ciudad de Puyo.	26
Figura 2: Ubicación de la celda de disposición final en el relleno sanitario.....	27
Figura 3: Mapa de Geomorfología del Proyecto	28
Figura 4: Mapa de suelo predominante en el proyecto	29
Figura 5: Ingreso al relleno Sanitario.....	34
Figura 6: Báscula eléctrica para el pesado y registro de desechos gestionados.....	35
Figura 7: Área destinada al acopio de material recuperado para reciclaje.....	35
Figura 8: Vista panorámica de la celda de disposición final en operación.	37
Figura 9: Componentes de la celda de disposición final.	37
Figura 10: Sitio de Acopio de material para cobertura o recubrimiento diario.....	38
Figura 11: Aislamiento para evitar contaminación de los desechos durante el cuarteo.	52
Figura 12: Homogenización de los desechos ingresados previos a toma de muestras.	52
Figura 13: Obtención de desechos sólidos a muestrear.	53
Figura 14: Cuarteos sucesivos para obtener las muestras.	53
Figura 15: Muestras de suelo en fundas ziploc para ser trasladadas al laboratorio.	54
Figura 16: Aforos para medición de caudales por el método volumétrico.	56
Figura 17: Variación de resultados entre métodos utilizados.	63
Figura 18: Comportamiento mensual de la precipitación en los diferentes años.....	64
Figura 19: Comportamiento de la precipitación en el periodo 2005 – 2013.....	65
Figura 20: Porcentajes de aporte de humedad a la celda de disposición final.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Reportes de análisis para determinación de humedad en desechos sólidos y material de cobertura.

Anexo 2. Información obtenida del estudio Innovación en el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos domésticos, dirigida a la producción agroecológica en el Cantón Pastaza.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, en varios cuerpos legales, se establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales tienen la competencia exclusiva para brindar el servicio de Gestión Integral de Desechos Sólidos, sin embargo, de acuerdo al Boletín Técnico No 04-2020-GAD Municipales Gestión de Residuos Sólidos Diciembre, 2021, no todos los GAD han implementado proyectos que cumplan de manera eficiente todas las fases que implica la mencionada gestión. (INEC, 2021)

Para la fase de disposición final de desechos sólidos comunes, la modalidad más utilizada en nuestro país es el relleno sanitario, el cual es una técnica que confina los desechos sólidos en el suelo sin producir perjuicios al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública (TULSMA, 2003). De acuerdo al Boletín Técnico No 04-2020-GAD Municipales, Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos Diciembre, 2021, en el Ecuador durante el 2020, según información declarada por los GADM, 111 municipios que representan el 50,5% disponen los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios, el 31,4% en celdas emergentes y el 18,2% en botaderos, lo que nos demuestra claramente la falta de responsabilidad ambiental que todavía existe en algunos municipios del país. (INEC, 2021)

De acuerdo a información proporcionada por la Dirección de Servicios Municipales y Sociales del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Pastaza, dentro de los componentes de la celda de disposición final de desechos sólidos comunes tenemos el sistema de captación y tratamiento de lixiviados, el cual no cuenta con la capacidad para garantizar los tiempos de retención en los diferentes componentes de la planta de tratamiento de lixiviados, especialmente durante los periodos de precipitación lluviosa, situación que genera un deficiente tratamiento y con esto el incumplimiento de los límites permisibles al momento de la descarga.

En la actualidad el GAD Municipal del Cantón Pastaza se encuentra diseñando una nueva celda de disposición final para el confinamiento técnico de los desechos sólidos comunes generados en el cantón, la cual ocupará un área de 1 ha. Con una capacidad aproximada de 133.000 m³, sin embargo, la falta de datos técnicamente obtenidos sobre la generación de lixiviados, dificultando el dimensionamiento del sistema de conducción y tratamiento de estos líquidos contaminantes.

El presente trabajo sigue una línea de investigación orientada a la gestión y conservación ambiental, de acuerdo a lo establecido por la Universidad Estatal Amazónica, ya que con los resultados obtenidos se pretende contribuir con una parte de la solución de los problemas generados en el monitoreo, evaluación y control de los lixiviados producidos en el relleno sanitario del cantón Pastaza como fuente contaminante.

1.1. Problema Científico

El Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pastaza opera una celda construida en el año 2018. La planta de tratamiento de lixiviados fue diseñada a partir del caudal obtenido mediante la aplicación del método Suizo (Jaramillo, 2002), con lo cual se determinó el volumen de lixiviados que se generarían en la celda de disposición final, es importante mencionar que este método considera únicamente la precipitación media anual, el área del relleno y una constante que depende de la compactación de los desechos sólidos, dejando de lado factores importantes como la evapotranspiración, el contenido de humedad de los desechos y el material de cobertura. Además, el valor utilizado como constante queda a criterio del investigador, por consiguiente, este método puede generar un margen muy grande de error.

En los diferentes monitoreos y auditorias realizados al relleno sanitario se ha determinado que las descargas hacia el río Chilcayacu, provenientes de esta planta sobrepasan los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente en varios parámetros como son: DBO5, DQO, Sólidos en Suspensión, Sólidos Disueltos y Coliformes Totales. Con estos resultados se ha podido establecer que existieron errores en el diseño de la planta de tratamiento de lixiviados, en especial en la determinación del caudal a ser tratado. Estos resultados nos permiten establecer que en realidad el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Pastaza no cuenta con datos confiables sobre la producción de

lixiviados a causa de la ineficiencia en los métodos de estimación anteriormente utilizados.

Por estas razones, se muestra como una necesidad trascendente la aplicación de una metodología que garantice eficiencia en la cuantificación de los lixiviados producidos en una celda de disposición final del Relleno Sanitario del Cantón Pastaza, la cual será tratada en el presente estudio.

¿Si se aplica un modelo como es el balance hídrico, que considera los procesos que integran el ciclo hidrológico, se podrá determinar la cantidad de lixiviados producido en una celda de disposición final de desechos sólidos comunes del relleno sanitario del cantón Pastaza?

1.2. Hipótesis de la Investigación.

La aplicación de un modelo como es el balance hídrico, que considera los procesos que integran el ciclo hidrológico, permite una correcta determinación de la cantidad del lixiviado producido en una celda de disposición final de desechos sólidos comunes del relleno sanitario del cantón Pastaza.

1.3. Objetivo general

Determinar la generación de lixiviados en la celda de disposición final del relleno sanitario del Cantón Pastaza mediante la aplicación de un método que considere el ingreso y salida de humedad en el sistema.

1.4. Objetivos específicos

- Realizar una base de datos de los factores internos y externos que intervienen en la generación de lixiviados en la celda de disposición final del relleno sanitario del cantón Pastaza con el propósito de determinar la cantidad que se produce.
- Aplicar un método confiable de determinación de caudales de lixiviados que sirva como insumo para el dimensionamiento de plantas de tratamiento en el relleno sanitario del cantón Pastaza.

- Comparar el grado de eficiencia que tienen los métodos de balance hídrico y suizo en la determinación de la cantidad de lixiviados que se generan en la celda del relleno sanitario del cantón Pastaza.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Gestión integral de desechos sólidos

La gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos constituye el conjunto integral de acciones y disposiciones regulatorias, operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos y desechos sólidos no peligrosos desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico. (MAE, 2019)

Las fases de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos son el conjunto de actividades técnicas y operativas de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos que incluye:

- a. Separación en la fuente;
- b. Almacenamiento temporal;
- c. Barrido y limpieza;
- d. Recolección;
- e. Transporte;
- f. Acopio y/o transferencia;
- g. Aprovechamiento;
- h. Tratamiento; y,
- i. Disposición final. (MAE, 2019)

2.2. El problema de los residuos sólidos municipales (RSM)

La gestión de residuos sólidos, especialmente lo relacionado con la disposición final, es una tarea compleja que se ha convertido en un problema común en los países en vías de desarrollo.

Ello se refleja en la falta de limpieza de las áreas públicas, la recuperación de residuos en las calles, el incremento de actividades informales, la descarga de residuos en cursos de agua o su abandono en botaderos a cielo abierto y la presencia de personas, de ambos sexos y de todas las edades, en estos sitios en condiciones infrahumanas, expuestas a toda clase de enfermedades y accidentes. (Jaramillo, 2002)

El problema de la generación y tratamiento de residuos tiene un factor muy preocupante que es el incremento de la población y su concentración en grandes ciudades. Las cifras de evolución de la población mundial desde el año uno de nuestra Era, muestra que la primera duplicación (de 250 a 500 millones de habitantes) de la población tardó en producirse unos 1650 años. La última duplicación ha tenido lugar en 37 años y la población ha pasado de 2500 millones en 1950 a 4000 millones en 1987. Actualmente se superan los 6.000 millones de personal y con una producción media per cápita de 1 kg de basura/día. (Colomer, 2007)

El crecimiento económico y demográfico de los países han incrementado la tasa de generación de residuos sólidos, y ha creado una nueva amenaza para la agenda global de sostenibilidad de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). (Ayeleru, 2018). Nuevos lugares anteriormente con ecosistemas naturales han sido convertidos en hogares, infraestructuras o vertederos, para satisfacer las necesidades humanas. Este proceso se refleja en la generación de residuos en América Latina y el Caribe, pues en el 2014 se generaban diariamente 541.000 t/día (de ellos 145.000 t/día de residuos a basurales) y se estima para el año 2050, que las cifras lleguen a las 671.000 t/día. La tasa promedio de generación actual de la región es de 1,04 kg/hab.-día, alrededor de 40 millones de personas carecen de acceso a la recolección de residuos y más del 50% de los residuos sólidos urbanos (RSU) generados son orgánicos. (Enviroment, 2018)

Con respecto a la disposición final a nivel regional se observa que el 52% de los países cuentan con un relleno sanitario, el 43,3% con botaderos y menos del 1% realiza otros tipos de disposición final como digestión anaeróbica, compostaje o incineración. Un 4,5% de residuos sólidos se reciclan. (INEC, 2021)

2.3. Disposición final de desechos sólidos

Es la última de las fases de la gestión integral de los desechos, en la cual son dispuestos de forma sanitaria mediante procesos de aislamiento y confinación definitiva, en espacios que cumplan con los requerimientos técnicos establecidos en las normas secundarias correspondientes, para evitar la contaminación, daños o riesgos a la salud humana y al ambiente. (MAE, 2019)

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y Metropolitanos deberán disponer los desechos sólidos no peligrosos de manera obligatoria en rellenos sanitarios u otra alternativa que cumpla con los requerimientos técnicos y operativos aprobados para el efecto. La disposición final de desechos sólidos no peligrosos se enfocará únicamente en aquellos residuos que no pudieron ser reutilizados, aprovechados o reciclados durante las etapas previas de la gestión integral de residuos o desechos. (MAE, 2019)

En el Ecuador, en el 2020, según información declarada por los GADM, 111 municipios que representan el 50,5% disponen los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios, el 31,4% en celdas emergentes y el 18,2% en botaderos. (INEC, 2021)

2.4. Rellenos sanitarios

Según el Anexo VI del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del ambiente, el relleno sanitario es una técnica para la disposición de los desechos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar los desechos sólidos en un área la menor posible, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, y luego cubriendo los desechos sólidos depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada. (MAE, 2003)

La tecnología del relleno manual tiene sus límites. La compactación del material es menos eficiente, y por consecuencia, la estabilidad del cuerpo de basura no permite alturas elevadas.

Esta situación resulta en la necesidad de un mayor espacio con el consecuente aumento en la producción de aguas lixiviadas. No obstante, estas desventajas, suele ser la solución más conveniente para municipios y comunidades pequeñas, municipios ubicados en sitios aislados y municipios con fondos escasos.

Los rellenos sanitarios con compactación mecanizada son la tecnología apropiada para municipalidades medianas y grandes que producen una cantidad diaria de basura que no sería factible manejar completamente a mano. Estos municipios disponen generalmente de fondos más adecuados y también de personal técnico capacitado. En el relleno sanitario mecanizado trabajan generalmente uno o dos tractores compactadores que realizan los trabajos de colocación, compactación y cubierta de los desechos; y las excavaciones y el transporte necesario para suministrar nuevo material de cobertura. Los trabajos de mantenimiento se pueden hacer manualmente o con apoyo de maquinaria (por ejemplo, excavación de cunetas manualmente o con retroexcavadora). En la Tabla 1 se dan algunas recomendaciones indicando en qué situación se preferiría qué tipo de relleno sanitario. Se recomienda a cada municipalidad que planifica construir un relleno sanitario hacer un estudio de factibilidad comparando las ventajas y desventajas de las dos tecnologías para el caso específico. (Roben, 2002)

Tabla 1: *Tipos de relleno sanitario según su situación.*

Situación	Relleno Manual	Relleno con compactación Mecanizada
Municipalidad o comunidad muy pequeña (< 5.000 habitantes)	Siempre se recomienda.	NO
Municipalidad pequeña (< 50.000 habitantes)	Se recomienda generalmente	Se recomienda si se puede compartir con otros municipios cercanos.
Municipalidad mediana (50.000 – 200.000 habitantes)	Solamente en circunstancias especiales	Se recomienda generalmente
Municipalidad grande (> 200.000 habitantes)	NO	Siempre se recomienda

2.5. Métodos utilizados para la construcción de rellenos sanitarios

Para definir el método constructivo de un relleno sanitario sea este manual o mecanizado existen condiciones básicas que resultan del sitio de emplazamiento seleccionado, considerando lo siguiente:

- a. Condiciones topográficas.
- b. Características del suelo.
- c. Nivel Freático.
- d. Disponibilidad de material de cobertura.

2.5.1. Método de trinchera o zanja

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de excavación de trincheras de hasta de 7 metros de profundidad. Los RSM se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra

excavada. Se debe tener especial cuidado en periodos de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. De ahí que se deba construir canales perimétricos para captarlas y desviarlas e incluso proveer a las zanjas de drenajes internos. En casos extremos, se puede construir un techo sobre ellas o bien bombear el agua acumulada. Sus taludes o paredes deben estar cortados de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado. (Jaramillo, 2002)

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo, siendo exigencia de la NB 759 y NB 760 que espesor del suelo entre el nivel de desplante del suelo y el nivel máximo de subida de aguas freáticas sea como mínimo 2 m y la impermeabilidad del suelo de 10-6 cm/seg deberá garantizarse, que el tiempo de llegada de cualquier contaminante a un cuerpo de agua superficial o subterránea sea mayor a 150 años. (Ministerio de ambiente y agua, 2010)

Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación. (Ministerio de ambiente y agua, 2010)

2.5.2. Método de área

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial de áreas colindantes, esto es en los siguientes casos:

- a. Se pretende rellenar depresiones naturales o provocadas por distintas extracciones de materiales.
- b. El área por rellenar se encuentra en una llanura, pero la calidad del suelo y la presencia de aguas subterráneas impiden practicar excavaciones.

En el caso de depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba. (Ministerio de ambiente y agua, 2010)

En la aplicación del método de área se requiere siempre de la presencia de un sólido terraplén (natural o artificial), de forma de compactara los residuos sobre el mismo. (Ministerio de ambiente y agua, 2010)

2.6. Lixiviados

Los lixiviados son un producto de la descomposición de los residuos depositados en los rellenos sanitarios; su composición depende de diferentes factores tales como el tipo de basuras, edad del relleno, balance de agua, diseño y operación del relleno sanitario, solubilidad de los desechos, procesos de conversión microbiológica y química e interacción del lixiviado con el medio ambiente. (Zapata, 2013)

Desde el momento en que se acumula en casa la basura sin ser clasificada, se mezclan los diferentes residuos emanados de la misma (sobrantes de detergentes, materia orgánica en descomposición, productos de la oxidación de metales humedecidos, entre otros). Uno de los subproductos generados de dicha mezcla de basura se convierte en un fluido que se denomina: lixiviado, el cual se clasifica de acuerdo al tiempo de vida del mismo, y cuya composición es difícil de establecer como tal, pues esta dependerá de la combinación de las cantidades de uno u otro residuo contenidos en determinado lote de desechos. (Martínez 2014)

La calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía grandemente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga. En particular vale la pena mencionar las diferencias que se tienen en las calidades de los lixiviados entre aquellos de los países desarrollados con los de los países en vía de desarrollo.

De manera resumida se puede decir que los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países en desarrollo presentan concentraciones mucho mayores de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados. Esto tiene importantes implicaciones para la operatividad y el rendimiento de los procesos de tratamiento, y debe tenerse cautela cuando se busque hacer la adaptación de las tecnologías a los casos locales. (Giraldo 2001)

Las diferencias se originan principalmente en los altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable, MOFBD, que se tiene en los residuos sólidos en los países en desarrollo. La MOFBD tiene un contenido de humedad alto, y como su nombre lo indica se degrada rápidamente en el relleno sanitario, produciendo a su vez altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco- en general mucho más altas que las que se reportan típicamente para lixiviados de países desarrollados- producto de la fermentación inicial. A su vez, estos ácidos se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, le bajan el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno. (Giraldo 2001)

En este contexto, se define el lixiviado como el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión. En los rellenos sanitarios el lixiviado está formado por el líquido que entra al vertedero desde fuentes externas, fundamentalmente el agua aportada por la humedad de los residuos, por la lluvia y por las infiltraciones. (Cárdenas, 2020)

La generación de lixiviados en los vertederos depende de factores como: grado de compactación de los desechos, la humedad inicial de la basura, el tipo de material de cobertura, la precipitación pluvial, la humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración y la capacidad de campo del relleno. Se estima que durante el proceso de descomposición se generan 0,2 m³ de lixiviado por cada tonelada de residuos, y que, tras su clausura, un vertedero puede seguir generando lixiviados durante más de 50 años. (Lobo, 2002)

La cantidad de las aguas lixiviadas que se producen en un relleno sanitario depende de factores diferentes:

- La precipitación
- El área del relleno
- El modo de operación (relleno manual o compactado con maquinaria, sistema de compactación)
- El tipo de basura. (Roben, 2002)

La producción de aguas lixiviadas puede ser extremadamente alta en rellenos manuales que se encuentran en regiones con alta pluviosidad. La minimización de las aguas lixiviadas es especialmente importante para rellenos manuales sujetos a precipitaciones elevadas, ya que es difícil el tratamiento de una cantidad alta de aguas lixiviadas que se pueden generar.

Las medidas más importantes para la minimización de aguas lixiviadas en rellenos manuales son:

- No construir el relleno en áreas completamente planas o en trincheras, pero sí en terrazas o sobre un terreno ligeramente inclinado para que una parte de las aguas de lluvia pueda desaguarse en la superficie, sin percolar al cuerpo de basura.
- Cubrir las celdas terminadas con tierra y sembrar plantas con alta capacidad de absorción para secar el terreno.
- Construir drenes de aguas lluvias alrededor de las celdas para evitar que se infiltre agua de afuera al cuerpo de basura.
- Cubrir las celdas con plástico de invernadero desechado o con helecho (ese método no sirve en trincheras excavadas, solamente en celdas que tienen la forma de terraza o que son construidas sobre terrenos inclinados).

En rellenos compactados con maquinaria se puede minimizar la cantidad de las aguas lixiviadas con las siguientes medidas:

- Buena maquinaria de compactación (compactadora pesada).
- Colocación de la basura en capas delgadas (no más de 30 cm de espesor)

- Compactación adecuada (la máquina debe pasar a menos 20 veces sobre el mismo lado)
- Construcción de una capa de basura con un espesor de 2 m al fondo del cuerpo de basura. Esa basura se deja a la biodegradación aeróbica y se compacta más tarde. Va a servir como filtro para las aguas lixiviadas de más arriba. (Roben, 2002)

2.6.1. Clasificación de Lixiviados

Una de las formas como se han clasificado los lixiviados es de acuerdo con las características de los parámetros medidos y a la edad del relleno sanitario.

Tabla 2: *Clasificación de lixiviados.*

Parámetros	Reciente < 5 Años	Intermedio 5 a 10 Años	Viejo > 10 Años
pH	6,5	6,5-7,5	>7,5
DQO (mg/L)	>10.000	4.000-10.000	<4.000
DBO5/DQO	>0,3	0,1-0,3	<0,1
Compuestos Orgánicos	80% Ácidos Grasos Volátiles (VFA)	5-30% VFA + Ácidos Húmicos y Fúlvicos	Ácidos Húmicos y Fúlvicos
Metales Pesados	Bajo - Medio	Bajo	Bajo
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Bajo

Fuente: Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan, & Moulin, 2008

Según los autores Reunou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan, & Moulin, aunque la composición de los lixiviados puede variar ampliamente dentro de las sucesivas etapas de estabilización de la evolución del residuo aeróbico, acetogénico, metanogénico, se han definido tres tipos de lixiviados según la edad del relleno sanitario. (Conto, 2018)

2.6.2. Composición de lixiviados

Según Farquhar G, (1989) los tipos, cantidades y tasas de producción de los contaminantes que aparecen en el lixiviado en un vertedero están influenciados por varios factores: tipo de basura y composición; densidad de basura, pretratamiento, secuencia de colocación y profundidad; carga de humedad de la basura; temperatura y tiempo. (Conto, 2018)

Al filtrarse el agua a través de los residuos sólidos en descomposición, se lixivian en solución materiales biológicos y constituyentes químicos. En la siguiente tabla se presentan datos representativos sobre las características de los lixiviados en vertederos nuevo y antiguo. Como el rango de los valores de concentración observados para varios constituyentes presentados es bastante grande, en especial en vertederos nuevos, se debe tener mucho cuidado en la utilización de los diversos valores que se presentan. (Tchobanoglous, 1994)

Tabla 3: *Composición típica de lixiviados.*

Constituyente	Valor, mg/L a		
	Vertedero Nuevo Rango c	< 2 años Típico d	Vertedero Maduro >10 años
DBO5	2.000-30.000	10.000	100-200
COT	1.500-20.000	6.000	80-160
DOC	3.000-60.000	18.000	100-500
Total de sólidos en suspensión	200-2.000	500	100-400
Nitrógeno Orgánico	10-800	200	80-100
Nitrógeno amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Total fosfato	5-100	30	5-10
Orto fosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO3	1.000-10.000	3.000	200-1.000
Ph	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Dureza total como CaCO3	300-10.000	3.500	200-500
Calcio	200-3.000	1.000	100-400
Magnesio	50-1.500	250	50-200
Potasio	200-1.000	300	50-400
Sodio	200-2.500	500	100-200
Cloro	200-3.000	500	100-400
Sulfatos	50-1.000	300	20-50
Total hierro	50-1.200	60	20-200

Fuente: Tchobanoglous, 1994.

- Excepto el pH, que no tiene unidades
- Rango representativo de valores
- Los valores típicos para vertederos variarán según el estado metabólico del vertedero.

2.6.3. Generación de lixiviados

El lixiviado es el líquido que percola a través de los residuos, formado por el agua proveniente de precipitaciones pluviales o escorrentías. Él puede provenir además de la humedad de los residuos, por reacción o descomposición de los mismos y que arrastra sólidos disueltos o en suspensión y contaminantes que se encuentran en los mismos residuos. (MAE, 2012)

En un resumen general de los componentes que constituyen el balance hidrológico de un vertedero. Los principales factores que rigen la formación de lixiviados son los siguientes:

- Disponibilidad de agua lluvia, las lluvias representan la mayor contribución a la producción de lixiviados, y la cantidad de lixiviados producida por un relleno sanitario está altamente correlacionada con la cantidad de precipitación alrededor del vertedero.
- Los informes de Christensen Cossu, & Stegmann, sobre rellenos sanitarios en Alemania Occidental mostraron que los máximos estacionales de producción de lixiviados se observaron siempre al final de invierno y en primavera, enfatizando indirectamente la importancia de la evapotranspiración para reducir la producción de lixiviados durante los meses de verano.
- Características de la cubierta final de suelo y vegetación, presencia de material de cubierta impermeable, pendientes u otras características topográficas.
- Características de la densidad de residuos, métodos de depósito, contenido de humedad de los residuos cuando se depositan en vertederos.
- Método de impermeabilización del sitio y características del suelo del sitio. (Conto, 2018)

2.6.4. Cantidad de lixiviados

Según Giraldo, la cantidad de los lixiviados en un relleno sanitario también es un punto importante por considerar en el momento de la selección de la tecnología para su tratamiento. La cantidad de los lixiviados es función de tres variables principales. El área rellenada, la cantidad de infiltración que se permita, y el sistema de drenaje, impermeabilización. (Giraldo, 2001)

El área rellena afecta porque es a través de ella que se realiza la entrada y el contacto del agua de infiltración con la basura. Al aumentar el área rellena, aumenta paralelamente la cantidad de lixiviados. Teniendo en cuenta que los rellenos son sistemas que duran lustros y décadas en su funcionamiento, igualmente se espera que la cantidad de lixiviados aumente. Este aumento es un aumento gradual, lento, con los años. (Giraldo, 2001)

2.6.5. La cantidad de infiltración

La cantidad de infiltración que se permita al relleno depende de numerosas variables tales como: la operación que se dé al relleno como por ejemplo la desviación de aguas de escorrentía, la cantidad de precipitación directa que se tenga en la zona, y la presencia de infiltraciones subterráneas. Usualmente las variaciones en la producción de lixiviados asociados a las infiltraciones, son variaciones rápidas, asociadas a la lluvia, por ejemplo, y que hacen oscilar notablemente la cantidad de lixiviados que se debe tratar. (Giraldo, 2001)

2.6.6. Sistema de drenaje e impermeabilización

Los sistemas de drenaje e impermeabilización son importantes porque son los que permiten que los lixiviados no contaminen los suelos y las aguas subterráneas, además, que el lixiviado que se produce en realidad se recoja y se permita su tratamiento. De la misma manera, una vez se hace el cerramiento de las diferentes áreas de los rellenos, los caudales de infiltración disminuyen notablemente, generando una caída abrupta en la cantidad de lixiviado a tratar, una lenta que afecta el caudal medio y una rápida que afecta los caudales diarios. (Giraldo, 2001)

2.7. Caudal Teórico

Para determinar el caudal teórico se utiliza los siguientes procedimientos: el método del balance hídrico y el método suizo, presentados a continuación.

2.7.1. Método Suizo.

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función a la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo. También las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados

o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno. (Jaramillo, 2002)

Para el cálculo el método suizo establece la ecuación número 1. Que permite determinar de manera rápida y sencilla el caudal generado por los lixiviados.

$$Q_m = \frac{(R * A * K)}{t} \quad (1)$$

Dónde:

Q_m = Caudal promedio (l/s) de lixiviado producido en el tiempo t

R = Lluvia total del período t , expresada en mm.

A = Área del vertedero (m^2)

K = factor empírico adimensional

Para rellenos fuertemente compactados con peso específico $>0,7 \text{ t/m}^3$, se estima una generación de lixiviados entre 15 y 25% ($k=0,15$ a $0,25$) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno, mientras que para rellenos débilmente compactados se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% de precipitación media anual correspondiente al área del relleno ($k=0,25$ a $0,50$). (OPS-CEPIS, 2005)

2.7.2. Método del Balance Hídrico

El potencial de formación de lixiviado puede valorarse mediante la preparación de un balance hidrológico del vertedero. Implica la suma de todas las cantidades de agua que entran en el vertedero y la sustracción de las cantidades de agua consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale en forma de vapor de agua. La cantidad potencial del lixiviado es la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención de humedad del material en el vertedero. (Tchobanaglou, 1994)

Los componentes que conforman el balance de aguas para una celda de vertedero principalmente, estos incluyen: el agua que entra en la celda desde arriba, la humedad de los residuos sólidos, la humedad del material de cubrición y la humedad de los fangos si se permite la evacuación de fangos. Las principales salidas son: el agua que abandona el

vertedero formando parte del gas del vertedero (es decir el agua utilizada para la formación del gas), el vapor del agua saturado en el gas de vertedero y el lixiviado. (Tchobanoglous, 1994)

En la ecuación 2 se establece los principales componentes del balance hídrico y su relación con la producción de lixiviado.

$$\Delta SRS = WRS + WMC + WA(U) - WGV - WVA - WF(L) \quad (2)$$

Donde:

ΔSRS = Variación de la cantidad de agua almacenada en los residuos sólidos en el relleno sanitario (m^3).

WRS = Agua (humedad) de los residuos sólidos entrantes ($m^3/año$).

WMC = Agua (Humedad) en el material de cobertura ($m^3/año$).

$WA(U)$ = Agua filtrada superiormente (para la capa superior del vertedero el agua desde arriba procede de la lluvia) ($m^3/año$).

WGV = Agua perdida en la formación de gas de vertedero ($m^3/año$).

WVA = Agua perdida como vapor de agua ($m^3/año$).

$WF(L)$ = Agua que sale inferiormente (lixiviado evacuado a través de los drenes) ($m^3/año$).
(Tchobanoglous, 1994)

2.7.3. Agua filtrada Superiormente

Con la ecuación 3 es posible estimar el caudal que se infiltra en una celda de disposición final. En la capa superior del vertedero el agua que entra desde arriba procede de la precipitación atmosférica que se ha filtrado a través del material de cobertura. En las capas por debajo de la capa superior, el agua que entra desde arriba procede del agua que se ha filtrado a través de los residuos sólidos situados sobre la capa en cuestión. Uno de los aspectos más críticos en la preparación de un balance hídrico para un vertedero es determinar la cantidad de lluvia que se filtra a través de la cubierta del vertedero. (Tchobanoglous, 1994)

$$WA(U) = \frac{P * A}{1000} \quad (3)$$

Donde:

$W_{A(U)}$ = Agua filtrada superiormente ($m^3/año$).

P = Precipitaciones anuales (mm/m^2)

A = Área útil (m^2)

2.7.4. Agua aportada por los residuos sólidos

El agua que entra al vertedero con los materiales residuales es tanto el agua intrínseca de los residuos como la humedad que se ha absorbido de la atmosfera o de la lluvia (cuando los contenedores de almacenamiento no están correctamente cerrados). En climas secos se puede perder algo de humedad intrínseca contenida en los residuos por las condiciones de almacenamiento. El contenido de humedad de los residuos se expresa mediante el método de medición peso – húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo. El método peso-húmedo se usa más frecuentemente en el campo de gestión de residuos sólidos. La forma de ecuación, el contenido de humedad peso-húmedo se expresa de la siguiente forma. El contenido de humedad de los residuos RSU domésticos y comerciales es aproximadamente del 20 por 100. (Tchobanoglous, 1994)

Para estimar el contenido de humedad de los desechos sólidos se utiliza la ecuación número 4.

$$M = \left(W - \frac{d}{w} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

M = Contenido de Humedad, porcentaje.

w = Peso inicial de la muestra según se entrega (kg).

d = Peso de la Muestra después de secarse a $105^{\circ}C$ (kg).

Con la ecuación 5 es posible calcular el agua aportada por los residuos sólidos, queda expresada de la siguiente manera.

$$WRS = wr * CC \quad (5)$$

Donde:

W_{RS} = Agua (humedad) de los residuos sólidos entrantes ($m^3/año$).

w_r = Peso de los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario (kg).

CC = Porcentaje de humedad de los desechos o capacidad de campo

2.7.5. Agua Aportada por el material de cubrimiento.

La cantidad de agua que entra con el material de cubrimiento depende del tipo y del origen de este material y de la estación del año. La cantidad máxima de humedad que el material de cubrimiento puede contener se define como capacidad de campo (CC) del material, o sea, el líquido que queda en el espacio de los poros, sometido a la gravedad. Los valores para suelo varían del 6 al 12 por 100 para arena, y del 23 al 31 por 100 para marga arcillosa. (Tchobanoglous, 1994)

En la siguiente tabla se muestra la capacidad de campo para varios tipos de suelo y el valor recomendable a usar.

Tabla 4: Capacidad de campo para varios tipos de suelo.

Tipos de suelo	Valor en porcentaje	
	Rango	Típico
Arena	6-12	6
Arena fina	8-16	8
Marga Arenosa	10-18	14
Marga Arenosa fina	14-22	18
Marga	18-26	22
Marga lodosa	19-28	24
Marga ligera de arcilla	20-30	26
Marga de arcilla	23-31	27
Arcilla lodosa	27-35	21
Marga pesada de arcilla	26-36	32
Arcilla	31-39	35

Fuente: Tchobanoglous, 1994.

La ecuación 6 se utiliza para calcular el agua aportada por el material de cobertura, se lo realiza con la siguiente ecuación.

$$WMC = wmc * CCMC \quad (6)$$

Donde:

w_{mc} = Peso del material de cobertura ($m^3/año$)

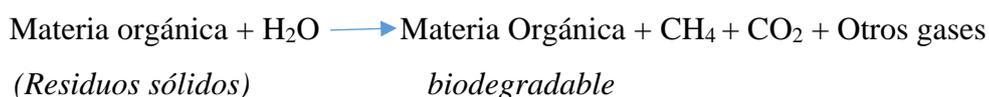
CC_{MC} = Capacidad de campo del material de cobertura.

2.7.6. Lixiviado evacuado por los drenes

Se trata del líquido que es acumulado mediante un sistema de recolección de lixiviado, para cálculo de esta variable nos basaremos en datos obtenidos en campo mediante volumetría, en el ingreso a la planta de tratamiento de lixiviados, este procedimiento se realizó en el mes de agosto.

2.7.7. Agua consumida en la forma del gas de vertedero.

Se consume agua durante la descomposición anaerobia de los contribuyentes orgánicos de los RSU. La cantidad de agua consumida en las reacciones de descomposición se pueden estimar utilizando la siguiente reacción.



Hay que resaltar que la reacción requiere la presencia de agua. Se han encontrado vertederos que carecen de un contenido de humedad suficiente en un estado (momificado) con papel de periódico de hace décadas en condiciones legibles. Entonces, aunque la cantidad total de gas que se produce a partir de los residuos sólidos se derive directamente de una relación estequiométrica, las condiciones hidrológicas locales afectan significativamente a la velocidad y al periodo de tiempo en el que tiene lugar la producción del gas. (Tchobanoglous, 1994)

El agua se consume durante la descomposición anaerobia de los compuestos orgánicos en residuos sólidos municipales. La cantidad de agua consumida por la reacción de descomposición se puede estimar usando la ecuación siete.

$$\text{W}_{\text{GV}} = w_{\text{GV}} * V_{\text{biogas}} \quad (7)$$

Donde:

W_{GV} = Agua consumida en la formación del gas del vertedero ($\text{m}_3/\text{año}$).

w_{GV} = La cantidad de agua consumida ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{m}^3$ de biogás).

V_{biogas} = Volumen del biogas (m^3).

2.7.8. Agua perdida como vapor de agua.

El gas de vertedero normalmente está saturado de vapor de agua. La ecuación 8 se utiliza para calcular la cantidad del vapor de agua que se escapa del vertedero, esta se determina utilizando el método de Thornthwaite, este método se basa en datos de temperatura media mensual expresada en la fórmula:

$$E_p = 1,6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \quad (8)$$

Donde:

E_p = evapotranspiración potencial (mm/mes)

t = temperatura media mensual.

I = índice de calor anual, el cual se calcula a partir de las temperaturas medias de los doce meses.

a = parámetro dependiente de I .

Los valores así calculados corresponden a un mes estándar de 360 horas de luz.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de Estudio

El estudio se realizó en la parroquia Diez de Agosto del cantón y provincia de Pastaza, específicamente en el relleno sanitario ubicado en el kilómetro tres de la vía Puyo Diez de Agosto. El relleno sanitario se encuentra implantado en un área de 44 ha, mientras que el cubeto de disposición final que actualmente está en operación ocupa un área de 6.8800,00 m².

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del cantón se registra una precipitación promedio anual de 3.600 mm. La distribución de esta precipitación es mucho más alta hacia el oeste del cantón donde puede llegar hasta a 4.000 mm. (GADMCP, 2019)

La localización del relleno sanitario con respecto a la ciudad de Puyo se muestra en la Figura 1 y la ubicación de la celda de disposición final, con respecto al relleno sanitario, en la Figura 2.

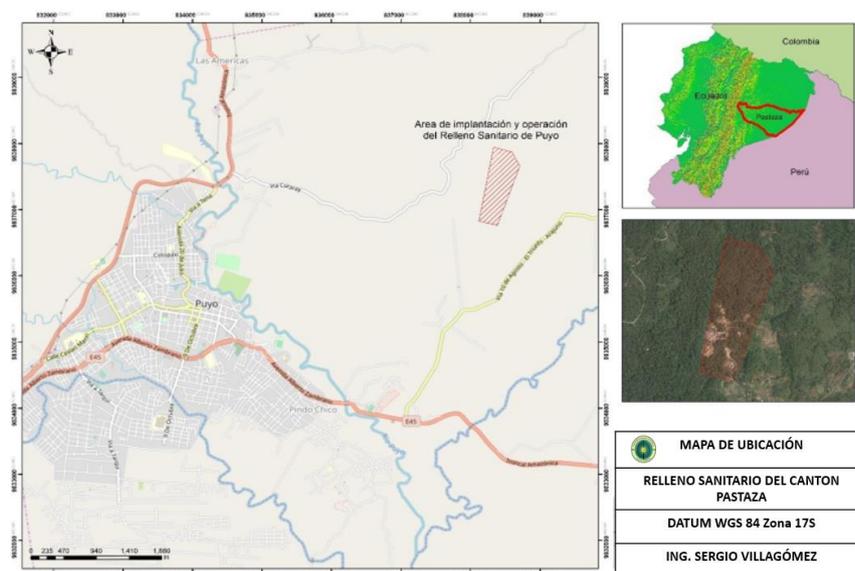


Figura 1: Mapa de localización del relleno sanitario de la ciudad de Puyo.

NOTA. En el gráfico se observa el relleno sanitario con respecto a la ciudad de Puyo. Tomado de (GADMCP, 2019)

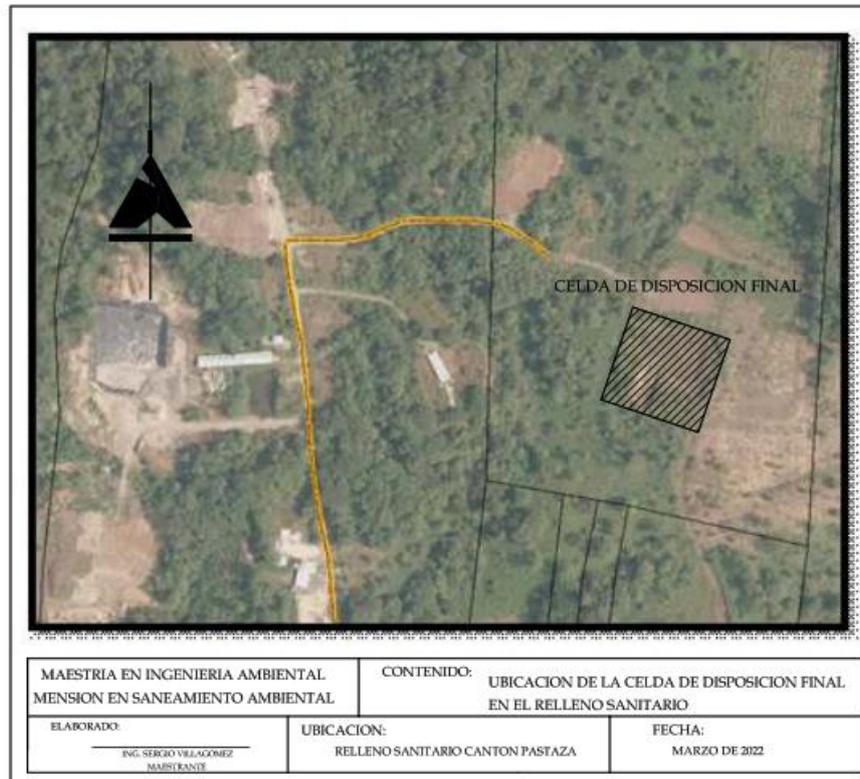


Figura 2: *Ubicación de la celda de disposición final en el relleno sanitario.*

NOTA. Tomado de (GADMCP, 2019)

3.2. Descripción del Área

A continuación, se realiza una descripción de los componentes abióticos y bióticos predominantes en el sitio de estudio, los cuales presentan influencia dentro de los componentes que se analizan para la determinación de la cantidad de lixiviado producido en la celda de disposición final.

3.2.1. Medio Abiótico

a. Clima.

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del cantón la precipitación media anual de Pastaza es de 4.524,7 mm/año (PDyOT, GADM Pastaza, 2015),

Del análisis geomático SIG se puede determinar que el proyecto “Manejo de desechos sólidos de la ciudad de Puyo en el sitio del relleno sanitario ubicado en la provincia de Pastaza” se

encuentra en la Faja Climática Tropical Megatérmico Húmedo un clima que se caracteriza por ser cálido y tener a la vez mucha precipitación, durante todo el año presenta de manera regular temperaturas altas de escasa oscilación térmica. La temperatura media mensual es de 26 °C con una variación anual no superior a 2 °C. Durante las épocas de precipitaciones este clima muestra una estación seca y una estación húmeda.

b. Geomorfología

Mediante el análisis del Mapa de Formaciones Geológicas, se determina que el Relleno Sanitario está ubicado dentro de la formación geológica Mera, el macro relieve corresponde a Amazonía Periandina con piedemontes próximos con cobertura de cenizas volcánicas recientes, presenta arcillas y areniscas tobáceas, con horizontes de conglomerados gruesos con estratificación cruzada y una pendiente suave (> 5 - 12 %).

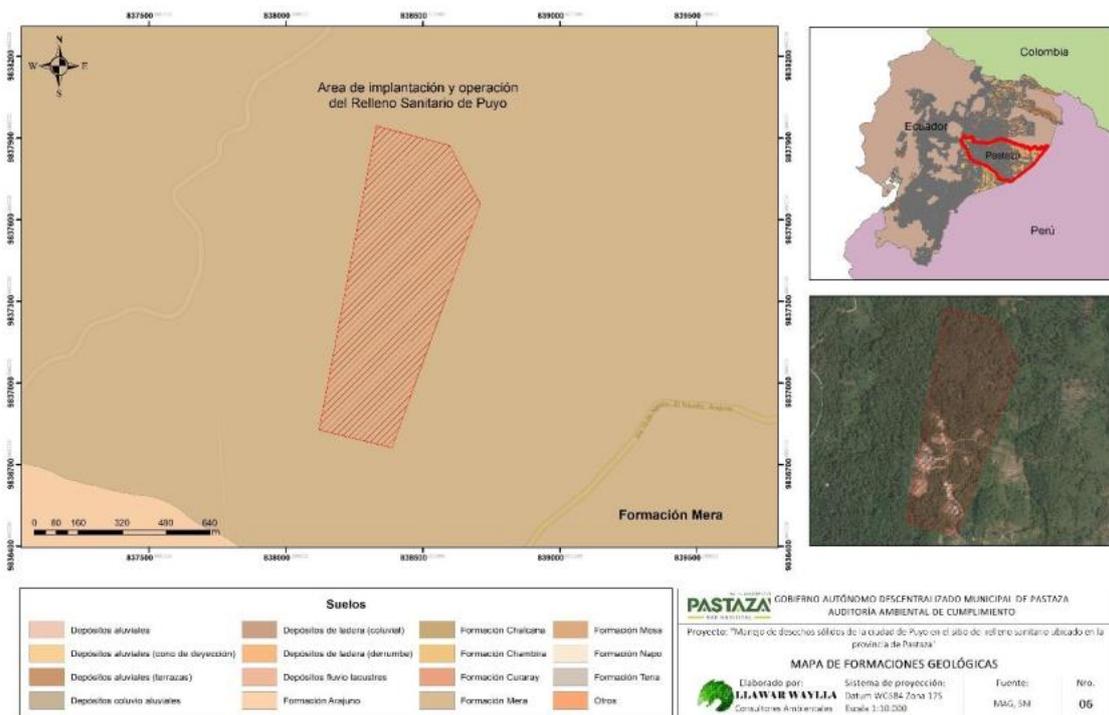


Figura 3: Mapa de Geomorfología del Proyecto

Fuente: Tercera Auditoría Ambiental de cumplimiento.

c. Suelo

Mediante el análisis del Mapa de Suelos, se determina que el suelo sobre el cual se implanta el proyecto para la operación del relleno sanitario pertenece al Orden INCEPTISOL, son suelos que se caracterizan por estar formados por materiales líticos de naturaleza volcánica y sedimentaria. Son superficiales a moderadamente profundos y de topografía plana a quebrada, presenta una textura moderadamente gruesa y una pendiente irregular con una ondulación moderada 12-25%.

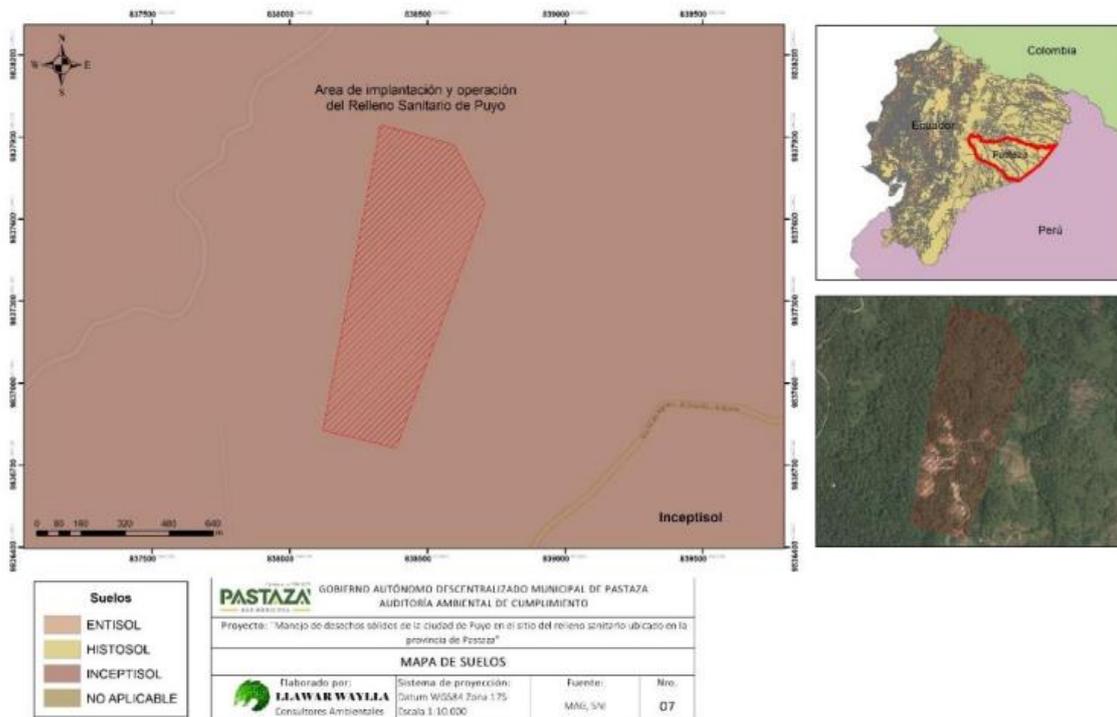


Figura 4: Mapa de suelo predominante en el proyecto

Fuente: Tercera Auditoría Ambiental de cumplimiento.

3.2.2. Medio Social

a. Demografía

De acuerdo con los datos obtenidos en el censo de población y vivienda 2010, el cantón Pastaza tiene una población de 62.016 habitantes, ésta constituye el 0,43 % de la población total del Ecuador 37 % ubicados en la zona rural y en la zona urbana del 63% (INEC 2010). La densidad poblacional del cantón Pastaza es la más baja dentro del país con apenas 2,3

habitantes/km² en el área urbana; y en la zona rural es de 0,4 habitantes/km² (PDyOT, 2019).

3.3. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva realizando el análisis de las características de humedad que poseen todos los componentes que intervienen en la operación de una celda de disposición final, permitiendo cuantificar la cantidad de lixiviados producidos en los diferentes periodos de operación, estos datos se determinarán técnicamente y ninguna de las variables que forman parte de la investigación serán influenciadas o manipuladas.

También es experimental debido a que se realizarán un conjunto de actividades metódicas y técnicas orientadas a recabar la información y datos necesarios sobre el tema de investigación y el problema a resolver.

3.4. Métodos de Investigación

Para realizar el presente proyecto se ha seleccionado el método de Medición, ya que se medirán los parámetros de humedad de todos los componentes que intervienen en la operación de una celda de disposición final de desechos sólidos comunes, determinándose la cantidad de lixiviados generados en un determinado periodo de tiempo.

Se realizará una observación cuantitativa recopilando sistemáticamente los datos que nos permitan utilizar el método analítico, el cual se aplicará una vez se obtengan los resultados de la medición, para observar el aporte de los componentes en la producción de lixiviados.

3.4.1. Selección y estudio de la información

El primer paso en la metodología a aplicarse consistirá en una selección y estudio minucioso de la información disponible sobre el tema en referencia, a través de organismos académicos e instituciones que realizan estudios sobre la gestión de desechos sólidos con énfasis en la cuantificación de lixiviados. Además, se revisarán investigaciones relacionadas con la aplicación de modelos de Balance Hídrico en sitios de disposición final de residuos sólidos.

3.4.2. Identificación de los factores que intervienen en la generación de lixiviados

Como punto de partida de la investigación se identificarán los factores internos y externos que intervienen en el aporte y salida de humedad de la celda, en esta actividad se realiza un análisis de los materiales e insumos utilizados en la operación del confinamiento de los desechos sólidos comunes. Las variables para considerar se detallan a continuación:

- Precipitación
- Humedad de los residuos sólidos
- Humedad del material de cobertura
- Agua consumida en la formación de gas del relleno
- Agua perdida como vapor de agua
- Evapotranspiración

3.4.3. Definición de los valores para el cálculo del aporte o pérdida de humedad

Es necesario determinar todas las variables que intervendrán en el proceso de cálculo para establecer el contenido de humedad con que aportan los materiales e insumos que ingresan a la celda, la precipitación y el agua de escorrentía, así como, la humedad que sale del sistema por factores como la evaporación y el agua presente en los gases formados por la descomposición de la materia orgánica.

En el presente trabajo de investigación es necesario determinar todas las variables que nos permitan establecer de forma técnica la cantidad de lixiviado que se genera en la celda de disposición final, para esto se aplicarán las siguientes metodologías:

- a. Humedad de los residuos sólidos.

El contenido de humedad de los residuos sólidos domésticos y comerciales depende principalmente del clima de la región. El método para determinar la cantidad de agua presente en la muestra se basa en la pérdida de peso de la muestra por calentamiento en una estufa, refiriendo su peso al peso total de la muestra y expresada como porcentaje, esta determinación se la realizará en laboratorio y se la conoce como gravimetría.

El análisis gravimétrico se basa en la determinación del contenido de la especie química objeto del análisis, en una muestra, mediante operaciones de pesada.

Para este estudio el laboratorio utiliza el método de volatilización: El analito o algún producto del analito se separan en forma gaseosa. El gas se recoge y pesa, o se determina el peso del producto gaseoso a partir de la pérdida de peso de la muestra. Las aplicaciones más importantes son la determinación de agua en muestras sólidas y la de carbono en compuestos orgánicos por formación de CO₂.

b. Humedad del material de cobertura

La cantidad de agua que entra con el material de cobertura dependerá del tipo y del origen del material, así como, de las condiciones climáticas imperantes. El método para determinar la cantidad de agua presente en la muestra se basa en la pérdida de peso de la muestra por calentamiento en una estufa, refiriendo su peso al peso total de la muestra y expresada como porcentaje, esta determinación se la realizará en laboratorio por gravimetría y utilizando el método de volatilización.

c. Factores de Infiltración

Precipitación: Uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico es la precipitación. Puede calificarse como el factor esencial, pues constituye la materia prima del referido ciclo. Para su determinación se recurrirá a los anuarios de INAMHI generados en la estación meteorológica más cercana.

Por las condiciones climáticas, en especial la precipitación media anual, se considera como el factor principal en la generación de lixiviado a la cantidad de agua que ingresa al sistema debido a la precipitación.

El agua que no se infiltra deberá tener un adecuado sistema de captación y drenaje para que se la pueda sacar del sistema antes de entrar en contacto con los desechos sólidos o con el lixiviado, por lo general este factor no es considerado en el diseño de los rellenos sanitarios, por lo que el agua termina formando parte del lixiviado, llegando hasta las plantas de tratamiento.

Evapotranspiración: Se aplicará la fórmula de Thomthwaite, ecuación 8, este método utiliza como variable primaria para el cálculo de evapotranspiración potencial, la media mensual de las temperaturas medias diarias del aire.

d. Identificación de un método confiable de determinación de caudales

Como parte de la investigación será necesario confirmar la confiabilidad y eficiencia del Método del Balance Hídrico establecido en la ecuación 2, para esto se lo comparará con resultados obtenidos al aplicar el Método Suizo, así como, con los caudales determinados, en la descarga de lixiviados en operación, mediante volumetría.

Se preparará el balance hidrológico del relleno añadiendo la masa de agua entrante por unidad de área de una capa concreta del relleno, para un incremento de tiempo dado, al contenido de humedad de esa capa final del incremento del tiempo anterior y sustrayendo la masa perdida de agua de la capa durante el periodo de tiempo actual o requerido. El resultado se reconoce como agua disponible, en el tiempo actual, para una capa particular del relleno.

Además, se realizará una determinación utilizando el Método Suizo, ecuación 1. En este método la infiltración es igual a la precipitación, asumiendo que no hay aguas subterráneas y que la autoproducción de agua de los residuos es prácticamente nula. Entonces la precipitación media anual será la infiltración que se convierte en lixiviado.

e. Proponer acciones operativas para disminuir la generación de lixiviados

En el presente trabajo de investigación se analizarán los resultados obtenidos en cuanto a la cantidad de humedad que aporta a la generación de lixiviados cada componente que ingresa a la celda de disposición final, identificando los mayores contribuyentes con el fin de plantear acciones operativas para conseguir que el agua, que no ha entrado en contacto con los desechos sólidos o con el lixiviado, pueda ser evacuada de la celda sin que tenga que pasar por las tuberías de conducción y la planta de tratamiento de lixiviados.

Con este propósito deberá realizarse un análisis de las instalaciones de la celda de disposición final y la metodología que se utiliza para el confinamiento de los desechos, y de esa manera,

recomendar mejoras o cambios tanto en los componentes de la celda como en las actividades de operación.

3.5. Tratamiento de Datos

Con el propósito de contextualizar los pormenores más importantes del proceso de estudio, es necesario realizar una descripción de las instalaciones y los resultados obtenidos durante la operación del relleno sanitario.

3.5.1. Descripción de las instalaciones y operaciones del relleno sanitario.

Una vez que los residuos sólidos son recolectados en las diferentes rutas del cantón Pastaza, estos son llevados al relleno sanitario para ser pesados en una báscula camionera como se aprecia en las Figuras 5 y 6, los residuos orgánicos que son recolectados en diversos mercados y abarroterías de la ciudad mediante una metodología diferenciada, luego de su pesaje son llevados hacia diferentes cobertizos para su transformación en compost. Mientras que los residuos recolectados sin un sistema de separación en la fuente ingresan al relleno sanitario donde se recupera un promedio de 0,55 toneladas al día.



Figura 5: *Ingreso al relleno Sanitario*



Figura 6: *Báscula eléctrica para el pesado y registro de desechos gestionados.*

Los residuos recolectados sin un sistema de separación en la fuente ingresan al relleno sanitario donde se recupera un promedio de 0,55 toneladas al día, esta recuperación la realizan personas que integran la Asociación de Recicladores de Base “El Sol Sale Para Todos”, en la Figura 7 se puede observar el material que ya ha sido recuperado.



Figura 7: *Área destinada al acopio de material recuperado para reciclaje*

El material o desechos sobrante es confinado en el relleno sanitario, en el año 2021 se depositaron en celda un promedio diario de 39,9 toneladas. Si comparamos con la cantidad de desechos depositados en el 2020 que fueron 42,11 toneladas diarias, nos damos cuenta que, debido a la implementación de proyectos de separación en la fuente, se está reduciendo la cantidad de desechos con disposición final en la celda de disposición final.

La celda de disposición final inició sus operaciones en enero del 2019, esta celda fue diseñada y construida con unas dimensiones de 80 m de ancho por 86 m de largo, dándonos un área de 6.880 m² debido para mantener estabilidad se conformaron taludes con una inclinación del 45%, tiene una profundidad de 7 metros formando un tronco piramidal que proporciona una capacidad de 40.482,9 m³ por el método de trinchera y otro cuerpo piramidal de 9 metros de alto por el método de área, dándonos una capacidad total de 80.965,9 m³.

Los resultados obtenidos en el periodo enero a diciembre de 2021 se exponen a continuación:

Tabla 5: Resultados de Gestión.

DATOS GESTIÓN DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS EN EL 2021	
Gestión diaria desechos no peligrosos	42,39 Toneladas
Población atendida	66.830
Generación per cápita diaria	0,63 Kg/día/persona
desechos orgánicos recuperados	1,9 Ton/día
desechos inorgánicos recuperados (reciclaje)	0,52 Ton/día
distancia de vías con barrido diario	97,88 Km.
desechos depositados en la celda de disposición final	39,9 Ton/día

Fuente: Dirección de Servicios Municipales y Sociales GADMCP

La población del año 2021 está calculada por el método aritmético, a partir de la población atendida en el año 2020, en base a una tasa de crecimiento poblacional de 3,7%, se considera la población atendida en los sectores urbano y rural del cantón. El servicio se brinda los 365 días del año, los desechos que no son recuperados se los confina en la celda de disposición final, en la Figura 8 se puede observar el estado actual de la celda.



Figura 8: *Vista panorámica de la celda de disposición final en operación.*

Como se evidencia en la Figura 9 la celda cumple con todas las especificaciones técnicas establecidas en el Anexo VI del Libro VI del Texto Unificado de legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, esto es; cuenta con impermeabilización mediante la instalación de geomembrana que impide el paso de los lixiviados hacia el subsuelo, cuenta con una canalización para la captación y transporte de los lixiviados hacia la planta de tratamiento, también se instalaron chimeneas para la captación y quema del biogás producido, los desechos depositados son diariamente compactados y recubiertos con material arenoso.



Figura 9: *Componentes de la celda de disposición final.*

Con base en la bibliografía existente y a la operación realizada se establece que los desechos ya depositados y compactados en celda alcanzan una densidad de 600 kg/m^3 . Esto quiere decir que las 39,9 toneladas alcanzan un volumen de $66,5 \text{ m}^3$ de la celda.

De acuerdo con la normativa técnica para rellenos sanitarios se establece que las capas de desechos sólidos deben ser de 80 cm y la capa de cubrimiento de 20 cm, esto quiere decir que el volumen de recubrimiento es del 20% del volumen de desechos dispuesto. Por lo que se estima que $13,3 \text{ m}^3$ de kilo diarios son necesarios para el recubrimiento de los desechos depositados. Es importante mencionar que dentro de la celda se deben establecer vías de ingreso hacia los frentes diarios, debido a que la resistencia de la basura y el material de recubrimiento no es suficiente para el tránsito de los recolectores es necesario mejorar el suelo con una capa mayor de material de recubrimiento por lo que la utilización de material de recubrimiento se estima en 14 m^3 diarios, que representan 5.110 m^3 al año, el material se almacena cerca del frente de trabajo como se observa en las figuras 15 y 16.



Figura 10: *Sitio de Acopio de material para cobertura o recubrimiento diario.*

3.5.2. Población Generadora de Desechos Sólidos

Para establecer el número de usuarios del sistema de gestión integral de residuos sólidos se analizó la información demográfica de las diez parroquias a las cuales se dota con el servicio, estas son: Puyo, Tarqui, Fátima, Teniente Hugo Ortiz, 10 de Agosto, El Triunfo, Veracruz, Simón Bolívar, Canelos y Pomona, es importante establecer que las parroquias restantes no cuentan con acceso carrozable. Mediante un diagnóstico de campo y registro históricos de datos sobre el manejo de residuos sólidos se levantó la línea base que

dimensiona los problemas encontrados y permite priorizar las intervenciones a fin de cumplir con el objetivo de fortalecer la gestión integral de residuos sólidos en el cantón Pastaza.

Para establecer la cobertura actual del servicio de recolección, se analizaron los registros de avalúos y catastros conjuntamente con mapas catastrales, comparadas con las rutas de recolección y su área de influencia, para en base a un conteo manual identificar las zonas y viviendas cubiertas y no cubiertas con el servicio. Esta estimación se la realizó conjuntamente con los responsables de las fases de recolección y transporte, así como, de disposición final.

Tabla 6: *Población con servicio de recolección de residuos sólidos en el año 2021.*

Parroquias	Población 2020	% Servicio	# Personas con Servicio	Hogares Atendidos
Canelos	2.957	65	1.803,77	400,8
10 de Agosto	1.556	86	1.338,16	297,4
El Triunfo	1.803	67	1.208,01	268,4
Fátima	1.174	80	939,2	208,7
Montalvo	5.237	0	0	0,0
Pomona	322	91	293,02	65,1
Puyo	49.877	97,3	48.530,321	10.784,5
Río Corrientes	320	0	0	0,0
Río Tigre	893	0	0	0,0
Sarayacu	3.478	0	0	0,0
Simón Bolívar	7.731	50	3.865,5	859,0
Tarqui	5.212	70	3.648,4	810,8
Teniente H. O.	1.426	85	1.212,1	269,4
Veracruz	2.392	75	1.794	398,7
TOTAL	84.377	76,59	64.632,48	14.362,8

Fuente: Dirección de Servicios Municipales y Sociales GADMCP

3.5.3. Cantidad de residuos y desechos Gestionados

Para establecer la cantidad de residuos y desechos sólidos comunes gestionados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pastaza se ha realizado un análisis de los años 2019, 2020 y 2021.

Los datos han sido generados en el relleno sanitario del cantón hacia donde se llevan todos los desechos que han sido recolectados, en este lugar se los pesa en una báscula y se reporta de acuerdo con la ruta y día. Teniendo la siguiente información:

Tabla 7: *Gestión de residuos y desechos sólidos.*

Mes	Año 2019		Año 2020		Año 2021	
	Residuos recolectados	Residuos recolectados	Desechos en celda	Residuos recolectados	Desechos en celda	
Enero	1.435.483	1.179.991	1.179.991	1.225.913	1.222.265	
Febrero	1.099.723			1.154.835	1.111.288	
Marzo	1.201.217			1.434.845	1.267.661	
Abril	1.246.272			1.272.292	1.190.977	
Mayo	1.269.762			1.353.388	1.274.630	
Junio	1.157.411			1.294.378	1.147.999	
Julio	1.188.208			1.265.190	1.192.697	
Agosto	1.146.958	1.439.098	1.439.098	1.340.906	1.271.238	
Septiembre	1.156.394	1.375.486	1.375.486	1.03.8695	976.212	
Octubre	1.139.264	1.071.114	1.071.114	1.280.401	1.209.222	
Noviembre	1.197.236	1.451.702	1.451.702	1.431.082	1.367.539	
Diciembre	1.199.671	1.232.390	1.232.390	1.354.565	1.285.798	
Total Kg	14.437.599	7.749.781	7.749.781	15.446.490	14.517.526	
Promedio Diario Ton	39,55506	42,11837	42,11837	42,31915	39,77404	

Fuente: Dirección de Servicios Municipales y Sociales GADMCP

En el año 2020 durante los meses de febrero a julio no se generaron registros de los pesos manejados debido al estado de emergencia por el virus SARSCOV-2, ya que durante este periodo no se contó con personal para esta actividad, por lo que en la determinación de los promedios se la realizó solamente con los valores existentes en los tiempos generados.

En el presente documento se utiliza los registros de cantidades de desechos sólidos depositados en celda durante el año 2021, debido a que se encuentran completos, además, de ser los más actuales. Para la determinación de la cantidad de humedad que se transforma en gas de vertedero o biogás es necesario conocer la fracción orgánica en peso que se confina diariamente en la celda de disposición final, para establecer los porcentajes de contenido orgánico se ha tomado como referencia el estudio denominado Innovación en el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos domésticos, dirigida a la producción agroecológica en el Cantón Pastaza, realizado por la fundación Alianza por la Solidaridad, la Universidad Estatal Amazónica y el Gobierno Descentralizado Municipal del Cantón Pastaza en el año 2018. Con base en esta información y la información generada por el GADMCP se elaboró las siguientes tablas:

Tabla 8: *Desechos orgánicos confinados en celda diaria provenientes del sector rural.*

FRACCIÓN ORGÁNICA PROVENIENTE DEL SECTOR RURAL DEPOSITADA EN CELDA	
Total recolectado en kg.	42.388,142
Confinado en celda en kg.	39.950
Porcentaje Confinado	94,48%
Peso recolectado en kg.	2.679,18
Peso correspondiente al 94,48% confinado	2.525,07
Porcentaje de contenido orgánico	0,57%
Cantidad Orgánico Confinado	1.446,867

Fuente: Dirección de Servicios Municipales y Sociales GADMCP

Tabla 9: *Desechos orgánicos confinados en celda diaria provenientes del sector urbano.*

FRACCIÓN ORGÁNICA DEL SECTOR URBANO DEPOSITADA EN CELDA	
Total recolectado en kg	42.388,142
Cantidad Confinada en celda en kg	39.950
Porcentaje Confinado	94,48%
Peso recolectado en kg	39.708,984
El 94,48% confinado en kg	37.517,048
Porcentaje de contenido orgánico	62,90%
Cantidad Orgánico Confinado del sector urbano en kg	23.598,22
Total desechos orgánicos dispuestos en celda diario en kg.	2.5045,087

Fuente: Dirección de Servicios Municipales y Sociales GADMCP

De lo expuesto se establece que la cantidad de desechos orgánicos depositados diariamente en la celda de disposición final es de 25.045,087 kilogramos.

3.5.4. Material de cobertura utilizado.

De acuerdo con lo señalado en el Anexo VI del Libro Sexto del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del ambiente, la cobertura se la realizará usando un material impermeable que minimicé la infiltración de aguas lluvia, (MAE, 2003). De acuerdo con el Plan de Manejo Ambiental para la operación del Relleno Sanitario del Cantón Pastaza, la capa de cobertura diaria debe ser de 20 cm, por lo que durante el periodo 2019 a 2021, a continuación, se presenta la cantidad de material de cobertura utilizado en el periodo 2019 a 2021.

Tabla 10: *Material de cobertura utilizado en el periodo 2019 a 2021.*

Mes	Año 2019		Año 2020		Año 2021	
	Tipo de material	Cantidad m ³	Tipo de material	Cantidad m ³	Tipo de material	Cantidad m ³
Enero			Fino	462	Kilo	630
Febrero			Kilo	532	Kilo	480
Marzo			Kilo	710	Kilo	430
Abril			Kilo	320	Kilo	290
Mayo			Kilo	380	Kilo	320
Junio			Kilo	360	Kilo	150
Julio	Fino	390	Kilo	280	Kilo	300
Agosto	Fino	140	Kilo	640	Kilo	260
Septiembre	Fino	610	Kilo	810	Kilo	0
Octubre	Fino	340	Kilo	190	Kilo	340
Noviembre	Fino		Kilo	260	Kilo	400
Diciembre	Kilo	660	Kilo	800	Kilo	290
TOTAL		2.140		5.744		3.890
PROMEDIO DIARIO		11,8		15,74		10,66

Fuente: Servicio Municipales y Sociales, GADMCP.

Para el presente estudio se considera que la cantidad optima de material de cubrimiento que es necesario utilizar en la celda de disposición final es de 14 m³ por día.

Con lo expuesto, debido a las características particulares de la población generadora de desechos y los parámetros climáticos que prevalecen en el área del relleno sanitario, con el propósito de alcanzar los objetivos planteados, se ha definido operacionalizar las siguientes variables: Precipitación media anual, humedad presente en residuos sólidos, humedad presente en material de cobertura, agua consumida en la formación de biogas, perdida de humedad como vapor de agua.

Con respecto a la precipitación se decidió calcular una precipitación media anual, para lo cual se utilizó los resultados publicados en los anuarios del INAMHI. (INAMHI, 2020)

Para determinar la humedad en los desechos sólidos y en el material de cobertura las muestras tomadas se remitieron a un laboratorio acreditado ante el SAE para obtener resultados confiables.

También se establece que la verificación del caudal que actualmente está produciendo la celda de disposición final de desechos sólidos es de mucha trascendencia para realizar comparaciones con los caudales obtenidos mediante el método Suizo y el Balance Hídrico.

3.6. Recursos Humanos y Materiales

Los recursos para la consecución de un proyecto son aquellos elementos que están bajo el control de la persona que lo dirige o coordina y pueden contribuir al logro de sus objetivos, para el presente trabajo de investigación se contó con los siguientes recursos.

3.6.1. Recursos humanos

Los recursos humanos son el trabajo y conocimiento que aporta el conjunto de personas de una que intervienen en un proyecto o empresa. Los recursos humanos son un factor clave en todas las organizaciones, el presente trabajo de investigación contó con la colaboración de talento humano profesional, así como, personas cuya actividad se centró en las actividades realizadas para la toma de muestras y aforros de caudales.

Tabla 11: *Recursos humanos utilizados.*

DENOMINACIÓN	NÚMERO	ACTIVIDAD	TIEMPO DE PARTICIPACIÓN
Operador de excavadora	1	Homogenización de todos los desechos ingresados a la celda de disposición final en el lapso de 24 horas. Toma de muestras de un metro cúbico para realizar el cuarteo	5 horas
Obreros	2	Proceso de cuarteo, reducción de dimensiones de los desechos, colaboración en la toma de muestras, participación en aforos de caudales de descarga	11 horas

Fuente: El autor

3.6.2. Materiales

Para la selección de los materiales y equipos a utilizar se consideraron las actividades a realizarse en campo, así como, los riesgos que cada una de estas actividades generan sobre los investigadores y personal de apoyo.

3.6.2.1. Equipo de seguridad

Los trabajos de campo se realizaron en el relleno sanitario del cantón Pastaza, en el cual se ejecutan actividades relacionadas con la operación del relleno, se tiene la presencia constante de residuos contaminadas con sustancias de riesgo corrosivo, tóxico, biológico propios de los residuos sólidos urbanos, los cuales tienen una gran potencialidad de causar afectaciones a la salud, por lo que fue necesario la utilización del siguiente equipo de protección personal.

Tabla 12: *Equipo de seguridad utilizado.*

Equipo	Riesgo	Uso	Imagen
Casco	Caída de elementos contundentes	Se utiliza en el área de operación de maquinaria pesada para protección de la cabeza.	
Gafas protectoras	Afectaciones a los ojos	Se utiliza para evitar que durante las actividades de muestreo y aforamiento el lixiviado pueda entrar en contacto con los ojos	
Mascarilla media cara con filtro biológico	Inhalación de vapores	Con el fin de evitar la inhalación de gases y agentes biológicos que afecten las vías respiratorias	
Overol	Irritación a la piel	Brinda protección sobre agentes tóxicos, biológicos y corrosivos que puedan afectar la piel.	
Guantes industriales de látex	Irritación a la piel de las manos	Brinda protección sobre agentes tóxicos, biológicos y corrosivos que puedan afectar la piel de las manos.	

Botas de seguridad	Caída de objetos, contacto con sustancias	Protección contra caída de objetos sobre los pies.	
Ropa impermeable	Exposición prolongada a la lluvia	Protección durante trabajos en temporal lluvioso	

Fuente: El autor

3.6.2.2. Equipo para muestreo

Dentro de las actividades a realizarse se encuentra el muestreo de desechos sólidos y del material de cobertura, las muestras se las toma con el fin de analizar en laboratorio su contenido de humedad.

Tabla 13: *Equipo utilizado para toma de muestras.*

Material - Equipo	Descripción	Uso	Imagen
Excavadora	Excavadora de orugas	Para homogenización y muestreo de los desechos sólidos	
Geomembrana o material aislante	Geomembrana de 1 mm	Aislante para realizar trabajos de cuarteo y obtención de la muestra de desechos sólidos para determinación de humedad	

Pala	Pala cuadrada	Procedimientos de cuarteo hasta obtener el tamaño deseado de la muestra	
Fundas Ziploc	Fundas plásticas de cierre hermético	Conservación y transporte de la muestra de desechos sólidos para la determinación de humedad	
Cooler	Cooler plástico	Para conservar las muestras a una temperatura de 4 grados centígrados	
Marcador	Marcador permanente	Etiquetar la muestra con los datos requeridos por el laboratorio y el estudio	

Fuente: El autor

Para la determinación del caudal actual de lixiviados que se descargan desde la celda de disposición final hasta la planta de tratamiento, lo cual se realizará por el método de volumetría, se utilizará el siguiente equipo y herramientas.

Tabla 14: *Equipo y herramientas utilizado para determinación de caudal.*

Material - Equipo	Descripción	Uso	Imagen
Balde Graduado	Balde plástico con volumen graduado	Para la medición del volumen de lixiviado que se descarga de la celda de disposición final en un periodo de tiempo determinado	
Cronómetro	Aplicación de celular	Medición del tiempo en que tarda el valde en alcanzar un volumen determinado	
Libreta de campo	Libreta de notas	Se anotará los resultados obtenidos en los diferentes ensayos.	

Fuente: El autor

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Determinación de Precipitación Media Anual

Los datos de la precipitación imperantes en la zona de investigación se tomaron de la estación meteorológica M008 Puyo, ubicada en la parroquia Veracruz, estos valores son publicados por el INAMHI en sus anuarios (INAMHI 2020). Los datos se presentan a continuación:

Tabla 15: Precipitación registrada en la estación M0008 INAMHI desde 2005 al 2013.

MES	PRECIPITACIÓN (mm).								PROMEDIO
	AÑO 2005	AÑO 2006	AÑO 2007	AÑO 2008	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	AÑO 2013	
Enero	395,9	334,3	360,7	255,7	252,7	409,2	433,9	255,8	337,28
Febrero	557,3	463,7	167	381	370	423,3	482,5	374,3	402,39
Marzo	431,2	391,2	453	248,4	384,3	409,2	567,6	524,1	426,13
Abril	552,1	572	555	430,4	461	452,7	383,8	474,6	485,20
Mayo	384,9	268,7	518,3	574,6	625,9	307,5	339,5	404,8	428,03
Junio	595,1	349,1	499,1	432,2	340,8	205	389,5	508,8	414,95
Julio	276,7	221,1	280,5	452,5	358,2	342,9	372,7	498,4	350,38
Agosto	202,2	389,6	436,8	368,4	125,4	148,8	300,5	464,7	304,55
Septiembre	261,5	488,7	182,3	361,1	145	221,2	125,8	366,5	269,01
Octubre	332	478	387,5	346,1	244,4	383,2	406,5	493,7	383,93
Noviembre	635,6	323,8	582,6	362,1	292,8	491	389,1	421,6	437,33
Diciembre	546,8	500,6	458,5	295,1	430,7	364,8	278,9	332,9	401,04
TOTAL									
ANUAL	5.171,3	4.780,8	4.881,3	4.507,6	4.031,2	4.158,8	4.470,3	5.120,2	4.640,19

Fuente: Anuarios INAMHI

No se considera el año 2009 por no estar dentro de los anuarios publicados. Del cálculo realizado se desprende que la precipitación media anual registrada en la estación meteorológica M008 Puyo, ubicada en la parroquia Veracruz la cual es la más cercana al sitio de estudio, es de 4.640,19 mm al año.

En los datos se puede observar que en los años 2005 y 2013 la precipitación sobrepasó los 5.100 mm al año, el periodo analizado tuvo una media de 4.640,19 mm/año y una precipitación mínima de 4.031,4 mm en el año 2010, se considera una precipitación bastante alta si se compara con estudios realizados en otros sectores del país. Sin embargo, se puede evidenciar una tendencia que va disminuyendo ligeramente.

La cantidad de precipitación se convierte en un gran problema ya que se entiende que en promedio en el relleno sanitario del cantón Pastaza en un año caen 4.640,19 litros por cada metro cuadrado, en los 6.880 m² que tiene la celda en estudio en un año promedio se recibiría 31.924.507,2 litros equivalentes a 31.924,50 m³.

4.2. Contenido de humedad en desechos sólidos.

El proceso para determinar la cantidad de humedad presente en los desechos sólidos depositados en el relleno sanitario del cantón Pastaza se inició por la toma de muestras siguiendo el siguiente procedimiento:

1.- Se localizó una superficie plana dentro del relleno sanitario a la cual se la aisló mediante la colocación de un plástico de aproximadamente 6 m² como se observa en la Figuras 11, esto se realiza para que los desechos a ser muestreados no se contaminen con humedad del suelo o material de cobertura. Bayas 2021 en su tesis para cuantificación, clasificación y caracterización de los residuos sólidos de restaurantes: caso de estudio en la ciudad de Guayaquil/Ecuador recomienda la utilización de una lona para aislar los desechos a muestrear.



Figura 11: *Aislamiento para evitar contaminación de los desechos durante el cuarteo.*

2.-En las Figuras 12 y 13 se observa como con la ayuda de la excavadora se procede a homogenizar todos los desechos depositados en un día, para luego tomar una muestra de aproximadamente 1 m³ y depositarlo en el área anteriormente aislada para proceder con el cuarteo.



Figura 12: *Homogenización de los desechos ingresados previos a toma de muestras.*



Figura 13: *Obtención de desechos sólidos a muestrear.*

3.-Para asegurar que la muestra sea representativa, se procede a realizar un cuarteo consecutivo hasta obtener una muestra de aproximadamente un kilogramo como se presenta en la Figura 14, con la ayuda de un machete se reduce el volumen de los desechos más voluminosos para asegurar una muestra homogénea.



Figura 14: *Cuarteos sucesivos para obtener las muestras.*

4.-Esta muestra fue colocada en fundas ziploc, etiquetada y trasladada inmediatamente al laboratorio.

5.-El proceso de toma de muestras se realizaron durante 2 días, cada día se realizó la obtención de 3 muestras de desechos sólidos que fueron entregados en el laboratorio luego de 3 horas del muestreo, evitando de esta forma que la muestra pierda sus propiedades iniciales.

Contenido de humedad en el material de cobertura.

Para determinar el contenido de humedad en el material de cobertura, se procedió a la toma de muestras con el siguiente procedimiento:

1.-Se identifico el lugar de acopio del material previo al ingreso al relleno sanitario, con la ayuda de una espátula se procedió a homogenizar el material, del cual se obtuvo una masa aproximada de 1 kilogramo, se lo colocó en una funda ziploc como se observa en la imagen 15, para luego ser etiquetada y transportada al laboratorio.



Figura 15: *Muestras de suelo en fundas ziploc para ser trasladadas al laboratorio.*

4.3. Resultados de los análisis de contenido de humedad.

Los análisis se realizaron en el laboratorio LABCESTTA mediante gravimetría, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 16: *Contenido de humedad en desechos y material de cobertura.*

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)							
MUESTRAS	ANALISIS 1	ANALISIS 2	ANALISIS 3	ANALISIS 4	ANALISIS 5	ANALISIS 6	PROMEDIO
Suelo para cobertura	10,17	9,27					9,72
Desechos	51,13	51,41	52,7	49,17	51,89	53,72	51,67

Fuente: El autor

4.4. Determinación de descarga actual de lixiviados.

Como un parámetro de comparación entre los resultados obtenidos mediante la aplicación del Balance Hídrico y el Método Suizo para la determinación de la cantidad de lixiviados generados en la celda de disposición final de desechos sólidos del cantón Pastaza y la producción efectiva de la celda, se procedió a realizar aforos del caudal descargado hacia la planta de tratamiento.

Las mediciones se las realizaron los días 17, 18 y 24 de agosto del 2022, para ello se utilizó el método volumétrico, el mismo que es recomendado para medir caudales muy pequeños como el que se tuvo en el relleno sanitario, Este método se basa en medir el tiempo que demora en llenarse un balde de un volumen conocido. Al dividir la capacidad del balde (litros) por el tiempo empleado (segundos) se obtiene el caudal en l/s. Para este aforo se adquirió un valde graduado en litros. Es importante mencionar que los días en los que se realizó las mediciones corresponden a una época de sequedad, por lo que se presentaron varios días sin recibir ninguna precipitación en el sector.

En la figura 16 se observa el proceso de medición del caudal descargado en la planta de tratamiento de lixiviados por el método volumétrico.



Figura 16: Aforos para medición de caudales por el método volumétrico.

Para determinar el tiempo de llenado del recipiente se debe considerar como mínimo 3 mediciones a fin de determinar un tiempo promedio, para el caso en estudio, debido a que se tiene un caudal regular se realizaron 3 medianas.

La descarga de lixiviados producidos en la celda de disposición final se la realiza a un tanque séptico, por diseño de los sistemas de captación y conducción instalados se cuenta con 2 descargas al mencionado tanque.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 17: *Determinación de caudal en descarga 1.*

FECHA DE AFORAMIENTO	MEDICIÓN	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (l/s)
		(l)	(s)	
17/08/2022	1	1,2	76,31	0,0157
	2	2,5	132,03	0,0189
	3	2,1	119,69	0,017
	PROMEDIO			0,0174
18/08/2022	1	1,08	62,63	0,0172
	2	0,95	51,15	0,0185
	3	1,2	70,81	0,0169
	PROMEDIO			0,0175
24/08/2022	1	0,9	54,04	0,0166
	2	1,2	60,19	0,0199
	3	1	56,78	0,0176
	PROMEDIO			0,0180
CAUDAL CALCULADO EN DESCARGA 1				0,0176

Fuente: El autor**Tabla 18:** *Determinación de caudal en descarga 2.*

FECHA DE AFORAMIENTO	MEDICIÓN	VOLUMEN	TIEMPO	CAUDAL (l/s)
		(l)	(s)	
17/08/2022	1	3,7	31,7	0,116
	2	3,1	27,97	0,110
	3	3,5	31,46	0,111
	PROMEDIO			0,112
18/08/2022	1	1,7	15,45	0,110
	2	2,7	23,51	0,114
	3	2,8	24,16	0,115
	PROMEDIO			0,113
24/08/2022	1	3,1	26,43	0,117
	2	3,07	26,39	0,116
	3	3,95	33,65	0,117
	PROMEDIO			0,117
CAUDAL CALCULADO EN DESCARGA 2				0,114

Fuente: El autor

Tabla 19: Caudal total descargado.

DESCARGA	CAUDAL
Descarga 1	0,0176
Descarga 2	0,114
Total	0,1316

Fuente: El autor

De acuerdo con los aforos realizados se ha determinado que el caudal de descarga de lixiviados a la planta de tratamiento en tiempo de ausencia de lluvias es de 0,132 (l/s). De acuerdo con lo manifestado por Corena 2008, el volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial, por lo que en países industrializados en los que el porcentaje de humedad es menor al 30% en temporadas secas no existe generación de lixiviado.

4.5. Cálculo de Producción de Lixiviado por Balance Hídrico

El cálculo de la generación de lixiviados producidos en la celda de disposición final del relleno sanitario de Pastaza se lo realiza utilizando la ecuación 2, para su aplicación es necesario obtener el aporte o disminución de humedad de todos los componentes del ciclo hidrológico que intervienen en la celda de disposición final.

4.6.1. Humedad o agua filtrada superiormente ($W_{A(U)}$)

Este cálculo se realizó mediante la utilización de la ecuación número 3 y la tabla número 15, el resultado de la aplicación de la ecuación nos proporciona que la humedad o agua filtrada proveniente de la precipitación es de 1,01 l/s.

$$W_{A(U)} = (4640,19 \text{ mm/año } m^2 * 6880 \text{ m}^2) / 1000$$

$$W_{A(U)} = 31.924,50 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$W_{A(U)} = 1,01 \text{ l/s.}$$

4.6.2. Humedad aportada por los desechos sólidos (W_{RS})

El siguiente cálculo se lo realiza utilizando la ecuación número 5 y las tablas número 9 y 16.

$$w_r = 39.900 \text{ kg} * 365 \text{ días}$$

$$w_r = 14.563.500 \text{ kg/año}$$

$$W_{RS} = 14.563.500 * 0,51$$

$$W_{RS} = 7.427.385 \text{ kg/año}$$

Utilizando la fórmula de la densidad, ecuación 9, podemos determinar el volumen de humedad aportado por los desechos sólidos en el año.

$$\delta_{H_2O} = M/V \quad (9)$$

$$\delta_{H_2O} = M/V$$

$$V = M / \delta_{H_2O}$$

$$V = 7.427.385 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 7.427,38 \text{ m}^3/\text{año}$$

Transformando a un caudal de litros por segundo tenemos

$$W_{RS} = 0,23 \text{ l/s}$$

La capacidad de campo de los desechos sólidos es de 30% por lo que el 70% de la humedad es la que se desprende del sistema, teniéndose lo siguiente:

$$W_{RS} = 0,164 \text{ l/s}$$

4.6.3. Humedad aportada por el material de cobertura (W_{MC})

La humedad que aporta el material de cobertura a la generación de lixiviados se la puede calcular aplicando la ecuación número 6 y la tabla número 16, según los cálculos realizados se determinó que diariamente es necesario la utilización de 14 m^3 de este material.

$$W_{MC} = 5.110 \text{ m}^3/\text{año} * 0,0972$$

$$W_{MC} = 496,69 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$W_{MC} = 0,015 \text{ l/s}$$

De acuerdo a la tabla 4, se considera que la capacidad de campo para arenas es de 12% por lo que el 88% de la humedad es la que se desprende del sistema, teniéndose lo siguiente:

$$W_{MC} = 0,013 \text{ l/s}$$

4.6.4. Humedad consumida en la formación de biogás (W_{GV})

Este factor se lo calcula mediante la aplicación de la ecuación que se muestra a continuación, se considera la masa de agua absorbida por kilogramo de desecho orgánico seco consumido, esta reacción se puede expresar de la siguiente forma:



Calculamos la masa de agua consumida por kilogramo de materia orgánica destruida.

$$\text{Humedad consumida} = 288 \text{ kg H}_2\text{O} / 1.741 \text{ kg destruidos}$$

$$\text{Humedad consumida} = 0,165 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg de materia orgánica destruida}$$

Con esta información utilizando la ecuación número 7 determinamos la cantidad de agua necesaria para destruir o descomponer 9.141.456,76 de desechos orgánicos que se confinan al año en la celda.

$$W_{GV} = 1.508.340,365 \text{ kg H}_2\text{O /año}$$

Utilizando la fórmula de la densidad, ecuación 9, podemos determinar el volumen de humedad perdido en la formación de biogás.

$$V = M / \delta \text{ H}_2\text{O}$$

$$V = 1.508.340,365 \text{ kg H}_2\text{O /año} / 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{GV} = 1.508,34 \text{ m}^3/\text{año}$$

Lo que es igual a

$$W_{GV} = 0,048 \text{ l/s}$$

4.6.5. Humedad perdida como Vapor de Agua.

Para el cálculo de este factor se utilizará el método de Thornthwaite, con la ecuación número 8:

$$E_p = 1,6 (10t/I)^a$$

Donde:

E_p = evapotranspiración potencial (mm/mes)

t = temperatura media mensual. 20,1

I = índice de calor anual, el cual se calcula a partir de las temperaturas medias de los doce meses.

a = parámetro dependiente de I .

$$I = (t/5)^{1,5}$$

$$I = (20,1/5)^{1,5}$$

$$I = (4,02)^{1,5}$$

$$I = 8,06$$

$$a = 0,492 + 0,0179I - 0,0000771I^2 + 0,000000675I^3$$

$$a = 0,6313$$

$$E_p = 1,6 (10t/I)^a$$

$$E_p = 1,6 ((10 \cdot 20,1)/(8,06))^{0,6313}$$

$$E_p = 1,6 (201/8,06)^{0,6313}$$

$$E_p = 12,19 \text{ mm/mes}$$

$$E_p = 146,19 \text{ mm/año}$$

Considerando que el área de la celda es de 6.880 m²

$$E_p = (146,19 \text{ mm/año} \cdot 6.880 \text{ m}^2)/1.000$$

$$E_p = 1.005,7 \text{ m}^3/\text{año}$$

Transformando a un caudal de litros por segundo se tiene

$$E_p = 0,031 \text{ l/s}$$

Para nuestro estudio consideramos que E_p es la cantidad de humedad que se pierde en forma de vapor de agua de la celda de disposición final del relleno sanitario (W_{VA}).

4.6.6. Cálculo de generación de lixiviado por el método de Balance Hídrico.

Con los resultados obtenidos de las diferentes variables que aportan y reducen la humedad del sistema, se procede a calcular la generación de lixiviado, utilizando la ecuación 2:

$$Q_{LL} = 0,164 \text{ l/s} + 0,013 \text{ l/s} + 1,01 \text{ l/s} - 0,048 \text{ l/s} - 0,031 \text{ l/s}$$

$$Q_{LL} = 1,108 \text{ l/s}$$

4.6.7. Cálculo de generación de lixiviado por el método Suizo.

Se realiza el cálculo mediante la utilización de la ecuación número 1.

$$R = 4.640,19$$

$$A = 6.880,00 \text{ m}^2$$

$$K = 0,35 \text{ con una densidad de compactación de } 600 \text{ kg/m}^3$$

$$t = 31.536.000 \text{ s.}$$

$$Q_m = (4.640,19 * 6880 * 35) / 31.536.000$$

$$Q_m = 0,354 \text{ l/s}$$

4.6. Discusión

Como se había expuesto anteriormente las variables que consideran los métodos de estimación de generación de lixiviados analizados en el presente estudio, como son, el balance hídrico y el método Suizo son distintas, por consiguiente los resultados que se obtienen de un mismo proyecto tienden a arrojar resultados diferentes.

En la Figura 17 se presenta una comparación entre los caudales obtenidos mediante el método Suizo 0,354 l/s, Balance Hídrico 1,108 l/s y el aforamiento por el método volumétrico en la descarga actual 0,13 l/s, los resultados fueron completamente diferente. Por lo que es importante analizar las razones para esta variación de resultados.

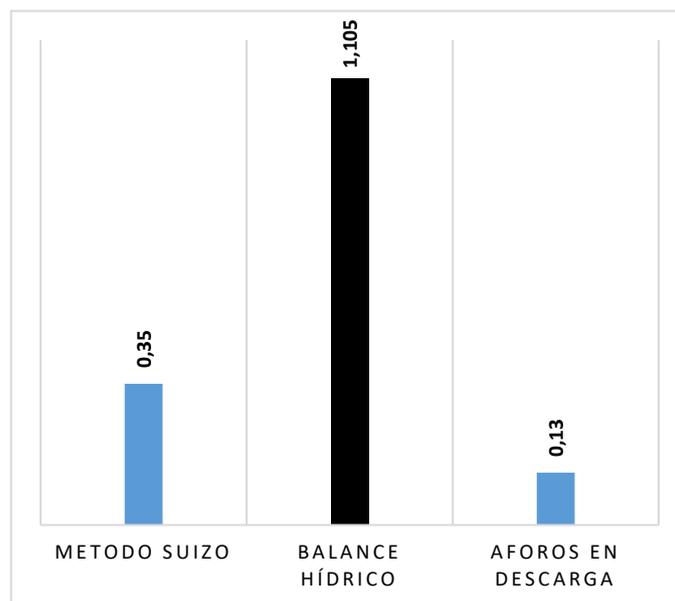


Figura 17: Variación de resultados entre métodos utilizados.

El método Suizo se basa principalmente en el área del relleno, la precipitación media anual y una constante basada en el grado de compactación cuyo rango de aplicación deja un amplio espacio a la subjetividad. Otro de los problemas o limitantes identificados en este método es que no se considera la humedad propia de los desechos sólidos, siendo que estos en los análisis de contenido de humedad realizados en laboratorio alcanzaron un promedio de 51,67 % de contenido de humedad, componente que de acuerdo con lo calculado por sí solo generaría un caudal de 0,164 l/s que corresponde al 14% del caudal total calculado por el método de balance hídrico. Esta realidad demuestra que este método no es eficiente ni confiable para establecer datos necesarios cuando se requiere diseñar un sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados.

En la Figura 18, se analiza la variación en la cantidad de precipitación en los diferentes meses y años de los cuales se tomaron los datos, los años que durante un mes se registró mayor precipitación son el 2005 en el mes de noviembre y el 2010 en el mes de mayo llegando a superar los 600 mm en cada mes, también podemos observar que los años 2005, 2011, 2010 en el mes de agosto tienen su punto más bajo de precipitación entre 100 y 200 mm, mientras que para los años 2012 y 2007 en el mes de septiembre se presentaron las menores precipitaciones las cuales están entre los 100 y 200 mm respectivamente. Lo que nos indica que el comportamiento de la precipitación es muy irregular, existiendo meses que puede en un año llover menos de 200 mm y otros años sobrepasar los 500 mm.

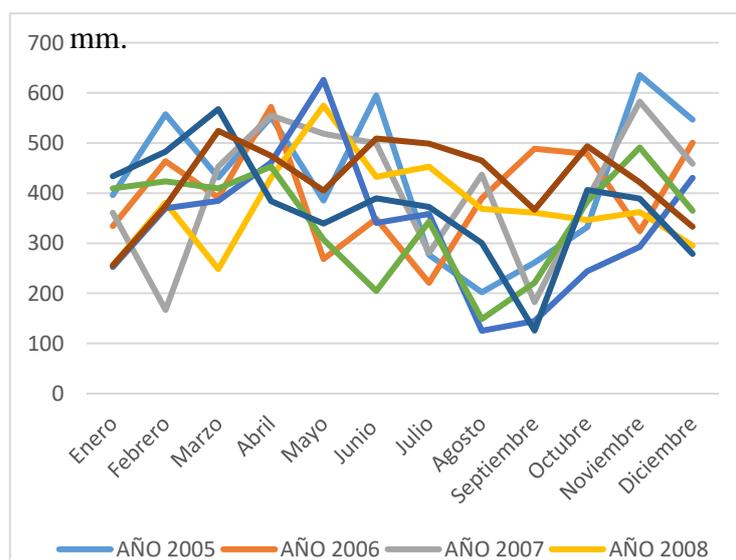


Figura 18: Comportamiento mensual de la precipitación en los diferentes años.

En la figura 19 se observa el comportamiento de la precipitación total anual durante los años de estudio, muestra una fluctuación que va desde valores máximos de 5.171,3 mm en el año 2005, hasta valores de 4.031,2 mm en el año 2010, con una línea de tendencia que va ligeramente descendiendo y una media que se ubica en los 4.640,19 mm.

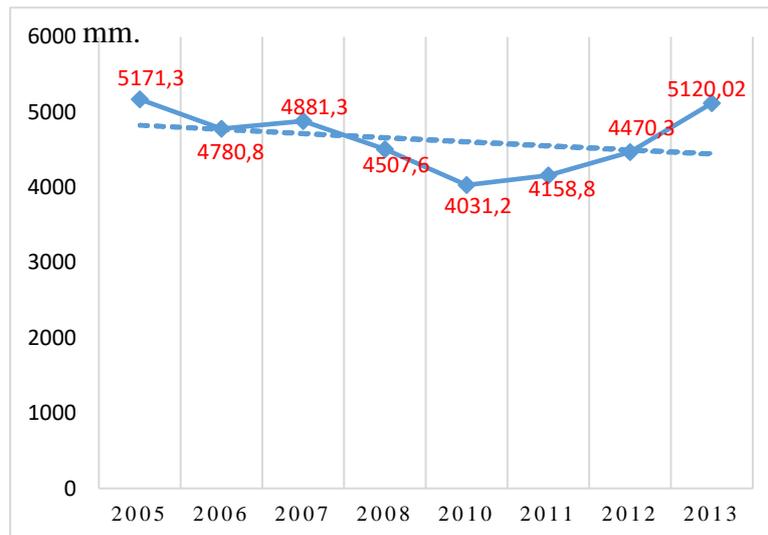


Figura 19: *Comportamiento de la precipitación en el periodo 2005 – 2013.*

En la figura 20, para el caso del relleno sanitario del cantón Pastaza, en el método de balance hídrico se determina que la variable que más influye dentro de la producción de lixiviado es la precipitación media anual con un 80%, es decir produce un caudal medio de 1,01 l/s, al considerarse que el lugar de estudio está situado en un área que presenta una precipitación media anual de 4.640,19 mm/año. A diferencia del estudio realizado por (Conto, 2018) en la que se determina que el aporte de la precipitación es del 62 %, con la diferencia que el estudio fue realizado en una zona con una precipitación media anual de 836,68 mm/año. Esta humedad si no es atrapada antes de infiltrarse y conducida fuera del sistema, su totalidad terminará formando parte de los lixiviados que se tratan en la planta.

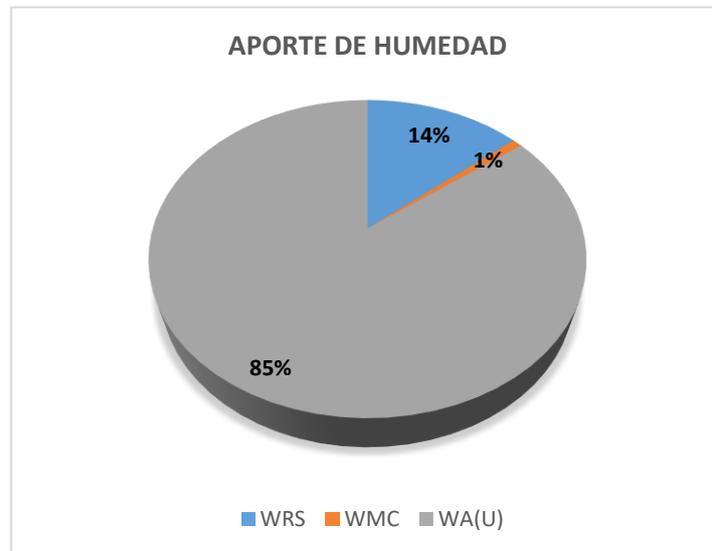


Figura 20: *Porcentajes de aporte de humedad a la celda de disposición final.*

Como punto de comparación para el presente estudio se planteó el aforo de los caudales de lixiviado que actualmente se producen en la celda de disposición final y se descargan en la planta de tratamiento, este aforo se realizó durante temporada de sequedad ya que no se contó con precipitaciones en los cuatro días anteriores al primer aforo. Por lo tanto, se puede considerar que los lixiviados producidos corresponden casi en su totalidad a los generados por la humedad presente en los residuos sólidos y material de cobertura, este caudal estuvo en el rango de 0,13 l/s. Si realizamos un análisis, con los resultados obtenidos en las diferentes variables del método de balance hídrico, exceptuando el aporte por precipitaciones, tenemos que se generaría un caudal de 0,09 l/s bastante cercano a los 0,13 l/s aforados, dándonos una eficiencia del 70%. Se cuenta como referencia con el estudio realizado por (Von Buchwald y Martinez, 2018) en el cual se determinó que con la ausencia de lluvia los lixiviados se producen solo a partir del 43% de Materia Orgánica Putrescible en los desechos, dejando en claro que sin la presencia de lluvia la producción de lixiviado es resultado únicamente del contenido de humedad de los desechos sólidos y del material de cobertura.

Con los resultados obtenidos podemos darnos cuenta que en regiones con una alta precipitación media anual y cuyos desechos tienen la particularidad de tener un alto contenido de humedad 51,67 % con relación al peso, el método suizo no arroja resultados confiables, es decir que la planta del relleno sanitario del cantón Pastaza, diseñada para tratar un caudal de 0,35 l/s (calculado con el método suizo), no va a proporcionar los tiempos de retención

necesarios para eliminar cargas contaminantes presentes en el lixiviado, especialmente en los meses que se caracterizan por tener altas precipitaciones, esto se puede afirmar con base en los resultados obtenidos mediante el balance hídrico que nos arroja un caudal promedio de 1,104 l/s, situación que no solo va causar la ineficiencia en el tratamiento, sino también, que puedan presentarse roturas de tuberías y hasta desbordamiento de lixiviados desde los reactores de tratamiento, con los correspondientes daños a la infraestructura y componentes ambientales. Estos resultados difieren con los presentados por Cárdenas 2020, quien en su publicación para el Diseño de una planta para el tratamiento del lixiviado en Vertedero de Sagua La Grande, manifiesta que una vez calculado el caudal de lixiviado por el método suizo y el método de balance hídrico observamos que los valores obtenidos en ambos métodos son similares. Mientras que en el trabajo realizado por Conto 2018, utilizando el método Suizo se obtuvo una generación de 0,281 l/s y con el método de Balance Hídrico 0,616 l/s, es decir una diferencia de más del doble, similar a los resultados obtenidos en la presente investigación.

Uno de los objetivos del presente estudio es determinar el caudal del lixiviado que se puede generar en la celda de disposición final tipo del relleno sanitario, el cual se utilice como insumo para diseñar la infraestructura necesaria para la captación, conducción y tratamiento de los lixiviados, por lo que no fue necesario calcular el caudal para diferentes meses o años, principalmente porque los componentes de una infraestructura se construyen para toda la vida útil, la misma que si está bien dimensionada no necesitará incrementos o reducciones de capacidad, por este motivo se considera que el resultado obtenido mediante la utilización del balance hídrico nos proporciona la garantía de que la infraestructura construida estará en capacidad de gestionar todo el lixiviado producido incluso en época de altas precipitaciones.

5. CONCLUSIONES

- El trabajo de campo, análisis bibliográfico y el análisis de laboratorio permitió elaborar una base de datos con la suficiente precisión para calcular la generación de lixiviados, disponiendo de insumos aptos para aplicar tanto el método del balance hídrico como el método suizo, determinándose de esta forma el balance de humedad sujeto a las variables que caracterizan al relleno sanitario del cantón Pastaza.
- Los resultados obtenidos con una media de 1,105 l/s de caudal de lixiviados, permiten proyectar la capacidad de procesamiento que requiere el diseño de plantas de tratamiento en el relleno sanitario del cantón Pastaza con el propósito de que satisfagan las necesidades de recepción de caudales en su horizonte de vida útil bajo las normas de diseño ecuatorianas.
- La obtención de un caudal mediante volumetría en época de sequedad, proporcionó información real de la cantidad de lixiviados que se generan en celda solamente con el aporte de la humedad proveniente de los desechos sólidos y del material de recubrimiento. Con este dato se aplicó el método del balance hídrico, despreciando el factor de precipitación, concluyéndose que no existe gran variación entre los resultados obtenidos, por lo que este método demuestra tener una eficiencia del 70%.

6. RECOMENDACIONES

- Utilizar el método del balance hídrico como ecuación que considera variables determinantes en el aporte y pérdida de humedad, identificando caudales confiables para el diseño de los sistemas de captación, conducción y tratamiento de lixiviados generados en las celdas de disposición final del relleno sanitario del cantón Pastaza.
- Otorgar la debida importancia a la construcción de celdas de disposición final con drenajes cuyo diseño contemple los altos niveles de precipitación local, de manera que capten y evacuen el agua antes que se infiltre a las capas internas o que entre en contacto con los desechos sólidos presentes.
- Sectorizar las celdas para que el manejo y confinamiento de los desechos sólidos se realice en áreas menores al 50% de su superficie, el otro 50 % de la celda deberá estar completamente protegido con material de cobertura y con pendientes de entre el 3 al 5 % dirigidas hacia un dren que descargue el agua lluvia fuera del sistema, con este procedimiento se garantiza que un gran porcentaje de humedad no se convierta en lixiviado.
- Compactar y recubrir los desechos sólidos diariamente. Las áreas que ya han sido protegidas con material de cobertura deben tener una pendiente de entre el 3 y 5% hacia drenes que descarguen fuera de la celda de disposición final el agua que no haya entrado en contacto con los desechos sólidos, estas actividades deben estar protocolizadas en el Manual de Operaciones.
- Disminuir el ingreso de humedad al sistema implementado proyectos que disminuyan la materia orgánica putrescible que por su alto porcentaje de humedad generan mayores cantidades de lixiviados.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

Bayas, A. (2021). *Cuantificación, clasificación y caracterización de los residuos sólidos de restaurantes*. Guayaquil/Ecuador.

Cárdenas, T., Santos, R. (2020). *Diseño de una planta para el tratamiento del lixiviado en Vertedero de Sagua La Grande*. Las Villas – Cuba.

Colomer, F. (2007). *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. Valencia.

Conto, O., Tipan, D. (2018). *Evaluación del comportamiento hidráulico de los lixiviados de la fase I norte del relleno sanitario de Cuenca*. Cuenca.

Corena, M. (2008). *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. Sucre- Colombia.

GADMCP. (2019). *Plan de ordenamiento y desarrollo territorial*. Pastaza.

Environment, U. (2018). *Waste Management Outlook for Latin America and the Caribbean*. Panama.

Giraldo, E. (2001). *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios*. Ecuador.
<https://es.weatherspark.com>. [Consultado julio, 2022]

INAMHI. (2020). *Anuarios Meteorológicos*. Ecuador

INEC. (2021). *Boletín Técnico No 04-2020-GAD Municipales Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos Diciembre*.

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Colombia.

Lobo, A. (2003). *Desarrollo de Modelo 2: Herramienta para la evaluación de la*

contaminación producida en vertederos de residuos sólidos urbanos. Cantabria.

MAE. (2019). *Reglamento al código orgánico del ambiente.*

MAE. (2003). *Anexo VI del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Quito.*

MAE. (2012). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Quito.*

Martinez, A. (2014). *Alternativas actuales del manejo de lixiviados. Mérida – Venezuela.*

Ministerio de ambiente y agua. (2010). *Guía para la implementación, operación y cierre de rellenos sanitarios. Bolivia.*

Okonta, N., Ayeleru, O., Ntuli, F.,(2018). *Municipal solid waste generation and characterization in the City of Johannesburg: A pathway for the implementation of zero waste. Sudáfrica.*

Organización Panamericana de Salud (OPS). (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. CEPIS.*

Roben, E. (2002). *Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales Municipalidad de Loja. Loja.*

Tchonanoglous, G. (2002). *Handbook of solid Waste management. Nueva York*

TULSMA. (2003). *Anexo VI del libro VI . Quito: Edición Especial No. 2.*

Von Buchwald de Janon. (2018). *Producción de lixiviados, comparación del método de Tchobanoglous con experimentos en lisímetros. Guayaquil.*

Zapata, A. (2013). *Método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios. Colombia.*

8. ANEXOS

ANEXO 1. Reportes de análisis para determinación de humedad en desechos sólidos y material de cobertura.



INFORME DE RESULTADOS No: S-124-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO	ATENCIÓN A:	Sergio Alejandro Villagómez Reinoso
DIRECCIÓN:	Km 7 1/2 vía Durán- Yaguajay	TELÉFONO:	5961428584
TIPO DE MUESTRA:	Suelo	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Relevo Sanitario del GAD PASTAZA.
CÓDIGO CLIENTE:	Muestra # 4	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	06/09/2022 10:25 Sergio Villagómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Fisico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	06/09/2022 10:30	FECHA DE ANÁLISIS:	06/09/2022 - 16/09/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	16/09/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-S-124-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS		T máx: 25,0 °C. T mín: 15,0 °C	

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Contenido de humedad	%	10,17	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recibida en el laboratorio.
- La columna: Valor límite permisible está fuera del alcance de la acreditación del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:


Ing. Yvettina Bravo
DIRECTORA TÉCNICA


LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD
RUC:0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.

INFORME DE RESULTADOS No: S-125-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO	ATENCIÓN A:	Sergio Alejandro Villagómez Reinoso
DIRECCIÓN:	Km 7 1/2 vía Dardín- Yaguachi	TELÉFONO:	0961428294
TIPO DE MUESTRA:	Suelo	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Refraseo Sanitario del GAD PASTAZA.
CÓDIGO CLIENTE:	Muestra #1	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	07/09/2022 10:50 Sergio Villagómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	07/09/2022 16:00	FECHA DE ANÁLISIS:	06/09/2022 - 19/09/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	19/09/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-S-125-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS		T máx.: 23,0 °C. T mín.: 13,0 °C	

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Contenido de humedad	%	9,27	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra aceptada en el laboratorio.
- La columna: Valor límite permisible está fuera del alcance de la acreditación del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:



Ing. Verónica Bravo
DIRECTORA TÉCNICA



LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD
RUC:0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.

INFORME DE RESULTADOS No: Q-014-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO	ATENCIÓN A:	Sergio Alejandro Villagómez Reinoso
DIRECCIÓN:	Km 7 1/2 vía Durán- Yaguachi	TELÉFONO:	0961428584
TIPO DE MUESTRA:	Químico (Desechos)	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Polígono Sanitario del GAD PASTAZA.
CÓDIGO CLIENTE:	Muestra # 1	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	06/09/2022 10:00 Sergio Villagómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	06/09/2022 16:30	FECHA DE ANÁLISIS:	06/09/2022 - 16/09/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	16/09/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-Q-014-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS T mín.: 25,0 °C. T máx.: 15,0 °C			

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Contenido de humedad	%	51,13	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recibida en el laboratorio.
- La columna: Valor Límite Permisible, está fuera del alcance de resolución del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:



Ing. Valeria Bravo
DIRECTORA TÉCNICA



LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD
RUC: 0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados aquí indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.

INFORME DE RESULTADOS No: Q-015-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO	ATENCIÓN A:	Sergio Alejandro Villagómez Reinoso
DIRECCIÓN:	Km 7 1/2 vía Durán- Yaguachi	TELÉFONO:	0951428534
TIPO DE MUESTRA:	Químico (Desechos)	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Relicto Salarial del GAD PASTAZA.
CÓDIGO CLIENTE:	Muestra # 2	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	06/09/2022 10:10 Sergio Villagómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	06/09/2022 16:30	FECHA DE ANÁLISIS:	06/09/2022 - 16/09/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	16/09/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-Q-015-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS T máx: 25,0 °C. T mín: 15,0 °C			

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Contenido de humedad	%	53,72	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recibida en el laboratorio.
- La columna: Valor Límite Permisible, está fuera del alcance de acreditación del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:



Ing. Verónica Bravo
DIRECTORA TÉCNICA



LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD
RUC: 0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.

INFORME DE RESULTADOS No: Q-016-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO	ATENCIÓN A:	Sergio Alejandro Villagómez Reinoso
DIRECCIÓN:	Km. 7.51 vía Durán- Yagüachi	TELÉFONO:	0961428584
TIPO DE MUESTRA:	Química (Desechos)	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Estero Sanitario del GAD PASTAZA.
CÓDIGO CLIENTE:	Muestra # 2	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	06/09/2022 10:28 Sergio Villagómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	06/09/2022 16:30	FECHA DE ANÁLISIS:	06/09/2022 - 16/09/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	16/09/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-Q-016-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS T máx.: 23,0 °C. T mín.: 13,0 °C			

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Contenido de humedad	%	48,17	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna: Valor Límite Permisible, está fuera del alcance de acreditación del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:



Ing. Verónica Beava
DIRECTORA TÉCNICA



LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD
RUC:0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.

INFORME DE RESULTADOS No: Q-017-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO	ATENCIÓN A:	Sergio Alejandro Villagómez Reinoso
DIRECCIÓN:	Km 7 1/2 vía Durán- Yagondi	TELÉFONO:	0961428584
TIPO DE MUESTRA:	Químico (Desechos)	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Reflejo Sanitario del GAD PASTAZA.
CÓDIGO CLIENTE:	Muestra # 1	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	07/09/2022 10:30 Sergio Villagómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	07/09/2022 16:00	FECHA DE ANÁLISIS:	07/09/2022 - 10/09/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	10/09/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-Q-017-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C.			

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Contenido de humedad	%	52,07	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recibida en el laboratorio.
- La calaraz: Valor Límite Permisible, está fuera del alcance de sensibilidad del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:



Ing. Verónica Bravo
DIRECTORA TÉCNICA



LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD
RUC.0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.



DEPARTAMENTO: ANALITICALAB

INFORME DE RESULTADOS No: Q-018-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO	ATENCIÓN A:	Sergio Alejandro Villagómez Reinoso
DIRECCIÓN:	Km. 7.5 vía Durán- Yaguachi	TELÉFONO:	0991428584
TIPO DE MUESTRA:	Químico (Desechos)	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Reflexo Sanitario del GAD PASTAZA.
CÓDIGO CLIENTE:	Muestra # 2	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	07/09/2022 10:40 Sergio Villagómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	07/09/2022 16:00	FECHA DE ANÁLISIS:	07/09/2022 - 19/09/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	19/09/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-Q-018-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS		T máx: 25,0 °C, T mín: 15,0 °C	

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO (NORMA)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Contenido de humedad	%	51,41	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recibida en el laboratorio.
- La columna: Valor Límite Permisible, está fuera del alcance de acreditación del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:


Ing. Verónica Bravo
DIRECTORA TÉCNICA


LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD
RUC 0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados aquí indicados sólo están relacionados con los equipos ensajados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analíticos.
- LABCESTTA S.A. no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.

INFORME DE RESULTADOS No: Q-019-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

NOMBRE CLIENTE:	SERGIO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ REINOSO	ATENCIÓN A:	Sergio Alejandro Villagómez Reinoso
DIRECCIÓN:	Km. 7 1/2 vía Durán- Yaguachi	TELÉFONO:	0961428584
TIPO DE MUESTRA:	Químico (Desechos)	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Reflexo Sanitario del GAD PASTAZA.
CÓDIGO CLIENTE:	Muestra 8.3	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA RESPONSABLE:	07/09/2022 10:45 Sergio Villagómez

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	07/09/2022 16:00	FECHA DE ANÁLISIS:	07/09/2022 - 19/09/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	19/09/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-Q-019-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx. 25,0 °C, T mín.: 15,0 °C			

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Contenido de humedad	%	51,89	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna: Valor Límite Permisible, está fuera del alcance de acreditación del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:



Ing. Verónica Bravo
DIRECTORA TÉCNICA



LABCESTTA
TECNOLOGÍA Y CALIDAD
RUC:0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados aquí indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.

ANEXO 2. Información obtenida del estudio Innovación en el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos domésticos, dirigida a la producción agroecológica en el Cantón Pastaza



Memoria de proyecto Tomo 3

“Innovación en el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos domésticos, dirigida a la producción agroecológica en el Cantón Pastaza”

2016/ACDE/002427



INNOVACIÓN EN EL APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS DOMÉSTICOS DIRIGIDA A LA PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CANTÓN PASTAZA
2016/ACDE/002427

Eje Ambiental

Caracterización de los residuos sólidos generados en la ciudad



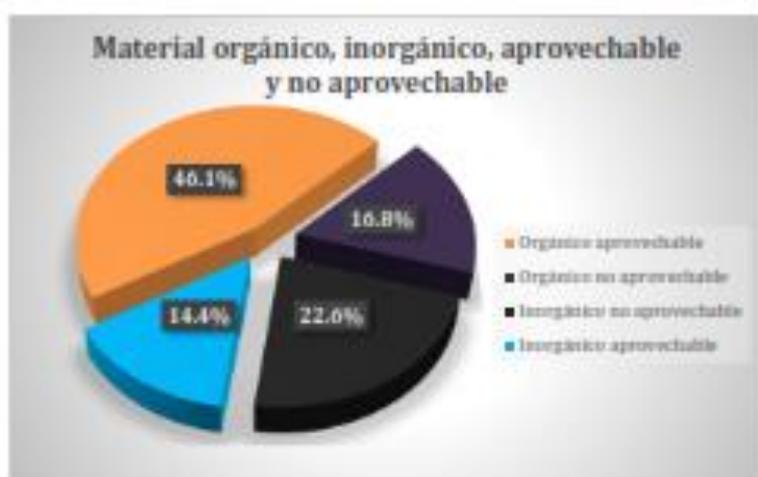
Contenido	
1. <u>Introducción</u>	36
2. <u>Objetivo</u>	37
3. <u>Metodología</u>	37
4. <u>Resultados de la caracterización de desechos sólidos domiciliarios</u>	41
4.1. <u>Producción de desechos</u>	41
4.2. <u>Composición de los residuos sólidos</u>	42
4.3. <u>Producción de bolsas de plástico</u>	44
4.4. <u>Descripción de las categorías las fracciones</u>	46
5. <u>Conclusión</u>	50
6. <u>Anexos</u>	18

4.2. Composición de los residuos sólidos

Durante la caracterización se recolectaron muestras diarias de variada composición, estas muestras revelaron la composición física de los residuos en El Puyo. Detalles de la composición física porcentual de los residuos se presentan en la tabla 4.

Tabla 4 Proporción de la materia orgánica/ inorgánica, aprovechable/ no aprovechable

Material	%
Orgánico aprovechable	46.1%
Orgánico no aprovechable	16.8%
Inorgánico no aprovechable	22.6%
Inorgánico aprovechable	14.4%
Total	100%



La materia orgánica representa casi 63% y la materia inorgánica 37%.

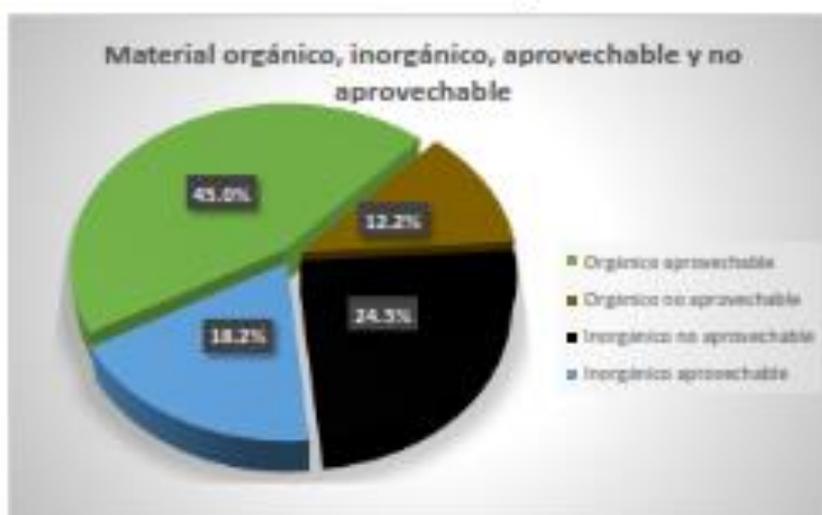


10.2. Composición de los residuos sólidos

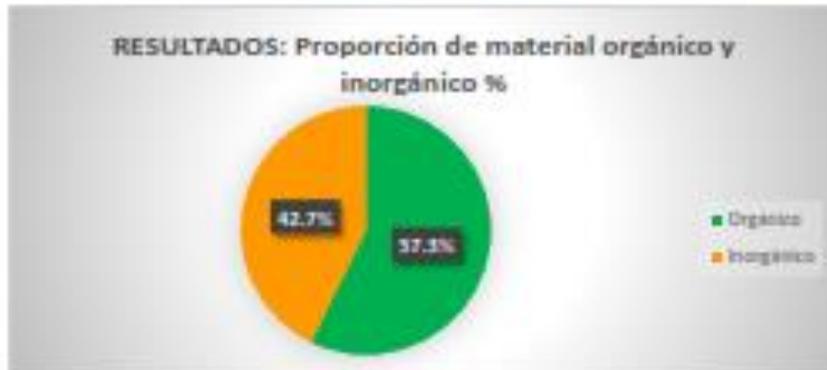
Durante la caracterización se recolectaron muestras diarias de variada composición, estas muestras revelaron la composición física de los residuos en las zonas rurales, como son las parroquias. Detalles de la composición física porcentual de los residuos se presentan en la tabla 3.

Tabla 3 Proporción de la materia orgánica/ inorgánica, aprovechable/ no aprovechable

Material	%
Orgánico aprovechable	43.0%
Orgánico no aprovechable	12.2%
Inorgánico no aprovechable	24.5%
Inorgánico aprovechable	18.2%
Total	100%



La materia orgánica representa casi 57% y la materia inorgánica 43%.



Sin duda la información sobre la proporción del material aprovechable y no aprovechable es la más importante, así la materia orgánica e inorgánica aprovechable representa la mayoría, 63%, la materia no aprovechable menos de 37%. Eso significa, que en caso de aplicar un sistema de clasificación efectivo, se puede recuperar hasta 63% de los desechos producidos en las parroquias. Al mismo tiempo se disminuirá el volumen de los residuos que se llevan diariamente al relleno sanitario en la misma proporción.



Es posible mirar las categorías con más detalle para ver la proporción de cada fracción. En la tabla 5 abajo se ve cuanto representa cada de las categorías y sus fracciones del volumen total.