



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Diseño de la fase dos de un relleno sanitario para la mancomunidad
de Alausí, Colta, Guamote.**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autores:

Carvajal Pérez, Denilsson Joel
López Pilco, Carlos André

Tutor:

Ing. Marcel Paredes Herrera

Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Denilsson Joel Carvajal Pérez y Carlos André López Pilco, con cédula de ciudadanía 0250191046 y 1400733786, autores del trabajo de investigación titulado: Diseño de la fase dos de un relleno sanitario para la mancomunidad de Alausí, Colta, Guamote, que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación a los veinticuatro días del mes de marzo de 2026



Denilsson Joel Carvajal Pérez
C.I: 0250191046



Carlos André López Pilco
C.I: 1400733786

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, PhD. Marcel Paredes Herrera catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Diseño de la fase dos de un relleno sanitario para la mancomunidad de Alausí, Colta, Guamote, bajo la autoría de Denilsson Joel Carvajal Pérez y Carlos André López Pilco; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los veinticuatro días del mes de marzo de 2026



Ing. Marcel Paredes Herrera MsC.
C.I: 0603783184

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL


Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Diseño de la fase dos de un relleno sanitario para la mancomunidad de Alausí, Colta, Guamote, presentado por Denilsson Joel Carvajal Pérez, con cédula de identidad 0250191046 y Carlos André López Pilco, con cédula de identidad 1400733786, bajo la tutoría de PhD. Marcel Paredes Herrera; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación, 02 de abril de 2026

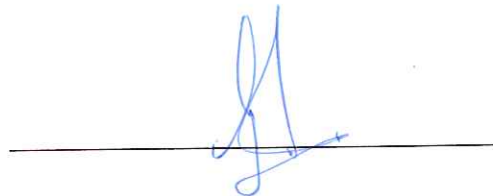
Ph.D. Anita Ríos Rivera
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Lenin Orozco
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Patricio Santillán MgS.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **CARVAJAL PÉREZ DENILSSON JOEL** con CC: **0250191046**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Ambiental, NO VIGENTE**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Diseño de la fase dos de un relleno sanitario para la mancomunidad de Alausí, Colta, Guamoto”**, cumple con el **8 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 18 de marzo de 2026



Ing. Marco Marcel Paredes Herrera Mgs.

TUTOR



CERTIFICACIÓN

Que, **LÓPEZ PILCO CARLOS ANDRÉ** con CC: **1400733786**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Ambiental, NO VIGENTE**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Diseño de la fase dos de un relleno sanitario para la mancomunidad de Alausí, Colta, Guamote”**, cumple con el **8 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 18 de marzo de 2026



Ing. Marco Marcel Paredes Herrera Mgs.

TUTOR

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo, de manera especial, a mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y confianza a lo largo de todo este proceso académico. Su motivación constante, sacrificio y palabras de aliento fueron fundamentales para mantener la perseverancia necesaria hasta alcanzar esta meta.

Asimismo, lo dedico a todas las personas que formaron parte de esta etapa, quienes con su respaldo y acompañamiento contribuyeron a la culminación de este logro, que representa no solo un objetivo académico cumplido, sino también el resultado de un esfuerzo compartido.

Denilsson Joel Carvajal Pérez

Para mi mamá Andrea la cual ha sido mi fuente de motivación a lo largo de mi vida para no darme por vencido, la cual me ha enseñado a siempre ser fuerte y valiente a lo largo de mi vida con su ejemplo de vida y superación, a nunca darme por vencido, gracias es poco lo que le puedo decir por ser quien ha estado ahí para mí desde el inicio hasta el final.

A mi papá Renato quien ha sido el cual me ha enseñado diversas lecciones de vida las cuales fueron de utilidad para estar firme en mis decisiones y ser correcto, ser transparente en partes fundamentales de mi vida y poder superar esta etapa, por sus lecciones de generosidad, de ser correcto y firme en lo que creo y no dejarme llevar por terceros, solo puedo agradecerle por formar parte de mi vida y darme la oportunidad de tener un papá de tal calidad como es.

A mi hermano, al cual le doy ejemplo como mayor, por estar ahí apoyarme y estar en cada momento, quien es mi compañero, amigo y sobre todo alguien que sé que puedo contar siempre y viceversa. A mis abuelos Mercy y Nelson por su apoyo constante por estar ahí siempre y poder contar con ellos, por ser una gran parte de mi infancia y crecimiento, por ser una motivación grande en mi vida de los cuales he aprendido mucho. A mi tía Iris por siempre impulsarme en cada momento de mi vida y nunca perder la esperanza y la fe en mí, por ser quien me motivo muchas veces a seguir adelante y con la cabeza arriba.

A todos aquellos que la universidad nos hizo amigos, les agradezco los momentos de risa, por las salidas y compartir muchos momentos de universidad que no se volverán a repetir, pero siempre estarán en mis recuerdos.

A mi pareja por acompañarme desde los inicios de la época universitaria, le agradezco por estar ahí y seguir, por cada momento que pasamos y lo que la vida nos ha permitido pasar.

Carlos André López Pilco

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a mi familia, por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi formación, brindando apoyo moral y emocional de manera permanente. A las autoridades y docentes de la institución, por la formación académica impartida y la orientación brindada durante el desarrollo de esta investigación.

De igual manera, expreso mi gratitud a mis amigos, quienes compartieron cada experiencia a lo largo de este camino, brindando apoyo, motivación y compañía en los momentos más significativos. A todos quienes, directa o indirectamente, contribuyeron a este proceso, mi profundo reconocimiento por su valioso aporte.

Denilsson Joel Carvajal Pérez

Primero quiero agradecer a Dios, quien me ha permitido culminar mis estudios y darme sabiduría, por enseñarme a ser fuerte y valiente porque Él está conmigo. Le agradezco por darme la oportunidad de culminar mis estudios, ser mi apoyo en momentos que necesito fuerza y valor para seguir.

A mis padres, Andrea Pilco Rodriguez y Renato Arévalo Jaramillo, quienes me han apoyado incondicional a lo largo de este trayecto y siempre han sido una fuente de fortaleza para orientarme y darme valor para seguir. Por ser el pilar fundamental de mi vida en estos años de universidad los cuales han sido importantes para ser mi guía y fuente inquebrantable de cariño amor.

A mi familia, mis abuelos, mi tía, mi hermano, los cuales han sido mi principal fuente de apoyo, y motivación para concluir mis estudios, agradezco a cada uno por estar siempre ahí, en momentos difíciles por mantenerse conmigo, agradecerles es poco por lo mucho que han hecho durante estos años.

Agradezco a mi tutor de tesis PhD. Marcel Paredes, cual nos ha acompañado en este proceso para poder culminar nuestra tesis por medio de su ayuda.

Carlos André López Pilco

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE PLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCION.....	16
1.1 Problema de investigación.....	16
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 General.....	19
1.3.2 Específicos.....	19
CAPÍTULO II.....	20
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Marco Referencial.....	20
2.2 Marco Legal.....	20
2.3 Marco Conceptual.....	22
2.3.1 Residuos sólidos urbanos.....	22
2.3.2 Residuos sólidos orgánicos.....	22
2.3.3 Residuos sólidos inertes.....	23
2.3.4 Residuos peligrosos y no peligrosos.....	23
2.3.5 Lixiviados.....	23
2.3.6 Generación de Gases de Vertedero (Biogás).....	23
2.3.7 Relleno sanitario.....	24
CAPÍTULO III.....	25
3. METODOLOGIA.....	25

3.1 Tipo de Investigación	25
3.2 Área de estudio	25
3.3 Determinación de una línea base de interpretación existente para el relleno sanitario mediante información primaria y secundaria.	27
3.3.1 Obtención de datos	27
3.3.2 Método en zonas o de áreas	27
3.3.3 Recolección de información	28
3.3.4 Método vaguada o depresión	28
3.3.5 Aplicación de la metodología en el software AutoCAD y GIS.....	28
3.3.6 Observación directa	29
3.3.7 Población de estudio.....	29
3.3.8 Tamaño de la muestra.....	30
3.3.9 Caracterización de la cantidad y el tipo de residuos sólidos generados en la mancomunidad Alausí, Colta y Guamote.....	30
3.4 Planteamiento de un diseño de relleno sanitario mediante herramientas digitales.....	32
3.4.1 Construcción de un relleno sanitario	32
3.4.2 Trinchera o zanja	33
3.4.3 Criterio área	34
3.4.4 Estudio de generación de tipo de residuos sólidos municipales.....	34
3.4.5 Dimensionamiento de los componentes necesarios para el diseño de un relleno sanitario.....	34
3.4.6 Cálculo de sistema de escurrimiento superficial	36
3.4.7 Cálculo de drenaje	36
3.4.8 Cálculo de celda diaria	37
3.4.9 Área de celda	37
3.4.10 Largo o avance de la celda	37
3.4.11 Chimeneas	38
3.4.12 Base del relleno sanitario.....	38
3.5 Proyección del análisis de precios unitarios para la construcción del relleno sanitario	39
3.5.1 Precios Unitarios (PUNIS)	39
CAPÍTULO IV.	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	41
4.1 Resultados.....	41
4.1.1 Línea base para el relleno sanitario mediante información primaria y secundaria	41

4.1.2 Actividades económicas	42
4.1.3 Cantidad de producción de residuos sólidos.....	44
4.1.4 Producción Per – Cápita	44
4.1.5 Taxonomía del suelo del cantón Guamote	45
4.1.6 Textura del suelo del cantón Guamote	46
4.1.7 Hidrología en el área del relleno sanitario.....	46
4.1.8 Estabilidad del suelo.....	47
4.1.9 Tipo de relleno sanitario	48
4.2 Diseño del relleno sanitario	48
4.2.1 Método de construcción para un relleno sanitario.....	48
4.2.2 Drenaje	49
4.2.3 Dimensión de los componentes	49
4.2.4 Dimensiones de la trinchera de drenaje.....	51
4.2.5 Chimeneas	54
4.2.6 Base del relleno sanitario.....	54
4.3 Proyección del análisis de precios unitarios para la construcción del relleno sanitario	55
4.4 Discusión	62
CAPÍTULO V.	64
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1 Conclusiones.....	64
5.2 Recomendaciones	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas UTM del área de estudio.....	26
Tabla 2 Relación entre grados de pendiente y características del relieve.....	32
Tabla 3 Criterios técnicos para la selección del terreno en rellenos sanitarios con trincheras	33
Tabla 4 Criterios de área.....	34
Tabla 5 Variables y ecuaciones para el cálculo del volumen y área de un relleno sanitario	35
Tabla 6 Parámetros técnicos de las chimeneas en rellenos sanitarios	38
Tabla 7 Parámetros y espesores de las capas en la base del relleno sanitario	38
Tabla 8 Proyección de la población de Alausí, Colta y Guamote	41
Tabla 9 Proyección poblacional de los cantones Colta, Alausí y Guamote (2020–2035)..	42
Tabla 10 Actividad económica de Alausí.....	43
Tabla 11 Actividad económica de Colta.....	43
Tabla 12 Actividad económica de Guamote.....	43
Tabla 13 Producción per cápita	44
Tabla 14 Determinación del tipo de relleno sanitario para la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote 2025.	48
Tabla 15 Criterios para la selección del método de construcción del relleno sanitario en la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote	48
Tabla 16 Proyección de volúmenes y dimensiones del relleno sanitario 2022 - 2036	53
Tabla 17 Presupuesto detallado de obras y componentes del relleno sanitario – Plataforma Fase II y obras complementarias	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de los cantones de Alausí, Colta y Guamote	26
Figura 2 Ubicación geográfica para la segunda fase del relleno sanitario	27
Figura 3 Metodología para diseñar un relleno sanitario	30
Figura 4 Taxonomía del suelo del cantón Guamote	45
Figura 5 Textura del suelo del cantón Guamote	46
Figura 6 Hidrología en el área del relleno sanitario	47
Figura 7 Sección transversal del sistema de impermeabilización basal y drenaje	52
Figura 8 Sección constructiva del sistema de extracción pasiva de biogás	54
Figura 9 Esquema isométrica de las fases modulares	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Recolección de información acerca de la fase 1 del relleno sanitario de la mancomunidad Alausí, Colta y Guamote	74
Anexo 2 Zona de acopio de basura recolectada	74
Anexo 3 Zona de clasificación de basura para su desecho	75
Anexo 4 Oficinas de la mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote	75
Anexo 5 Infraestructura de la mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote	76
Anexo 6 Zona destinada para la fase 2 del relleno sanitario de la mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote	76
Anexo 7 Funcionamiento de la fase 1 del relleno sanitario	77
Anexo 8 Vía principal con dirección a la zona destinada para la fase 2 del relleno sanitario	77

RESUMEN

Actualmente, la infraestructura de disposición final de residuos sólidos de la mancomunidad se encuentra próxima a alcanzar el límite de su capacidad operativa, lo que representa un inminente riesgo ambiental y sanitario para la región. Para mitigar este problema y garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, el presente proyecto desarrolla el “Diseño de la Fase Dos del Relleno Sanitario en la Mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote”.

En una primera etapa, se recopiló información clave sobre las características de los residuos basados en los datos de recolección de los tres cantones. A partir de esta línea base, el diseño proyecta una capacidad volumétrica para una vida útil estimada de 15 años, considerando una generación inicial de residuos de 20 t/día y una producción promedio per cápita de 0.70 kg/hab/día. Posteriormente, se elaboró el diseño técnico bajo el método constructivo híbrido (trinchera y área), considerando factores determinantes como la topografía del terreno para garantizar la estabilidad de las celdas.

Finalmente, se cuantificaron las obras civiles necesarias, incluyendo la impermeabilización basal, redes de drenaje de lixiviados y extracción pasiva de biogás. Este proceso permitió estructurar un presupuesto maestro detallado que respalda la viabilidad técnica y económica de la obra, constituyendo una herramienta fundamental para la futura ejecución del proyecto por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados involucrados.

Palabras claves: Celda emergente, relleno sanitario, diseño técnico, residuos sólidos, presupuesto de construcción.

ABSTRACT

Currently, the solid waste disposal infrastructure of the inter-municipal association is approaching its operational capacity, posing an imminent environmental and public health risk to the region. To address this issue and ensure compliance with current environmental regulations, this project develops the “Design of Phase Two of the Sanitary Landfill for the Alausí, Colta, and Guamote Inter-Municipal Association.” In the first stage, key information on waste characteristics was collected based on waste collection data from the three cantons. Based on this baseline, the design projects a volumetric capacity with an estimated lifespan of 15 years, considering an initial waste generation rate of 20 tons per day and an average per capita generation of 0.70 kg/person/day. Subsequently, the technical design was developed using a hybrid construction method (trench and area), taking into account key factors such as site topography to ensure cell stability. Finally, the required civil works were quantified, including basal liner systems, leachate drainage networks, and passive biogas extraction systems. This process enabled the development of a detailed master budget that supports the technical and economic feasibility of the project, constituting a fundamental tool for its future implementation by the participating Decentralized Autonomous Governments.

Keywords: emergency cell, sanitary landfill, technical design, solid waste, construction budget.



Reviewed by:
MsC. Edison Damian Escudero
ENGLISH PROFESSOR
C.C.0601890593

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCION.

A nivel mundial existe un drástico crecimiento poblacional, el cual se debe en gran medida al aumento del número de personas que alcanzan la edad reproductiva, al incremento progresivo de la esperanza de vida, así como al avance de los procesos de urbanización y a los movimientos migratorios. Este crecimiento acompaña los notables cambios en la tasa de fertilidad, cuyas tendencias tienen repercusiones significativas para las generaciones futuras (Organización de las Naciones Unidas, 2019).

Desde hace varias décadas, Ecuador enfrenta una profunda crisis en la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS). Esta se caracteriza, en primer lugar, por el incremento masivo en la generación de residuos, en segundo lugar, por la ausencia de políticas orientadas a la reducción, la responsabilidad extendida del productor y la clasificación en la fuente, y, finalmente, por las precarias condiciones en la disposición final, lo que genera graves impactos sociales, ecológicos y en la salud pública (Rodríguez, 2025).

Según el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT) del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Alausí (GADMCA), la gestión integral de desechos sólidos de la mancomunidad Alausí, Colta y Guamote evidencia que el 89.5% de los desechos sólidos provienen de las residencias, en tanto que el 8.5% se origina en el sector comercial, el 1.5% en los centros educativos y, por último, el 0.5% en el sector industrial (GADMCA, 2020).

En Colta, la gente de la ciudad genera 0.61 kilos de basura cada día, pero en el campo, es un poco menos, alrededor de 0.46 kilos diarios. En 2022, se acumuló una enorme cantidad de basura aproximadamente 2 265.88 toneladas en el vertedero (GADMCC, 2014).

Cuando se trata de recoger basura, el GADMCG menciona que generalmente lo hacen en las aceras con un camión grande que puede transportar 8.5 toneladas de basura. La cobertura del servicio cubre 89.45% de la zona en el cantón (GADMCG, 2023).

1.1 Problema de investigación

El problema de los residuos sólidos municipales (RSM) estuvo presente en la mayoría de las ciudades y pequeñas poblaciones debido a su inadecuada gestión, y tendió a agravarse en determinadas regiones como consecuencia de múltiples factores. Entre ellos se encontraban el acelerado crecimiento de la población y su concentración en áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios en los hábitos de consumo y el uso generalizado de envases, empaques y materiales desechables, los cuales incrementaron considerablemente la cantidad de residuos.

En todo el país la acumulación de basura en las ciudades sigue siendo un enorme problema de salud y ecológico, sin embargo, según el MAATE (2017) menciona que en el país se producen más de 13 000 toneladas de residuos sólidos cada día, con una producción promedio per cápita nacional que oscila entre 0.58 y 0.84 kg/hab/día. Pese a los esfuerzos

gubernamentales, un porcentaje significativo de estos desechos a nivel municipal aún se dispone en botaderos a cielo abierto o en celdas emergentes que operan al límite de su capacidad técnica, lo que incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas locales.

En el contexto de la provincia de Chimborazo, esta problemática se refleja de manera directa en los cantones de Alausí, Colta y Guamate. La mancomunidad conformada por estos tres municipios registra una generación consolidada de aproximadamente 20 toneladas diarias de desechos (con una producción per cápita promedio de 0.70 kg/hab/día (Weather Consulting, 2017).

La infraestructura del diseño final se encuentra en una etapa clave, debido a que la primera fase de operación se encuentra próxima a concluir. No obstante, la ausencia de un diseño técnico planificado para la fase dos podría generar dificultades en el futuro e incluso provocar el colapso del sistema de recolección y disposición de residuos a nivel regional.

Desde el punto de vista jurídico y reglamentario, la falta de una infraestructura de disposición final correctamente dimensionada incumple lo establecido en el Código Orgánico del Ambiente (COA). Del mismo modo, la posible filtración de lixiviados sin tratamiento y la liberación de biogás representan un riesgo de superar los límites máximos permitidos y los criterios de calidad para el agua y el suelo establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A.

Asimismo, el diseño y construcción de esta nueva fase constituyen un requisito técnico necesario para mantener la vigencia de los permisos ambientales y cumplir con los procesos de control y regularización estipulados en el Acuerdo Ministerial 061. En este sentido, el desarrollo de la Fase Dos no solo responde a una necesidad operativa para la adecuada gestión de residuos, sino también al cumplimiento de la normativa ambiental vigente, con el fin de proteger el entorno natural y garantizar el bienestar de la población.

Por otro lado, si los gobiernos locales hubieran trabajado juntos en la gestión de estos sitios de eliminación de residuos, podríamos haber ahorrado algo de dinero y hecho un mejor trabajo, haciendo la mayor parte de lo que tenemos y reduciendo el daño al medio ambiente. Este enfoque integral no solo mejoraba la calidad de vida de los residentes, sino que también contribuía a la preservación del entorno para las futuras generaciones. Conviene señalar que no realizaban subprocesos orientados a la recuperación de materiales, pues su operación se limitaba a la unificación, compactación y sepultura de los residuos sólidos. Por tal motivo, no debía continuarse operando de la misma manera, por el contrario, resultaba imprescindible innovar en métodos de ingeniería que permitieran reducir al mínimo los desechos destinados al relleno, privilegiando aquellos que no lograban ser reprocesados o aprovechados (Barrera et al., 2022).

Finalmente, Choez et al. (2021) indicaron que el relleno sanitario constituía el espacio en el que se depositaban los residuos sólidos de una ciudad después de haber recibido determinados tratamientos. El objetivo principal de todo relleno consistía en almacenar la basura en terrenos o áreas apartadas de las ciudades, disponiéndola en capas de determinado espesor que luego se cubrían con materiales aptos como hule, polietileno o arcilla.

1.2 Justificación

En Ecuador, las municipalidades tuvieron las competencias y obligaciones para gestionar los desechos sólidos, siendo los rellenos sanitarios la técnica empleada por la mayoría de ellas. No obstante, estos no se utilizaron de manera tecnificada ni con todos los procesos que conllevaba la implementación de un relleno sanitario, lo que generó problemas ambientales y sanitarios (Rodríguez et al., 2022).

Por otra parte, la falta de financiamiento se reflejó en la carencia de infraestructuras y servicios eficientes para el manejo de residuos sólidos, lo que provocó que la recolección y disposición final fueran deficientes. El país generaba 7 423 toneladas diarias de residuos sólidos, de las cuales solo se recolectó el 49% y se confinó adecuadamente el 30%. En consecuencia, el 70% restante se dispuso en quebradas, cuerpos de agua y terrenos baldíos. Además, muchos de estos sitios de disposición final no cumplieron con las especificaciones técnicas necesarias para ser considerados rellenos sanitarios (Angamarca & Santander, 2022).

De igual manera, las asociaciones se constituyeron como una alternativa eficaz para optimizar la administración de los gobiernos autónomos descentralizados. Los cantones de Alausí, Colta y Guamate conformaron una mancomunidad para gestionar sus servicios de manera conjunta y mejorar la calidad de vida local. Dado que estos territorios no son colindantes, el diseño del proyecto exigió trazar una ruta específica de conexión hacia el vertedero.

La alternativa más viable para estas comunidades fue la construcción de un relleno sanitario regional. Esta infraestructura permite controlar la disposición de los desechos, reducir los riesgos para la salud pública y mitigar el impacto ambiental, además de abrir la posibilidad de aprovechar el biogás para generar energía.

La adecuada gestión de estos espacios es muy importante, ya que cuando los residuos urbanos no se disponen correctamente pueden generar grandes emisiones de metano, un gas que contribuye más al calentamiento global que el CO₂. La organización Clean Air Task Force señala que es urgente implementar sistemas de disposición más tecnificados que permitan captar el biogás y reducir estas emisiones (Jamrah et al., 2024).

Por esta razón, si la mancomunidad no desarrolla una Fase Dos con la capacidad adecuada, los efectos serían dobles: a nivel local aumentaría la contaminación del suelo y agua, y a nivel global continuaría la liberación descontrolada de metano a la atmósfera. Por consiguiente, el diseño propuesto no solo busca mejorar la gestión de los residuos en el cantón, sino también contribuir al control de emisiones y al cuidado del ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar un relleno sanitario en la fase dos para la mancomunidad Alausí, Colta y Guamote.

1.3.2 Específicos

- Determinar una línea base de interpretación existente para el relleno sanitario mediante información primaria y secundaria.
- Plantear un diseño del relleno sanitario mediante herramientas digitales.
- Proyectar el análisis de precios unitarios para la construcción del relleno sanitario.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Marco Referencial

Con el paso de los años, el problema de la gestión de residuos sólidos de manera de recibir atención mediante diversas políticas legales, sistemas de gestión, alternativas de recolección, participación comunitaria y cooperación internacional. Sin embargo, la gestión de residuos sólidos continúa siendo un reto permanente a nivel mundial debido a su complejidad.

De acuerdo con el informe de la Organización de las Naciones Unidas (2019), se prevé que la generación de residuos sólidos urbanos aumente de 2 300 millones de toneladas en 2023 a 3 800 millones de toneladas en 2050. Además, en 2020, el coste directo mundial de la gestión de residuos se estimó en 252 000 millones de dólares; no obstante, al considerar los costes ocultos derivados de la contaminación, la insalubridad y el cambio climático asociados a las malas prácticas de eliminación, el costo total asciende a 361 000 millones de dólares. Por consiguiente, si no se adoptan medidas urgentes, se proyecta que en 2050 este coste anual mundial podría casi duplicarse, alcanzando la impactante cifra de 640 300 millones de dólares.

La revisión de la información analizada muestra que es importante aplicar diferentes enfoques en la gestión de los residuos sólidos para lograr un manejo más adecuado. Además, los estudios revisados sirven como base para plantear estrategias que ayuden a mejorar la gestión de estos residuos. De igual forma, el control temprano y adecuado del biogás es un aspecto clave, ya que no solo ayuda a mantener la estabilidad de la celda sanitaria, sino que también contribuye a reducir los efectos del cambio climático (Scharff et al., 2023).

2.2 Marco Legal

Constitución Política de la República del Ecuador

En la constitución del Ecuador en el Título II: Derechos, Capítulo segundo: Derechos del Buen Vivir, Sección segunda: Ambiente Sano, manifiesta lo siguiente:

Art. 14.- Señala que se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el Buen Vivir, Sumak Kawsay. *“Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”* (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 13).

Art. 66.- Señala que se reconoce y garantizará a las personas, *“El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”* (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 31).

Art. 397.- Señala que, en caso de daños ambientales, *“El Estado actúa de manera inmediata y subsidiaria frente a daños ambientales para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas, aplicando las sanciones correspondientes y obligando al responsable a cumplir con la reparación integral. La responsabilidad también recae sobre los servidores encargados del control ambiental. Para asegurar el derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado, el Estado permite que cualquier persona natural o jurídica ejerza acciones legales y solicite medidas cautelares, establece mecanismos de prevención y control de la contaminación, regula materiales tóxicos y peligrosos, protege las áreas naturales y garantiza la conservación de la biodiversidad, y organiza un sistema nacional de prevención y gestión de riesgos y desastres basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad”* (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 120).

Ley de Gestión Ambiental

Art. 2.- *“La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales”* (Ley de Gestión Ambiental, 2004, p. 1).

Art. 4.- *“Los reglamentos, instructivos, regulaciones y ordenanzas que, dentro del ámbito de su competencia, expidan las instituciones del Estado en materia ambiental, deberán observar las siguientes etapas, según corresponda: desarrollo de estudios técnicos sectoriales, económicos, de relaciones comunitarias, de capacidad institucional y consultas a organismos competentes e información a los sectores ciudadanos”* (Ley de Gestión Ambiental, 2004, p. 1).

Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Art. 15.- *“El Ministerio del Ambiente regulará la disposición de los desechos provenientes de productos industriales que, por su naturaleza, no sean biodegradables, tales como plásticos, vidrios, aluminio y otros”* (Ley de Prevención y Control de la contaminación Ambiental, 2004).

Código Orgánico del Ambiente

Art. 14.- *“El ejercicio de las competencias ambientales comprende las facultades de rectoría, planificación, regulación, control y gestión referidas al patrimonio natural, la biodiversidad, calidad ambiental, cambio climático, zona marino y marino costera, y demás ámbitos relacionados de conformidad con la Constitución y la ley”* (Código Orgánico del Ambiente, 2017, p. 15).

Art. 55.- *“Las áreas especiales para la conservación de la biodiversidad se pueden incorporar de manera complementaria al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, con el objetivo de garantizar la integridad de los ecosistemas, la funcionalidad de los paisajes, la sostenibilidad del desarrollo territorial, el aprovechamiento sostenible de los recursos*

naturales y la recuperación de áreas degradadas. Su creación puede ser impulsada por iniciativas públicas, privadas o comunitarias, y debe registrarse tanto en los sistemas de información de los Gobiernos Autónomos Descentralizados como en el Sistema Único de Información Ambiental. Además, cuando estas áreas se establecen antes que un área protegida, prevalecen las normas correspondientes a las áreas protegidas” (Código Orgánico del Ambiente, 2017, p. 26).

Marco Legal para Mancomunidad

En base a la Constitución de la Republica del Ecuador se establece en el Art. 243 acerca de las mancomunidades que “Dos o más regiones, provincias, cantones o parroquias contiguas podrán agruparse y formar mancomunidades, con la finalidad de mejorar la gestión de sus competencias y favorecer sus procesos de integración. Su creación, estructura y administración serán reguladas por la ley” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Según el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) establece que las formaciones de una mancomunidad, desde el artículo 285 la cual describe acerca de las mismas y consorcios, hasta el artículo 420 que menciona los bienes mancomunados y la relación existente entre dos o más cantones descentralizados (Del Pozo, 2010).

En base a la reforma del Acuerdo Ministerial N° 61 en el Art. 57 presenta las Responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), para lo cual establece en el literal “L”: Promover alianzas estratégicas para la conformación de mancomunidades con otros municipios para la gestión integral de los residuos sólidos, con el fin de minimizar los impactos ambientales, y promover economías de escala (Ministerio de Ambiente, 2017).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Residuos sólidos urbanos

Comúnmente denominados “basuras”, se producen en los núcleos de población y constituyen un problema cuando su generación alcanza volúmenes significativos, invadiendo el espacio vital o de esparcimiento de las personas. Estos incluyen todos los residuos generados por la actividad doméstica, comercial, industrial y de servicios, así como aquellos provenientes de la limpieza de calles, jardines y parques. Según su procedencia y naturaleza, se clasifican en domiciliarios, provenientes de la actividad doméstica, voluminosos de origen doméstico, como embalajes y muebles; comerciales, generados por actividades empresariales; y residuos de limpieza de vías y áreas públicas, producidos durante la limpieza de calles y el mantenimiento de parques y jardines (Bartra & Delgado, 2020).

2.3.2 Residuos sólidos orgánicos

Los residuos orgánicos son materiales que en algún momento tuvieron vida, formaron parte de un ser vivo o derivan de procesos de transformación de combustibles fósiles. Los residuos

pueden clasificarse en putrescibles y no putrescibles. Los putrescibles provienen principalmente de materiales naturales que no han tenido grandes transformaciones y, debido a su contenido de humedad, se descomponen con facilidad. Dentro de este grupo se encuentran los restos de alimentos, residuos de jardín o forestales, heces de animales y desechos de actividades agrícolas o agroindustriales. En cambio, los residuos no putrescibles son aquellos que han sido modificados o procesados, lo que hace que su descomposición sea más lenta o limitada (Alvarado & Rangel, 2021).

2.3.3 Residuos sólidos inertes

Son aquellos residuos que no son biodegradables ni combustibles y que generalmente provienen de la extracción, el procesamiento o la utilización de recursos minerales. Entre ellos se encuentran el vidrio, los metales, los residuos de construcción y demolición, las tierras, los escombros, entre otros (Serrano et al., 2017).

2.3.4 Residuos peligrosos y no peligrosos

Se definen por presentar una o más de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o riesgo biológico infeccioso. Según sus propiedades físicas, químicas o biológicas, estos residuos pueden incorporarse a procesos de recuperación o transformación; en casos extremos, requieren incineración o confinamiento controlado (Hernández, 2011).

2.3.5 Lixiviados

Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios constituyen efluentes líquidos altamente contaminantes que se producen por la percolación del agua pluvial a través de la masa de residuos y por la humedad liberada durante los procesos de descomposición de la materia orgánica. Asimismo, se originan por la reacción, arrastre y filtración de los materiales que componen los residuos sólidos, lo que da lugar a líquidos que contienen diversas sustancias disueltas y en suspensión (Mosquera & Lara, 2012).

La composición fisicoquímica de los lixiviados es compleja y puede variar, ya que contiene principalmente materia orgánica disuelta, compuestos inorgánicos como el nitrógeno amoniacal, metales pesados como plomo, cadmio y cromo, y algunos compuestos orgánicos sintéticos (Jamrah et al., 2024).

La preocupación ambiental se debe a que estas sustancias pueden ser tóxicas y desplazar fácilmente en el ambiente. Cuando no existe un sistema adecuado de control, los lixiviados pueden infiltrarse en el suelo y llegar a las aguas subterráneas, afectando su calidad. Además, si alcanzan ríos o lagunas pueden provocar problemas como la eutrofización debido al exceso de nutrientes, mientras que los metales pesados pueden acumularse en los organismos y afectar tanto a los ecosistemas como a la salud humana.

2.3.6 Generación de Gases de Vertedero (Biogás)

La generación de gases en las celdas de confinamiento de los rellenos sanitarios se produce como consecuencia de la degradación biológica y fisicoquímica de la fracción orgánica

presente en los residuos sólidos. Este proceso ocurre de manera progresiva y atraviesa distintas etapas de descomposición, hasta alcanzar condiciones anaerobias en las que microorganismos, especialmente bacterias metanogénicas, transforman la materia orgánica en compuestos gaseosos. Como resultado de este proceso se forma el biogás, el cual no constituye un gas único, sino una mezcla gaseosa saturada de humedad. Su composición está dominada principalmente por dos gases: el metano (CH_4), que representa aproximadamente entre el 45 % y el 60 % del volumen total, y el dióxido de carbono (CO_2), que oscila entre el 40 % y el 50 %. Además, el biogás contiene pequeñas concentraciones de otros gases como sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3), monóxido de carbono (CO) y diversos compuestos orgánicos volátiles (COV), los cuales pueden generar olores desagradables y presentar alta reactividad química (Mor et al., 2024).

La generación y liberación de estos gases representa una preocupación ambiental significativa, ya que el metano es un potente gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático, mientras que compuestos como el sulfuro de hidrógeno y los compuestos orgánicos volátiles pueden afectar la calidad del aire, generar riesgos para la salud humana y ocasionar molestias a las poblaciones cercanas a los sitios de disposición final de residuos.

2.3.7 Relleno sanitario

Un relleno sanitario es una infraestructura de ingeniería ambiental diseñada para la disposición final controlada de residuos sólidos, en la cual los desechos se depositan, distribuyen, compactan y cubren con material de cobertura para reducir los impactos sobre el suelo, el agua y el aire, garantizando un manejo sanitario y ambientalmente seguro de los residuos (Chavarría, 2022).

Su funcionamiento se basa en métodos de disposición como el sistema de celdas, zanjas o trincheras, donde los residuos se colocan en excavaciones previamente acondicionadas, las cuales pueden alcanzar varios metros de profundidad y se encuentran recubiertas con materiales de baja permeabilidad, como arcilla compactada y geomembranas sintéticas, con el fin de impedir la infiltración de lixiviados hacia el subsuelo.

Estructuralmente, un relleno sanitario está conformado por diversos componentes técnicos que permiten controlar los procesos físicos, químicos y biológicos que se generan durante la descomposición de los residuos, entre los que destacan: las celdas o módulos de disposición, donde se depositan y compactan los residuos; el sistema de impermeabilización basal y lateral, que actúa como barrera de protección para evitar la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas; la red de captación y conducción de lixiviados, generalmente conformada por tuberías perforadas rodeadas de material filtrante que permiten recolectar y transportar estos efluentes hacia sistemas de tratamiento; el sistema de captación y control de biogás, que facilita la liberación o quema controlada de gases generados por la degradación de la materia orgánica; y el sistema de drenaje pluvial perimetral, encargado de desviar el agua de lluvia para evitar su ingreso al área de disposición y reducir la generación de lixiviados (Kaza et al., 2018).

Estos elementos permiten que la disposición de los residuos se realice de manera controlada, disminuyendo los riesgos de contaminación ambiental y protegiendo la salud pública.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de Investigación

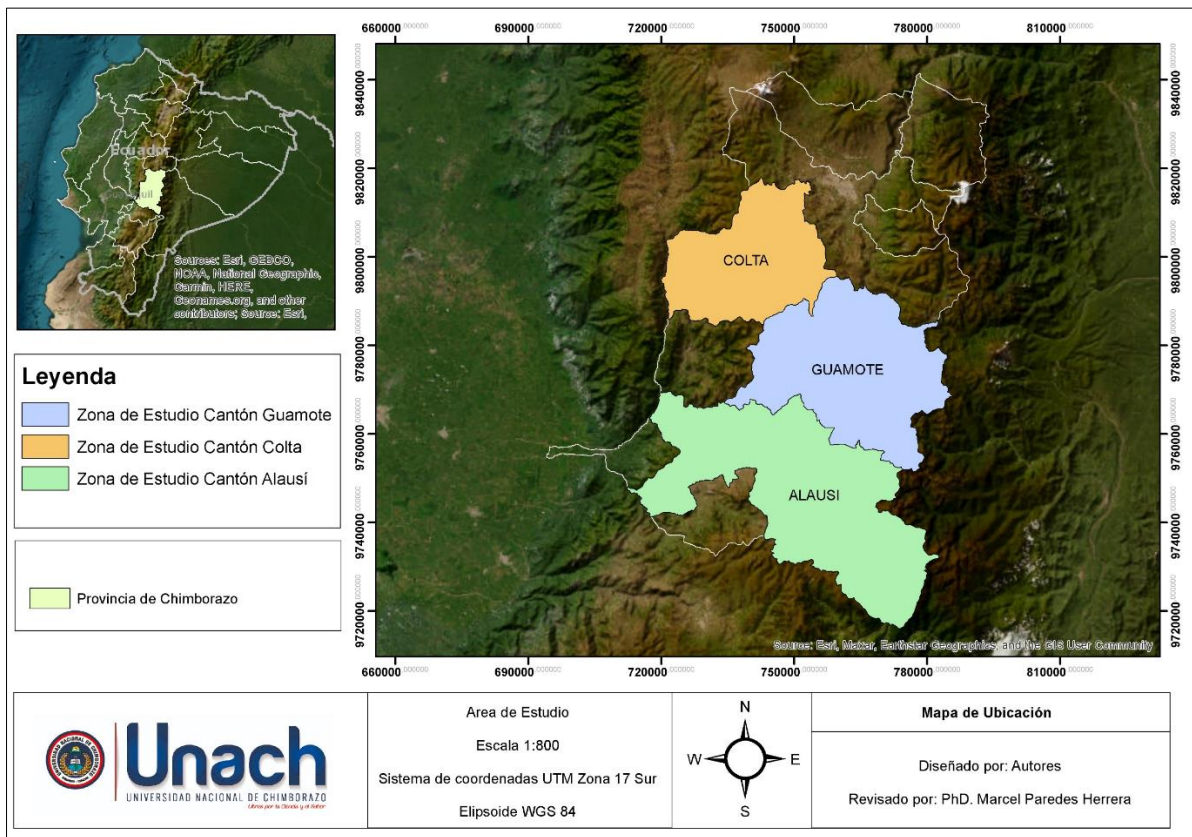
La investigación se enmarca en un enfoque descriptivo y explicativo, en el cual se integran métodos cuantitativos y cualitativos. El componente cuantitativo comprende la recopilación, procesamiento y análisis de datos mediante indicadores estadísticos, estudios comparativos y el uso de herramientas de información geográfica (GIS) junto con programas de diseño asistido (AutoCAD), lo que permite obtener información técnica precisa y verificable. Por su parte, el componente cualitativo se sustenta en la revisión bibliográfica, el análisis documental y la interpretación de información secundaria, lo que aporta una perspectiva contextual y complementaria al tratamiento numérico de los datos.

3.2 Área de estudio

Los cantones Alausí, Colta y Guamote conforman el área de estudio, todos ubicados en la provincia de Chimborazo.

- **Cantón Alausí:** Se localiza en las coordenadas -2.20128° de latitud y -78.84781° de longitud, con una extensión de $1\,288\text{ km}^2$ y un rango altitudinal que varía entre $1\,225$ y $3\,340$ msnm (GADMCA, 2020).
- **Cantón Colta:** Se encuentra en las coordenadas -1.70154° de latitud y -78.77273° de longitud, posee una superficie de 850 km^2 y un rango altitudinal de $2\,750$ a $4\,389$ msnm (GADMCC, 2014).
- **Cantón Guamote:** Está situado en las coordenadas -1.93333° de latitud y -78.7167° de longitud, con una extensión de $1\,216\text{ km}^2$ y un rango altitudinal comprendido entre $2\,042$ y $4\,558$ msnm (GADMCG, 2023).

Figura 1 Ubicación geográfica de los cantones de Alausí, Colta y Guamote



Nota. En el mapa se muestran los tres cantones que forman parte del área de estudio.

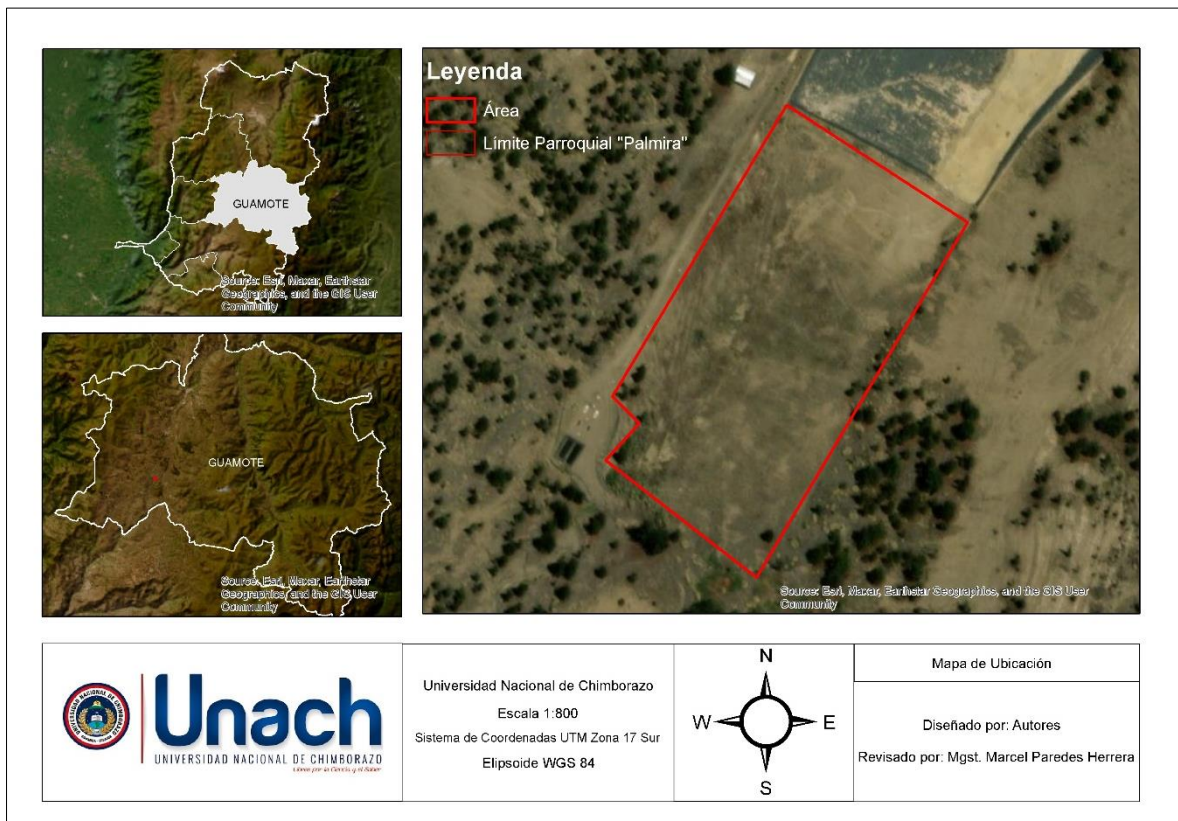
El sitio de estudio para la segunda fase del relleno sanitario se localiza en el sector de Galte Leime, a aproximadamente 43,0 km de Colta, 33,0 km de Alausí y 11,0 km de Guamote, con un área cercana a las 15,00 ha. La zona presenta una topografía irregular, con pendientes de alrededor de 30°, como se observa en la Figura 2. Asimismo, en la Tabla 1 se detallan las coordenadas UTM que delimitan el área de estudio, las cuales permiten ubicar con precisión el emplazamiento del proyecto.

Tabla 1 Coordenadas UTM del área de estudio

Coordenada UTM (Norte)	Coordenada UTM (Este)
9 773 025.6	749 810.0
9 772 889.2	750 134.6
9 772 441.8	749 872.6
9 772 558.7	749 557.9

Nota. La tabla presenta las coordenadas UTM del área de estudio, indicando los puntos precisos en el eje Norte y Este. Esta información permite ubicar geográficamente el terreno para el diseño y planificación del relleno sanitario.

Figura 2 Ubicación geográfica para la segunda fase del relleno sanitario



Nota. El mapa muestra la delimitación del área de estudio donde se realizará el diseño para la segunda fase del relleno sanitario.

3.3 Determinación de una línea base de interpretación existente para el relleno sanitario mediante información primaria y secundaria.

3.3.1 Obtención de datos

Mediante la metodología de obtención de datos proporcionada por la Mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote, se recopilaron y analizaron los datos obtenidos durante la fase inicial del relleno sanitario, incluyendo información sobre la operación, el manejo de residuos, los impactos ambientales y los aspectos técnicos, lo que facilitó la planificación de la fase dos del proyecto. Esta información permitió evaluar la efectividad de las estrategias implementadas, ajustar el diseño y las operaciones del relleno sanitario, con el fin de mejorar su eficiencia (Ministerio del Ambiente, 2013).

3.3.2 Método en zonas o de áreas

Para este método en zonas o de áreas propuesto por el Ministerio del Ambiente (2021) se empleó en zonas planas, donde los residuos sólidos urbanos (RSU) se depositaron sobre el suelo original, previamente elevado e impermeabilizado. Las celdas se construyeron con una pendiente suave en el talud, lo que evitó deslizamientos y aseguró una mayor estabilidad a medida que se elevaba el relleno. Asimismo, el material de cobertura se trasladó desde los

terrenos adyacentes para su aplicación sobre los residuos. Su implementación permitió garantizar la estabilidad del relleno, minimizar impactos ambientales y facilitar la gestión segura de los residuos.

3.3.3 Recolección de información

Se utilizó la metodología documental, la cual permitió obtener datos importantes a partir de documentos, estudios y registros oficiales (Cotrina, 2025). En este contexto, se recopilaron documentos proporcionados por la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y los Planes de Ordenamiento Territorial de los cantones involucrados.

La información recopilada permitió conocer aspectos como la población, las actividades económicas, el clima y la distribución de las rutas de recolección de residuos. Estos datos fueron importantes para caracterizar a la población y analizar la generación de residuos en los cantones estudiados.

En casos donde la información no estaba disponible, se aplicaron fórmulas establecidas para estimar los valores faltantes. Esta metodología resultó fundamental para la primera etapa del proyecto, ya que permitió determinar los aspectos demográficos y calcular la cantidad de residuos sólidos generados diariamente por la población de Alausí, Colta y Guamote, sirviendo como base para la planificación y diseño del sistema de gestión de residuos.

3.3.4 Método vaguada o depresión

Se aplicó el método de vaguada o depresión, como alternativa técnica para la disposición final de residuos sólidos. Este método se implementó aprovechando depresiones naturales del terreno, como vaguadas, barrancos o canteras, que servían como zonas de vertido. Las técnicas empleadas para la colocación y compactación de los residuos variaban según la geometría del sitio, las características del material de cobertura disponible, la hidrología y la geología del terreno, así como las instalaciones destinadas al control de gases, lixiviados y el grado de accesibilidad al lugar. Su aplicación permitió reducir los impactos ambientales, mejorando la estabilidad del relleno sanitario y garantizando una disposición más segura y controlada de los residuos (Ministerio del Ambiente, 2021).

3.3.5 Aplicación de la metodología en el software AutoCAD y GIS

Para el diseño del relleno sanitario mediante esta metodología, se consideraron los valores obtenidos para cada criterio, lo que permitió elaborar una descripción detallada de todo el proceso. Para ello, se tomaron en cuenta los requerimientos asociados con la población, las características de la zona destinada al relleno sanitario, así como la cantidad y calidad de los residuos generados, de manera que se garantizó la factibilidad técnica y ambiental del proyecto. Su aplicación permitió asegurar un diseño adecuado que cumpliera con los estándares de gestión integral de residuos y minimizar los impactos sobre el entorno (MAATE, 2025).

3.3.6 Observación directa

La metodología empleada para este análisis fue la observación directa (Gavidia, 2022) basado en obtener información detallada y precisa. Esta técnica permitió validar lo indispensable en el diseño del relleno, enfocándose en aspectos como la ubicación, el lugar y el espacio necesario para su implementación. Además, resultó fundamental para garantizar que el diseño propuesto fuera adecuado y funcional, adaptándose a las características específicas del entorno y las necesidades del proyecto.

3.3.7 Población de estudio

Se empleó la metodología cuantitativa basada en proyección demográfica, la cual permitió estimar la población futura de los cantones Alausí, Colta y Guamote a lo largo de los diez años de vigencia del estudio. En este procedimiento, se utilizó información proporcionada por la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote para obtener los datos de población actual. La proyección se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$pf = Po (1 + t)^n \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde:

Pf = Población futura

Po = Población actual

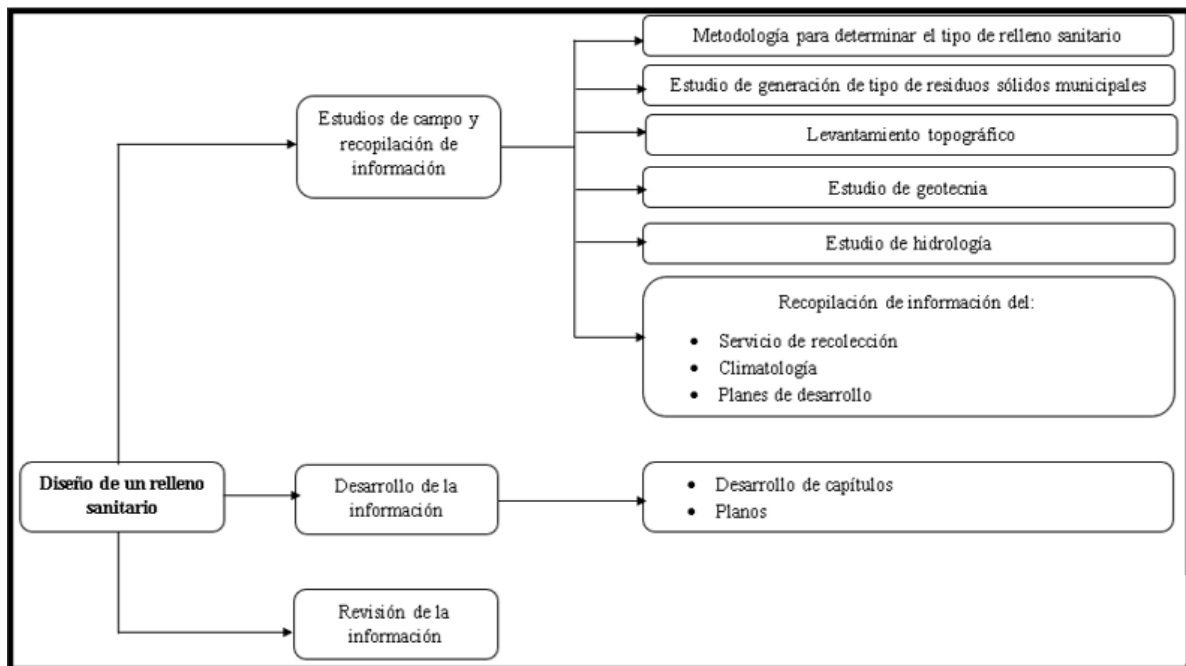
t = Tasa de crecimiento de población

n = (t_{final} - t_{inicial}) intervalo de años

t = tiempo variable en años

En cuanto a la primera etapa para diseñar un relleno sanitario, se realizaron estudios de generación de residuos sólidos municipales, levantamiento topográfico, estudios de geotecnia e hidrología, así como la recopilación de información del servicio de recolección, climatología y planes de desarrollo de los cantones involucrados. Posteriormente, la información recopilada se organizó, desarrolló en capítulos y planos para el diseño del relleno sanitario, y finalmente se revisó para garantizar su consistencia y precisión (Ministerio del Ambiente, 2020). Este proceso metodológico se ilustra de manera clara en la Figura 3.

Figura 3 Metodología para diseñar un relleno sanitario



Nota. La imagen muestra un diagrama de flujo sobre el diseño de un relleno sanitario, donde se detallan las etapas principales: estudios de campo y recopilación de información (topografía, geotecnia, hidrología, generación de residuos, climatología, entre otros), el desarrollo de la información con capítulos y planos, y finalmente la revisión de la información para consolidar el proyecto.

3.3.8 Tamaño de la muestra

Se empleó la metodología estadística basada en fórmulas de muestreo probabilístico, la cual permitió calcular la cantidad exacta de elementos que debe contener el subgrupo de población a estudiar. Para ello se utilizó la siguiente fórmula (Cortés et al., 2014):

$$n = \frac{No^2Z^2}{(N-1)E^2 + o^2Z^2} \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde:

N = Tamaño de la muestra

Z^2 = Nivel de confianza

N = Total de población

σ^2 = Desviación estándar

E^2 = Error permisible

3.3.9 Caracterización de la cantidad y el tipo de residuos sólidos generados en la mancomunidad Alausí, Colta y Guamote

- **Topografía general de la zona**

Para el análisis de la topografía general de la zona se empleó la metodología de levantamiento topográfico, propuesto por Pereda & Sánchez (2014) el cual permitió obtener

información detallada sobre la configuración del terreno, incluyendo pendientes, elevaciones y características fisiográficas.

En este sentido, se examinaron las mediciones y levantamientos del relieve con el fin de caracterizar las condiciones físicas del terreno, apoyar los posteriores estudios de planificación y diseño ambiental. De esta manera, se documentó que el cantón Alausí, ubicado en la parte céntrica del Ecuador sobre el Cinturón Montañoso de los Andes, presentaba pendientes moderadas en zonas de transición dominadas por valles con profunda incisión y lomas fuertemente pronunciadas, con alturas superiores a los 4 000 m, atravesadas por ríos que drenan hacia las cuencas del Pacífico y Atlántico.

Por su parte, el cantón Guamote se caracterizó por un relieve accidentado e irregular, donde predominaban elevaciones alteradas principalmente por páramos y sistemas de menor altitud de la cordillera central y occidental de los Andes, destacando la presencia del Chimborazo, la montaña más alta del Ecuador, lo cual resultó clave para planificar y ubicar intervenciones en función de la morfología del terreno.

El cantón Colta se ubica a una altitud aproximada de 3 212 msnm, por lo que es uno de los cantones más altos del país. Presenta un clima frío y seco, con temperaturas entre 10 y 13 °C y una temporada de lluvias que ocurre entre septiembre y enero. Esta información fue importante para entender las características geográficas del cantón y considerar la topografía al momento de planificar las intervenciones.

- **Producción per cápita de los residuos sólidos**

Se utilizó la metodología cuantitativa basada en el cálculo de residuos per cápita, la cual permitió determinar la cantidad diaria de residuos generados por la población de cada cantón (Rodríguez, 2022). En este contexto, se recopilieron datos proporcionados por los GAD cantonales, los cuales permitieron obtener la producción per cápita de residuos sólidos. Posteriormente, mediante la siguiente ecuación se calculó la cantidad total de residuos sólidos diarios.

$$DS_d = Pob \times PPC \quad (Ec.3)$$

Dónde:

DS_d = Cantidad de RSM producidos por día (kg/día)

Pob = Población total (habitantes)

PPC = Población per cápita (kg/hab-día)

- **Peso volumétrico**

Se utilizó la metodología experimental de medición de densidad, la cual permitió calcular la relación entre la masa de los residuos y el volumen que ocupan. En este procedimiento, se emplearon materiales como un recipiente cilíndrico y una balanza. Luego, se calculó el volumen mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen (V)} = 0.7854 \times d^2 \times h \quad (Ec.4)$$

Dónde:

V = volumen

d = diámetro

h = altura

Los residuos, previamente desechados de los cuartiles durante el proceso de caracterización, se llenaron completamente en el recipiente, evitando espacios libres. Posteriormente, se midió el peso neto de los residuos y se calculó la densidad mediante la siguiente ecuación (Elizondo & Pérez, 2024):

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Peso del residuos}}{\text{Volumen del recipiente}} \quad (\text{Ec.5})$$

- **Identificación y selección del tipo de relleno sanitario funcional para la disposición final de los residuos sólidos generados para la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote**

Se empleó la metodología de análisis comparativo de criterios técnicos menciona que “de la práctica del uso de la expresión *método comparativo* resultan dos entendimientos básicos: uno en sentido amplio y otro en sentido estricto. Para el primero sería más propio hablar de *comparación* o de *comparar*: el concepto de método debería estar reservado para aplicar de forma planeada la comparación, a fin de alcanzar el conocimiento científico” (Nohlen, 2013), la cual permitió determinar el método más adecuado para la disposición final de los residuos sólidos generados en la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote. En este procedimiento, se utilizó información previamente recopilada de la propia Mancomunidad, incluyendo estudios sobre las características del suelo, profundidad del nivel freático y estabilidad del terreno, datos esenciales para evaluar la viabilidad de los distintos tipos de relleno sanitario (Canelo, 2021).

Este análisis permitió seleccionar la alternativa más segura y eficiente para la gestión de los residuos sólidos, asegurando que las decisiones tomadas tuvieran en cuenta factores ambientales, geotécnicos y de ingeniería, sirviendo como base para el diseño y dimensionamiento del sistema de disposición final.

3.4 Planteamiento de un diseño de relleno sanitario mediante herramientas digitales

3.4.1 Construcción de un relleno sanitario

Para la construcción del relleno sanitario se empleó la metodología basada en la evaluación topográfica del terreno, lo que permitió definir el método de disposición de residuos según las pendientes y el relieve del área de estudio (Gutiérrez, 2012). Se identificaron las pendientes y el tipo de relieve, como se detalla en la Tabla 2:

Tabla 2 *Relación entre grados de pendiente y características del relieve*

Grados de pendiente	Relieve
----------------------------	----------------

0 – 5	Plano, plano cóncavo y ligeramente plano
5 – 15	Ondulado, inclinado
15 – 25	Fuertemente ondulado, fuertemente inclinado

Nota. La tabla muestra cómo la pendiente del terreno influye directamente en la forma del relieve. A medida que los grados de pendiente aumentan, el relieve pasa de ser plano o ligeramente inclinado a fuertemente ondulado e inclinado, indicando un mayor desnivel y complejidad del terreno.

Esto permitió seleccionar el método constructivo más adecuado y garantizar la estabilidad del relleno sanitario, así como la correcta operación y cobertura de los residuos, minimizando impactos ambientales y riesgos para la salud pública.

3.4.2 Trinchera o zanja

Se empleó la metodología de disposición por excavación lineal (Muñoz, 2024), la cual se basa en la excavación periódica de zanjas en terrenos planos, donde se depositan los residuos sólidos, se compactan con maquinaria pesada y se cubren con tierra excavada. Una vez que una zanja se llena, se procede a su cierre y se inicia la construcción de otra con un espacio de 2 a 3 metros entre cada una.

Como se detalla en la Tabla 3, los criterios técnicos para la selección del terreno en rellenos sanitarios con trincheras incluyen:

Tabla 3 *Criterios técnicos para la selección del terreno en rellenos sanitarios con trincheras*

Criterio	Descripción
Suelos planos o ligeramente planos	Limita la acumulación de aguas lluvia, facilita y economiza procesos de maquinaria previene riesgos de deslave
Estabilidad del suelo	El suelo debe tener la capacidad de mantener su estructura al exponerse a factores externos como altas cargas
Profundidad de la capa freática	La capa freática debe mantenerse a una profundidad de 5 metros de distancia de la base de trinchera
Tipo de suelo	Se debe considerar un tipo de suelo similar a la arcilla arenosa, para facilitar los procesos de excavación, evitando áreas rocosas.
Permeabilidad baja	Previene la filtración lixiviados a la capa freática del suelo.

Nota. La tabla presenta los criterios técnicos clave para seleccionar terrenos adecuados para rellenos sanitarios con trincheras. Se enfatiza la importancia de suelos planos, estables, con baja permeabilidad y profundidad adecuada de la capa freática, así como un tipo de suelo que facilite la excavación, garantizando seguridad y eficiencia en la construcción y operación del relleno.

3.4.3 Criterio área

Para la aplicación del método de área en rellenos sanitarios, se utilizó la metodología de disposición superficial (Gutiérrez, 2012). Esta metodología se aplica en espacios ya existentes que no tienen un uso previo definido, aprovechando depresiones naturales o artificiales del terreno para la disposición de los residuos. Como se detalla en la Tabla 4:

Tabla 4 *Criterios de área*

Criterio	Descripción
Depreciaciones naturales o artificiales	Este método consiste en aprovechar espacios ya existentes por lo cual parte de los aspectos se adaptan a los que presenta el predio.
Estabilidad del suelo	El suelo debe tener la capacidad de mantener su estructura al exponerse a factores externos como altas cargas.
Acceso a material de cobertura	Disponibilidad de fuentes cercanas para no encarecer los procesos de operación
Profundidad de la capa freática	La capa freática debe mantenerse a una profundidad de 5 metros de distancia de la base de trinchera.
Permeabilidad alta	Reduce la acumulación de lixiviados, facilita el drenaje natural evitando saturación del dren de lixiviados

Nota. La tabla muestra los principales criterios para seleccionar el área de un relleno sanitario, como la estabilidad del suelo, la disponibilidad de material de cobertura, la distancia con el nivel de agua subterránea y las características del terreno que faciliten el drenaje y eviten la acumulación de lixiviados.

3.4.4 Estudio de generación de tipo de residuos sólidos municipales

Se utilizó la metodología propuesta por Rodríguez et al. (2021), aplicada en estudios de gestión de residuos en América Latina. Este método permite estimar la cantidad de residuos generados por habitante al día, considerando factores como la población y las actividades económicas. Con esta información se determinaron los volúmenes diarios de residuos en cada cantón, lo que sirvió como base para el diseño de relleno sanitario y la estimación de su vida útil.

3.4.5 Dimensionamiento de los componentes necesarios para el diseño de un relleno sanitario

Se desarrolló aplicando la metodología de cálculo propuesta por Sandoval (2008), el cual se basó en la identificación de factores ambientales, como el clima y la precipitación, los cuales influyen directamente el diseño de componentes del relleno sanitario. Estos parámetros permitieron establecer los lineamientos técnicos para garantizar la eficiencia del diseño y la

sostenibilidad del sitio, como se detalla en la Tabla 5, donde se presentan las variables y ecuaciones empleadas en el cálculo del volumen y área del relleno sanitario.

Tabla 5 Variables y ecuaciones para el cálculo del volumen y área de un relleno sanitario

Volumen de los residuos sólidos y áreas del relleno sanitario		
Variable	Ecuación	Descripción
Producción diaria	$DS_d = P_{ob} \times ppc$	DS_d = Cantidad de RSM diarios (kg/día) P_{ob} = Población total (Hab) ppc = Producción per cápita (kg/Hab× día)
Volumen de residuos diarios	$V_d = \frac{DCp}{Drsm}$	V_d = Volumen de los residuos diarios $V_{\text{anual compactado}}$ = Volumen de RSM en un año (m ³ /año) DCp = Cantidad de RSM producidos (kg/día) $Drsm$ = Densidad de los RSM recién compactados (400 – 500 kg/m ³) y del relleno estabilizado (500 – 600 kg/m ³)
Volumen anual compactado	$V_{\text{anual compactado}} = V_d \times 365$	V_d = Volumen de los residuos diarios.
Volumen de material de cobertura	$m.c = V_{\text{anual compactado}} \times (0.20 \text{ ó } 0.25)$	$m.c$ = material de cobertura, puede tener de un valor de entre 20 – 25% del volumen de los desechos compactados.
Volumen anual estabilizado	$V_{\text{anual}} = \frac{DS_d \times 365}{600 \frac{kg}{m^3}}$	V_{anual} = Volumen de residuos anuales
Volumen del relleno sanitario	$V_{RS} = V_{\text{anual compactado}} + m.c$	V_{RS} = Volumen de relleno sanitario (m ³ /año)
Área requerida	$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}}$	V_{RS} = Volumen de relleno sanitario (m ³ /año) h_{RS} = Altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

Área total requerida	$A_T = F \times A_{RS}$	$A_T =$ Área total requerida (m ²) $F =$ Factor para áreas adicionales de 1.2 a 1.4 (20 – 40%)
-------------------------	-------------------------	--

Nota. La tabla presenta las variables y ecuaciones utilizadas para calcular el volumen y área de un relleno sanitario. Se detallan fórmulas para determinar la producción diaria y anual de residuos, el volumen de material de cobertura, el volumen estabilizado y el área necesaria del relleno, considerando factores de compactación, densidad de los residuos y expansión para áreas adicionales, asegurando un diseño adecuado y eficiente.

3.4.6 Cálculo de sistema de escurrimiento superficial

Para la estimación del caudal de lixiviados se utilizó el método suizo de cálculo de escurrimiento superficial, propuesto por Villafañe & García (2024). Este método permitió determinar el caudal medio de lixiviado percolado a través de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K \quad (\text{Ec.6})$$

Dónde:

Q = Caudal medio de lixiviado o liquido percolado (l/s)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

K = Depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son: entre 25 y 50% (k = 0.25 a 0.50)

3.4.7 Cálculo de drenaje

Se aplicó la metodología hidráulica para el diseño de drenes en rellenos sanitarios, (Gutiérrez, 2012), esto permitió estimar la velocidad de percolación y el dimensionamiento de la sección del dren a través de las siguientes ecuaciones:

$$V = 52.45 \times P \times Rh^{0.5} \times J^{0.54} \quad (\text{Ec.7})$$

$$RH = \frac{P \times D_s}{6 \times J^{1-P}} \quad (\text{Ec.8})$$

$$S = f_x \times \left(\frac{Q}{V}\right) \quad (\text{Ec.9})$$

Dónde:

V = Velocidad media percolación

P = Porosidad media angular

Rh = Radio hídrico del medio angular

J = Pendiente media del sistema de drenaje

Ds = Diámetro equivalente del medio granular

S = Sección del dren (m²)

F = Factor de seguridad de la sección del dren

Q = Caudal del percolado (m³/s)

Esto permitió estimar con mayor precisión la velocidad de percolación y el dimensionamiento de la sección de los drenes, lo que aseguró un diseño adecuado para la recolección y conducción de lixiviados en el relleno sanitario.

3.4.8 Cálculo de celda diaria

Para el diseño de la celda diaria se utilizó la metodología propuesta por Gutiérrez (2012), que establece alturas entre 1 y 1.5 m y anchos entre 3 y 6 m, valores que se tomaron como base para los cálculos y el dimensionamiento de las celdas de disposición de residuos. Esto permitió organizar de mejor manera la disposición de los residuos y facilitar la operación del relleno sanitario.

3.4.9 Área de celda

Para la determinación del área de la celda se aplicó la metodología de dimensionamiento de celdas en rellenos sanitarios, (Gutiérrez, 2012) el cálculo se efectuó mediante la siguiente ecuación:

$$A_c = \frac{V_c}{h_c} \quad (\text{Ec.10})$$

Dónde:

A_c = Área de celda (m²/día)

V_c = Volumen de la celda

h_c = Altura de la celda (m)

Esto fue fundamental para el diseño del relleno sanitario, ya que permitió planificar la distribución de los residuos sobre el terreno, optimizando el espacio y asegurando la estabilidad de las celdas.

3.4.10 Largo o avance de la celda

Para el cálculo del largo o avance de la celda se utilizó la metodología de diseño de celdas en rellenos sanitarios (Gutiérrez, 2012), el dimensionamiento se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A_c}{\alpha} \quad (\text{Ec.11})$$

Dónde:

A_c = Área de la celda

A = ancho requerido para actividades de descarga de los vehículos recolectores, los valores recomendados varían entre los 3 y 6 metros.

Esto permitió determinar el largo de avance de las celdas diarias, asegurando un espacio adecuado para la operación de los equipos y el acceso de los vehículos recolectores, lo que garantizó la eficiencia en las operaciones de disposición final.

3.4.11 Chimeneas

El diseño de chimeneas dentro del relleno sanitario facilitó la evacuación de los gases generados por la descomposición de los residuos, además, se colocaron sobre los canales del sistema de drenaje de lixiviados, permitiendo que parte de los gases se transfirieran al líquido, reduciendo así la cantidad emitida directamente a la atmósfera (Cajamarca & Velasco, 2024).

Los parámetros técnicos de diseño de las chimeneas se establecieron en función de las dimensiones y características del relleno, tal como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6 *Parámetros técnicos de las chimeneas en rellenos sanitarios*

Parámetro	Descripción
Ancho de la chimenea	0.6 a 1.2 metros
Distancias entre chimeneas	De 25 a 30 m en rellenos manuales que tienen celdas de 8 m
	De 20 a 25 m en rellenos compactados donde el cuerpo de basura tiene menos de 15 m
	De 15 a 20 m en rellenos compactados donde el cuerpo de basura es mayor que 15 m
Profundidad de chimenea	0.65 m

Nota. La tabla indica los parámetros técnicos para la construcción de chimeneas en rellenos sanitarios, especificando sus dimensiones y distancias según el tipo de relleno y altura del cuerpo de basura, con el objetivo de garantizar una adecuada ventilación y manejo de gases dentro del relleno.

3.4.12 Base del relleno sanitario

Se utilizó la metodología de construcción de bases en rellenos sanitarios, aplicado por Ozbay et al. (2021), en donde se consideraron distintos parámetros técnicos que conformaron una capa aislante compuesta por materiales de protección, drenaje y barrera geológica. Estos parámetros y espesores se establecieron conforme a lo presentado en la Tabla 7:

Tabla 7 *Parámetros y espesores de las capas en la base del relleno sanitario*

Características	Espesor
Basura	En capas de 30 cm + 25 – 30 % de tierra
Capa de protección	Capa de basura degradada: >2 m
Capa de drenaje	0.3 – 0.5 m
Capa de plástico	> 2 mm

Capa mineral	60 – 75 cm
Barrera geológica	> 3 m

Nota. La tabla describe los parámetros y espesores recomendados para las distintas capas en la base de un relleno sanitario. Cada capa, desde la basura y tierra hasta la barrera geológica, tiene un espesor específico que asegura estabilidad, protección ambiental y adecuado manejo de lixiviados.

3.5 Proyección del análisis de precios unitarios para la construcción del relleno sanitario

3.5.1 Precios Unitarios (PUNIS)

- **Procesos para la creación de un proyecto**

El proceso de creación de un proyecto en el sistema PUNIS se desarrolló mediante una secuencia estructurada de registro de información técnica y administrativa dentro del entorno programado en Excel. Inicialmente se definieron los datos generales del proyecto, incluyendo nombre, ubicación, identificación y características básicas, los cuales sirvieron como parámetros de referencia para el resto de los cálculos. Primero se configuraron las variables básicas del sistema, como las unidades de medida y algunos parámetros de cálculo, para ajustar el software a las características del proyecto. Además, se organizó la información en categorías para mantener los datos ordenados y evitar errores, repeticiones o pérdida de información.

En consecuencia, la metodología aplicada permitió construir una base de datos inicial sólida y coherente, asegurando que todos los cálculos posteriores se generaran a partir de información previamente validada y correctamente definida (Moncayo, 2019).

- **Gestión de proyectos en PUNIS**

La gestión de proyectos dentro del sistema se llevó a cabo mediante herramientas automatizadas diseñadas para administrar, modificar, consultar y actualizar la información almacenada en cada registro. El sistema permitió manipular datos previamente ingresados, realizar ajustes técnicos y verificar resultados a través de comandos programados que ejecutaron funciones internas específicas. Estas funciones incluyeron validaciones automáticas, controles de consistencia y restricciones de edición destinadas a proteger la integridad de las fórmulas y estructuras del sistema (Moncayo, 2019).

También se aplicaron procesos de verificación para revisar la información antes de realizar los cálculos, lo que permitió obtener resultados confiables. Este procedimiento ayudó a mantener la información organizada, facilitar el control del proyecto y reducir errores durante la elaboración del presupuesto.

- **Ingreso y manejo de listas**

El ingreso y manejo de listas se realizó mediante plantillas estructuradas diseñadas para registrar materiales, equipos, insumos y demás componentes necesarios para el análisis de precios unitarios. Estas plantillas se organizaron en tablas programadas que permitieron clasificar los elementos de acuerdo con su tipo, función y características técnicas. El sistema incorporó mecanismos automatizados de búsqueda, selección y cálculo que facilitaron la localización de datos y su aplicación directa en los análisis correspondientes (Moncayo, 2019).

Durante el proceso, la información ingresada se procesó mediante fórmulas y macros del sistema, lo que permitió obtener resultados rápidos y uniformes. Esto redujo el tiempo de trabajo y evitó errores en los cálculos. Además, se organizaron y estandarizaron los datos para poder reutilizarlos en otros proyectos sin volver a ingresarlos. En consecuencia, la metodología aplicada tuvo como finalidad optimizar el manejo de información técnica, mejorar la eficiencia operativa y garantizar la consistencia de los resultados obtenidos.

- **Mano de obra**

El proceso correspondiente a la mano de obra se desarrolló mediante el registro sistemático y detallado de información relacionada con categorías laborales, rendimientos de trabajo, salarios, cargas sociales y factores adicionales que inciden en el costo del recurso humano. Estos datos se ingresaron en módulos del sistema que procesan la información automáticamente y generan los valores unitarios de cada actividad. Con los parámetros registrados, el sistema calculó los costos de mano de obra considerando el tiempo, la productividad y la remuneración, ajustando los resultados a las condiciones reales del proyecto.

Esta metodología permitió incorporar los costos laborales al análisis general del proyecto de manera inmediata, precisa y coherente con los demás componentes presupuestarios. El procedimiento se implementó con el objetivo de optimizar el cálculo de costos de personal, mejorar la confiabilidad de los análisis económicos y asegurar la consistencia de los resultados finales (Moncayo, 2019).

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Resultados

4.1.1 Línea base para el relleno sanitario mediante información primaria y secundaria

- Aspectos demográficos

Dentro de los aspectos demográficos, la población de los tres cantones durante el año 2020 fue, según los PDOT de 45 054 habitantes en Alausí, 44 838 habitantes en Colta y 58 291 habitantes en Guamote.

En cuanto a la proyección de la población, a partir de los valores obtenidos para cada cantón se analizó la tasa de crecimiento poblacional con el fin de estimar la población futura. Por medio de los cálculos realizados, se determinó que la población proyectada aumentaría gradualmente, pasando de una población inicial de 31 253 habitantes a una población final de 38 396 habitantes en un período de 10 años.

La tasa de crecimiento anual utilizada para este cálculo fue del 1.33 %, aplicándose de manera uniforme a los cantones de Alausí, Colta y Guamote, tal como se presenta en la Tabla 8.

$$Pf = Pi * (1 + r)^1 \quad (\text{Ec.12})$$

Los resultados se muestran a continuación en base a su proyección.

Tabla 8 *Proyección de la población de Alausí, Colta y Guamote*

	Cantón Alausí	Cantón Colta	Cantón Guamote	Total
Población inicial	44 089	44 971	45 153	134 213
Población final	46 336	44 838	58 291	149 465
Tasa de crecimiento	1.33%	1.33%	1.33%	
Años	10	10	10	

Nota. La tabla indica la proyección de población de los cantones Alausí, Colta y Guamote, mostrando el crecimiento esperado en un período de 10 años.

A partir de esta base, se realizó una proyección detallada de 15 años (2020–2035) para evaluar la demanda futura del relleno sanitario. Como se observa en la Tabla 9, la población de los cantones aumentó gradualmente, lo que refleja un crecimiento sostenido en cada cantón de la mancomunidad.

Tabla 9 Proyección poblacional de los cantones Colta, Alausí y Guamote (2020–2035)

Población Proyectada					
Año	n	Cantón Colta	Cantón Alausí	Cantón Guamote	Total
2020	10	46 336	44 838	58 291	149 465
2021	11	46 994	45 421	59 130	151 545
2022	12	47 661	46 011	59 982	153 654
2023	13	48 338	46 610	60 845	155 793
2024	14	49 024	47 216	61 722	157 962
2025	15	49 720	47 830	62 610	160 160
2026	16	50 426	48 451	63 512	162 389
2027	17	51 142	49 081	64 426	164 649
2028	18	51 868	49 719	65 354	166 941
2029	19	52 605	50 366	66 295	169 266
2030	20	53 352	51 020	67 250	171 622
2031	21	54 110	51 684	68 218	174 012
2032	22	54 878	52 355	69 200	176 433
2033	23	55 657	53 036	70 197	178 890
2034	24	56 447	53 726	71 208	181 381
2035	25	57 249	54 424	72 233	183 906

Nota. La tabla indica la proyección anual de población para los cantones Colta, Alausí y Guamote entre 2020 y 2035, mostrando un aumento gradual en cada cantón y en el total poblacional durante este período.

Estos resultados permitieron determinar la población de referencia para el diseño y dimensionamiento del relleno sanitario, asegurando que su capacidad de almacenamiento fuera adecuada para la demanda proyectada durante su vida útil.

4.1.2 Actividades económicas

Las actividades económicas desarrolladas en los cantones Alausí, Colta y Guamote se concentraron en los sectores primario, secundario y terciario, abarcando aproximadamente el 62 % de la Población Económicamente Activa (PEA).

Según los datos recopilados presentados en las Tablas 10, 11 y 12, se evidenció que la mayoría de la población se dedicaba a actividades del sector primario, principalmente agricultura, silvicultura, caza, pesca y ganadería, representando un promedio del 78.81 % en los tres cantones. Específicamente en Alausí, 12 170 personas contando con el 70.9 % participaron en estas actividades; en Colta, 16 650 personas con el 79.74 % y en Guamote, 13 579 personas con el 85.8 %.

Por otro lado, los sectores con menor participación correspondieron a actividades de educación y salud, registrando los porcentajes más bajos: en promedio, solo el 0.6 % de la

población se dedicaba a educación y el 1.13 % a actividades de salud humana. Estas cifras evidenciaron que la economía de la mancomunidad estaba fuertemente orientada al sector primario, mientras que los sectores secundario y terciario tenían una participación menor en el empleo local.

Tabla 10 *Actividad económica de Alausí*

Actividad	Población	%
Agricultura, silvicultura, caza, pesca y ganadería	12 170	70.90 %
Comercio al por mayor y menor	773	4.45 %
Sector público	364	2.10 %
Transporte y almacenamiento	273	1.57 %
Actividades de salud humana	196	1.13 %
Explotación de minas y canteras	17	0.10 %

Nota. La tabla indica la distribución de la población de Alausí según los diferentes sectores de actividad económica.

Tabla 11 *Actividad económica de Colta*

Actividad	Población	%
Agricultura, silvicultura, caza, pesca y ganadería	16 650	79.74 %
Educación	1 608	7.71 %
Comercio al por mayor y menor	1 337	6.41 %
Construcción	506	2.43 %
Industrias manufactureras	218	1.04 %
Otras actividades	254	1.22 %

Nota. La tabla indica la distribución de la población de Colta según los diferentes sectores de actividad económica.

Tabla 12 *Actividad económica de Guamote*

Actividad	Población	%
Agricultura, silvicultura, caza, pesca y ganadería	13 579	85.8 %
Comercio al por mayor y menor	375	2.4 %
Construcción	348	2.2 %
Industrias manufactureras	235	1.5 %
Educación	135	0.9 %
Otras actividades	1 147	7.2 %

Nota. La tabla indica la distribución de la población de Guamote según los diferentes sectores de actividad económica.

4.1.3 Cantidad de producción de residuos sólidos

Con base en la información disponible, el horario de recolección se distribuía todos los días de la semana, excepto los domingos, y se limitaba únicamente al área urbana, sin cubrir el sector rural. El servicio operaba de 7:00 a.m. a 16:00 p.m., siguiendo la ruta establecida para la zona urbana. Durante el período analizado, no se prestó servicio de recolección en ninguna parroquia rural, y la frecuencia de recolección se mantuvo diaria únicamente dentro del área urbana.

4.1.4 Producción Per – Cápita

Los resultados obtenidos a partir del PDOT permitieron calcular la producción diaria de residuos sólidos por habitante en los cantones de Colta, Alausí y Guamote, como se muestra en la Tabla 13. Se observó que la generación de residuos por persona varía según la actividad, siendo mayor en el comercio que en las viviendas. Además, el cantón Guamote presentó el valor más alto, con 0.76 kg/hab×día. En promedio, los tres cantones registraron una producción de 0.7 kg/hab×día. evidenciándose también un aumento progresivo en la generación de residuos tanto en el área urbana como rural.

En el caso de la zona urbana, que contaba con una cobertura del 71 % de los servicios de recolección y una menor población, se generaba una cantidad relativamente alta de residuos por habitante. Por el contrario, en la zona rural, con una cobertura del 29 %, se registró una población mayor, pero con una generación de residuos menor en promedio.

Tabla 13 Producción per cápita

Producción per cápita		
Cantón Colta Urbano		
Per cápita comercio	0.91	kg/hab×día
Per cápita vivienda	0.46	kg/hab×día
Per cápita promedio	0.61	kg/hab×día
Cantón Alausí Urbano		
Per cápita comercio	0.91	kg/hab×día
Per cápita vivienda	0.65	kg/hab×día
Per cápita promedio	0.73	kg/hab×día
Cantón Guamote Urbano		
Per cápita comercio	1.39	kg/hab×día
Per cápita vivienda	0.45	kg/hab×día
Per cápita promedio	0.76	kg/hab×día

Nota. La tabla muestra la producción diaria de residuos sólidos por habitante en los cantones de Colta, Alausí y Guamote, donde la generación per cápita varía según el tipo de actividad, siendo generalmente mayor en el comercio que en las viviendas, y que Guamote presenta el promedio más alto de producción diaria por habitante. Estos resultados permitieron identificar la distribución de la generación de residuos y las diferencias entre áreas urbanas

y rurales, lo cual es relevante para el diseño y planificación del sistema de recolección y disposición final de los residuos sólidos.

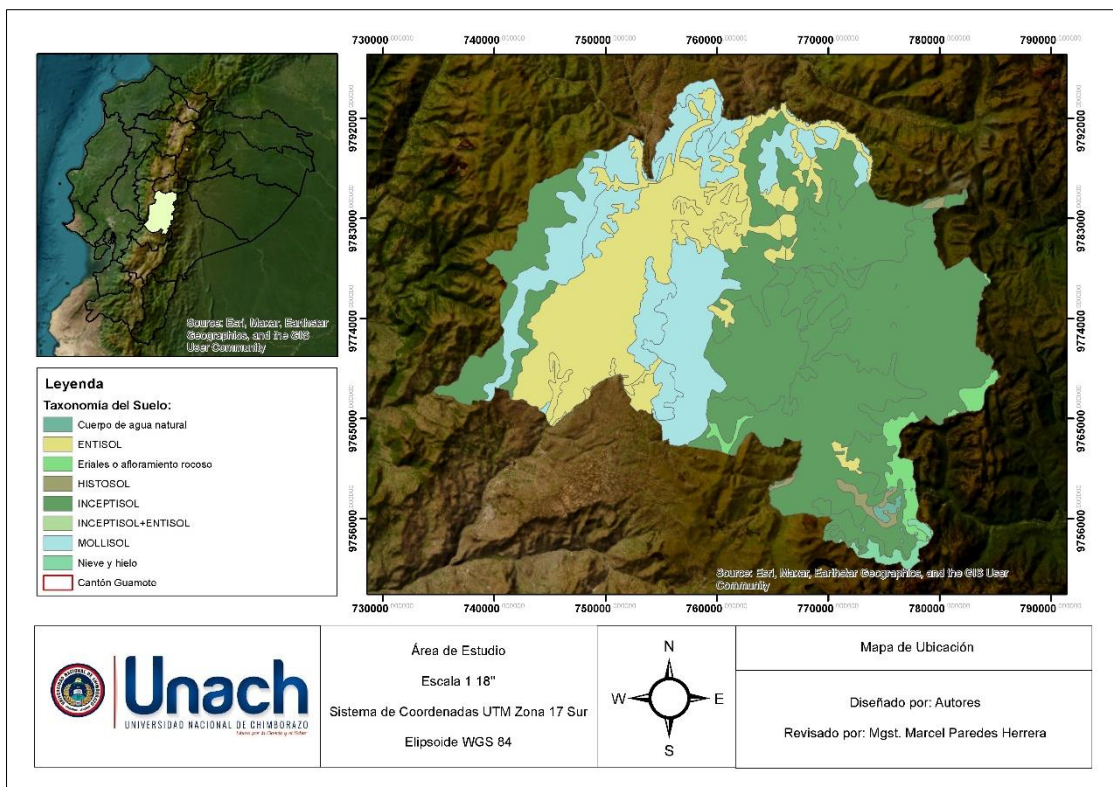
4.1.5 Taxonomía del suelo del cantón Guamote

Según el mapa de suelos del cantón Guamote, la taxonomía mostró una notable diversidad edáfica, determinada por la topografía y las condiciones ambientales de la zona, tal como se aprecia en la Figura 4.

En la zona se identificaron diferentes tipos de suelos. Predominan los Mollisoles, que se caracterizan por ser fértiles y tener alto contenido de materia orgánica. También se encontraron Inceptisoles y algunos Entisoles, que son suelos más jóvenes y con menor desarrollo, comunes en áreas con pendiente. En ciertos sectores aparecen Histosoles, asociados a zonas húmedas con acumulación de materia orgánica.

Además, en las partes más altas se observaron áreas con rocas expuestas y poco suelo, lo que limita el uso agrícola. También se identificaron cuerpos de agua y zonas con nieve o hielo en las cumbres, consideradas ecosistemas frágiles.

Figura 4 Taxonomía del suelo del cantón Guamote



Nota. El mapa muestra la taxonomía del suelo del cantón Guamote indicando la distribución espacial de los diferentes tipos de suelos permitiendo identificar áreas con distintas características de fertilidad, drenaje y uso potencial.

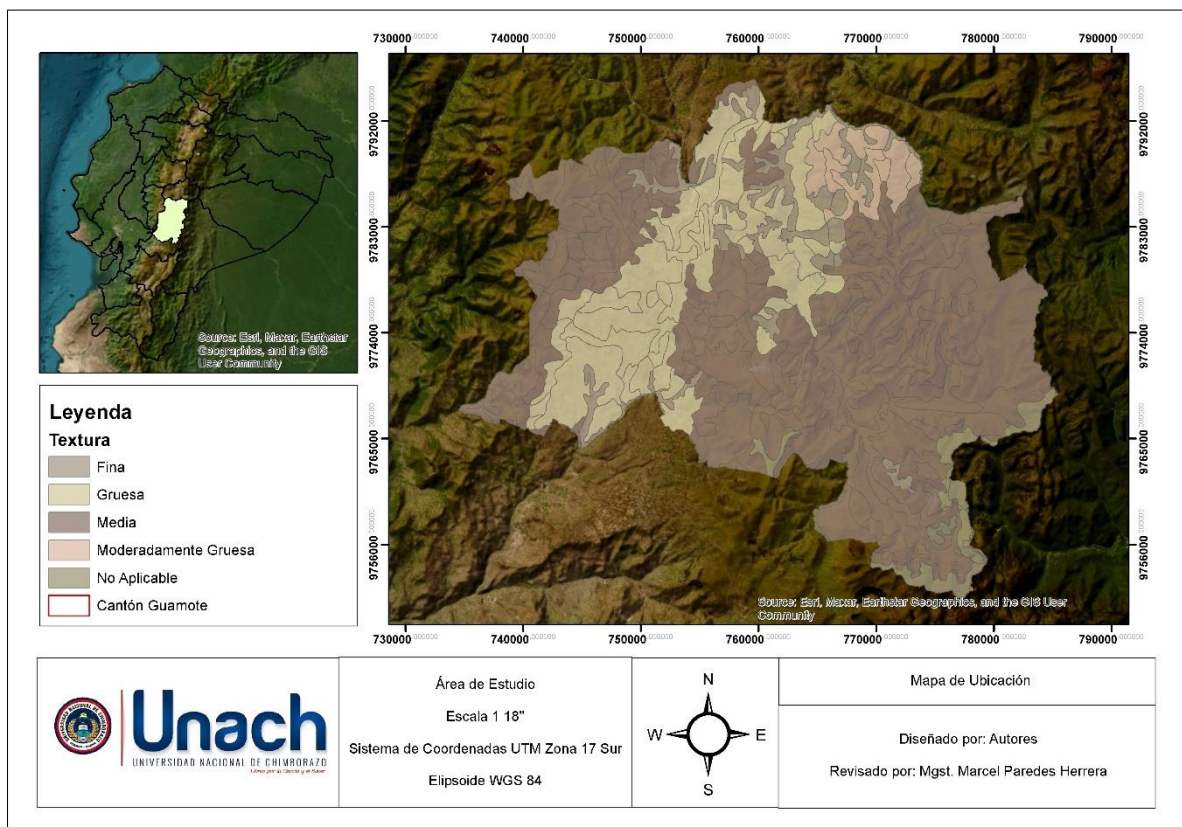
4.1.6 Textura del suelo del cantón Guamote

En el área donde se ubicó el relleno sanitario, se identificó una variabilidad textural representada por suelos de textura fina, media, moderadamente gruesa y gruesa, tal como se muestra en la Figura 5.

Se observó que en gran parte del cantón predominan suelos de textura media y fina, lo que permite retener mejor el agua y los nutrientes, favoreciendo las actividades agrícolas. Sin embargo, también existen zonas con suelos más arenosos y de textura gruesa, que retienen menos agua y pueden presentar mayores limitaciones para algunos cultivos y más riesgo de erosión.

La cartografía permitió distinguir zonas heterogéneas dentro del cantón, evidenciando que la textura del suelo no fue uniforme, sino que respondió a la geología, topografía y procesos de formación pedológica propios del territorio.

Figura 5 Textura del suelo del cantón Guamote



Nota. El mapa refleja variaciones en la composición del suelo, con distintas capacidades de filtración y retención de agua permitiendo planificar el manejo del suelo.

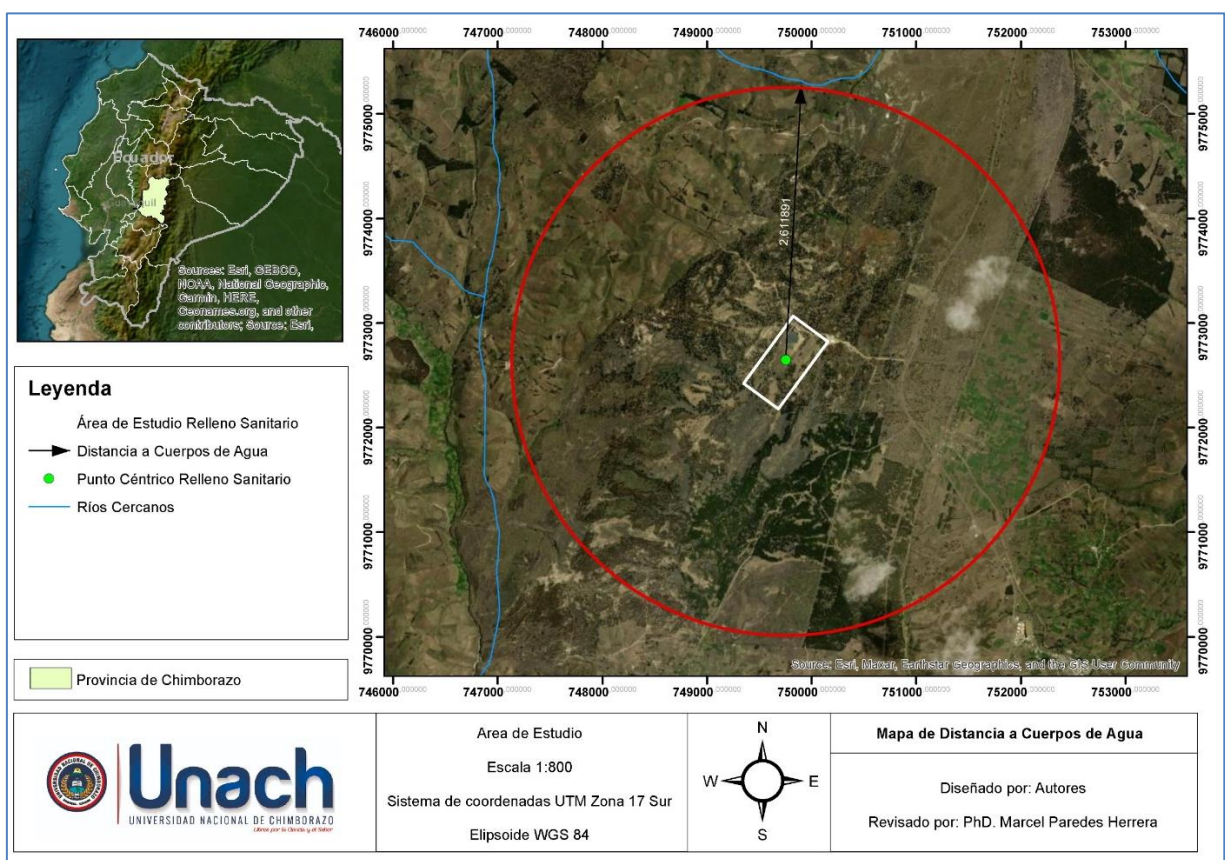
4.1.7 Hidrología en el área del relleno sanitario

El mapa representa la relación entre el área de estudio del relleno sanitario y los cuerpos de agua cercanos. Como se observa en la Figura 6, el punto central del relleno sanitario se

encuentra a una distancia de 2.61 km del cuerpo de agua más próximo. Esta distancia se consideró un factor relevante, ya que permitió valorar el riesgo potencial de afectación hídrica por filtraciones o descargas asociadas a la operación del sitio.

Se determinó que cerca del área del relleno sanitario no existen cuerpos de agua que puedan utilizarse durante su operación, por lo que es necesario planificar alternativas para el manejo del agua. Además, el área de estudio tiene un perímetro definido donde se ubica el relleno, mientras que los ríos más cercanos se encuentran principalmente hacia el norte y el oeste. Aunque están relativamente cerca, la distancia reduce el riesgo de contaminación directa. Sin embargo, es necesario mantener un monitoreo para evitar posibles afectaciones a los recursos hídricos.

Figura 6 Hidrología en el área del relleno sanitario



Nota. El mapa muestra la ubicación del relleno sanitario y su relación con los cuerpos de agua cercanos, destacando la inexistencia de fuentes de agua.

4.1.8 Estabilidad del suelo

Dado que no se contaron con estudios específicos por parte de la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote, no fue posible determinar formalmente la estabilidad del suelo. Sin embargo, con base en estudios previos, se observó que el suelo de la zona era franco-arenoso, con presencia de limo y arcilla, lo que lo convirtió en una zona estable y adecuada para la construcción y operación del relleno sanitario.

4.1.9 Tipo de relleno sanitario

Con base en la investigación realizada y los parámetros establecidos para la identificación del estado de la zona, se determinó el tipo de relleno sanitario más apropiado para la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14 *Determinación del tipo de relleno sanitario para la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote 2025.*

Criterio	Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote	Tipo de Relleno Sanitario		
		Manual	Semi Mecanizado	Mecanizado
Tipo de Mancomunidad	Mancomunidad mediana		X	
Población	160 160 habitantes		X	
Producción de residuos	20 ton/día		X	

Nota. La tabla indica el tipo de relleno sanitario más adecuado para la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote, considerando criterios como el tamaño, la población y la producción diaria de residuos.

Se observó que, considerando la cantidad de residuos generados (20 t/día) y la población de la mancomunidad (160 160 habitantes), no era factible optar por un relleno sanitario manual ni por uno mecanizado.

En el caso del relleno manual, los límites de población y generación de residuos eran mucho menores a los valores registrados en la mancomunidad. Por otro lado, el relleno mecanizado está diseñado para poblaciones y volúmenes de residuos más altos, por lo que tampoco resultaba adecuado. Por esta razón, se optó por un relleno sanitario semi-mecanizado, ya que se ajusta mejor a la cantidad de habitantes y residuos generados, permitiendo un manejo más adecuado de los desechos en la Mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote.

4.2 Diseño del relleno sanitario

4.2.1 Método de construcción para un relleno sanitario

Con respecto al método de construcción, se consideraron las características principales del predio, las cuales fueron determinantes para seleccionar el método más adecuado. En base a los criterios previamente revisados, se eligió la opción que cumplía con la mayor cantidad de requisitos. Como se puede observar en la Tabla 15:

Tabla 15 *Criterios para la selección del método de construcción del relleno sanitario en la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote*

Criterio	Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote	Método de construcción		
		Trinchera	Área	Combinado

Inclinación del suelo	Suelo plano, poco inclinado		X
Profundidad de la capa freática	Según el estudio previo la zona presenta con una capa freática a un tipo de profundidad considerable		X
Tipo de suelo	Franco – arenoso	X	X
Permeabilidad del suelo	Moderada		X
Depresiones naturales	Inexistentes	X	
Espacio del predio	Limitados		X

Nota. La tabla presenta los criterios utilizados para seleccionar el método de construcción del relleno sanitario en la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote.

Con base en la información obtenida, se determinó que el método de construcción más adecuado para el relleno sanitario es el método combinado, ya que se ajusta mejor a las condiciones del sitio. El área disponible es limitada y presenta cierta pendiente, por lo que fue necesario aplicar un método que permita mantener la estabilidad del relleno.

Además, se identificó que la capa freática se encuentra a una profundidad considerable, lo que influyó en el diseño de la base y en la incorporación de sistemas de drenaje y protección. El suelo del lugar es de tipo franco-arenoso, lo que facilita las labores de excavación y compactación. Por lo tanto, estas condiciones confirmaron que el método combinado era la opción más adecuada para la construcción del relleno sanitario en la Mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote.

4.2.2 Drenaje

Para el tipo de drenaje, existió una amplia clasificación dependiendo de la localización. En el caso de la Mancomunidad Alausí, Colta y Guamote, se determinó que la zona contaba con un drenaje adecuado, según el estudio previo. Esto indicó que el área de construcción presentaba una eliminación moderada de agua, lo que implicaba que el líquido no se infiltraba de manera inmediata. Como resultado, algunos horizontes del suelo permanecieron saturados durante varios días.

4.2.3 Dimensión de los componentes

Por medio de los cálculos realizados, se completó la tabla de volúmenes y áreas del relleno sanitario presentado. Primero, se calculó la producción diaria de residuos sólidos, obteniéndose un valor de 22 422.4 kg/día, a partir de la población de 160 160 habitantes y un factor de generación de 0.60 kg/hab×día.

Posteriormente, se determinó el volumen de residuos diarios compactados, resultando en 44.36 m³/día, considerando una densidad de compactación de 500 kg/m³. Con base en este valor, se calculó el volumen acumulado anual, obteniéndose 16 366.6 m³

A continuación, se calculó el volumen de material de cobertura, que representó el 20 % del volumen anual, resultando en 3 273.32 m³. Asimismo, se determinó el volumen anual estabilizado, obteniéndose 13 640.29 m³ considerando una densidad de 600 kg/m³.

Finalmente, se calculó el volumen total del relleno sanitario, que incluyó el volumen anual compactado más el material de cobertura, dando un total de 16 366.6 m³/año. A partir de este volumen, se determinó el área requerida, resultando en 2 182.21 m² y el área total requerida, considerando un factor de expansión de 1.4, obteniéndose 3 055.098 m².

- **Cálculos de la producción diaria**

$$DS_d = 160\ 160 \text{ hab} \times 0.14 \frac{\text{kg}}{\text{hab} \times \text{día}} \quad (\text{Ec.13})$$

$$DS_d = 22\ 422.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \quad (\text{Ec.14})$$

- **Volumen de residuos diarios compactados**

$$V_d = \frac{22\ 422.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \quad (\text{Ec.15})$$

$$V_d = 44.84 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \quad (\text{Ec.16})$$

- **Volumen acumulado**

$$V_{\text{anual compactado}} = 44.84 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 365 \text{ día} \quad (\text{Ec.17})$$

$$V_{\text{anual compactado}} = 16\ 366.6 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.18})$$

- **Volumen de material de cobertura**

$$m. c = 16\ 366.6 \text{ m}^3 \times 0.20 \quad (\text{Ec.19})$$

$$m. c = 3\ 273.32 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.20})$$

- **Volumen anual estabilizado**

$$V_{\text{anual}} = \frac{22\ 422.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 365 \text{ día}}{600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \quad (\text{Ec.21})$$

$$V_{\text{anual}} = 13\,640.29 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.22})$$

- **Volumen del relleno sanitario**

$$V_{\text{RS}} = 3\,273.32 \text{ m}^3 + 16\,366.6 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.23})$$

$$V_{\text{RS}} = 19\,639.92 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.24})$$

- **Área requerida**

$$A_{\text{RS}} = \frac{19\,639.92 \text{ m}^3}{9 \text{ m}} \quad (\text{Ec.25})$$

$$A_{\text{RS}} = 2\,182.21 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec.26})$$

- **Área total requerida**

$$A_{\text{T}} = 1.4 \times 2\,182.21 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 27})$$

$$A_{\text{T}} = 3\,055.098 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 28})$$

- **Área total requerida para los 15 años de operación**

$$A_{\text{T } 15 \text{ años}} = 3055.98 \frac{\text{m}^2}{\text{año}} \times 15 \text{ años} = 45\,826.48 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 29})$$

De esta manera, a partir de la aplicación de las ecuaciones previamente establecidas, se determinó que el requerimiento volumétrico del relleno sanitario asciende a 19 639.92 m³/año, lo que implica la necesidad de destinar un área de construcción anual de 3 055.10 m².

Con base en estos valores anuales, se proyectó la capacidad de almacenamiento para una vida útil estimada de 15 años, determinándose un volumen total de excavación de 294 598.8 m³ y un área total de predio requerida de 45 826.5 m² para el período considerado.

4.2.4 Dimensiones de la trinchera de drenaje

Con base en la información obtenida en la Fase 1, se determinó que las dimensiones adecuadas para la trinchera fueron de largo 122 m, ancho 20 m y profundidad 9.30 m. Estas medidas se definieron considerando que los vehículos que ingresan al relleno sanitario pudieran maniobrar de manera sencilla, facilitando el giro y la colocación de los desechos durante las operaciones de disposición.

- **Cálculo de drenaje**

Por medio de las ecuaciones aplicadas a la ubicación del relleno sanitario, se determinó inicialmente el radio hidráulico del medio granular, obteniéndose un valor de 2.89 cm.

Posteriormente, se calculó la velocidad media de percolación, resultando en 5.88 cm/s. Con estos valores, se obtuvo la sección del drenaje, que fue de 0.000122 m².

- **Radio hidráulico del medio granular**

$$R_h = \frac{2.457}{6 \times 0.03^{1-0.45}} \quad (\text{Ec. 30})$$

$$R_h = 2.89 \text{ cm} \quad (\text{Ec. 31})$$

- **Velocidad media de percolación**

$$V = 52.45 \times 0.45 \times 2.89^{0.5} \times 0.03^{0.54} \quad (\text{Ec. 32})$$

$$V = 5.88 \text{ cm/s} \quad (\text{Ec. 33})$$

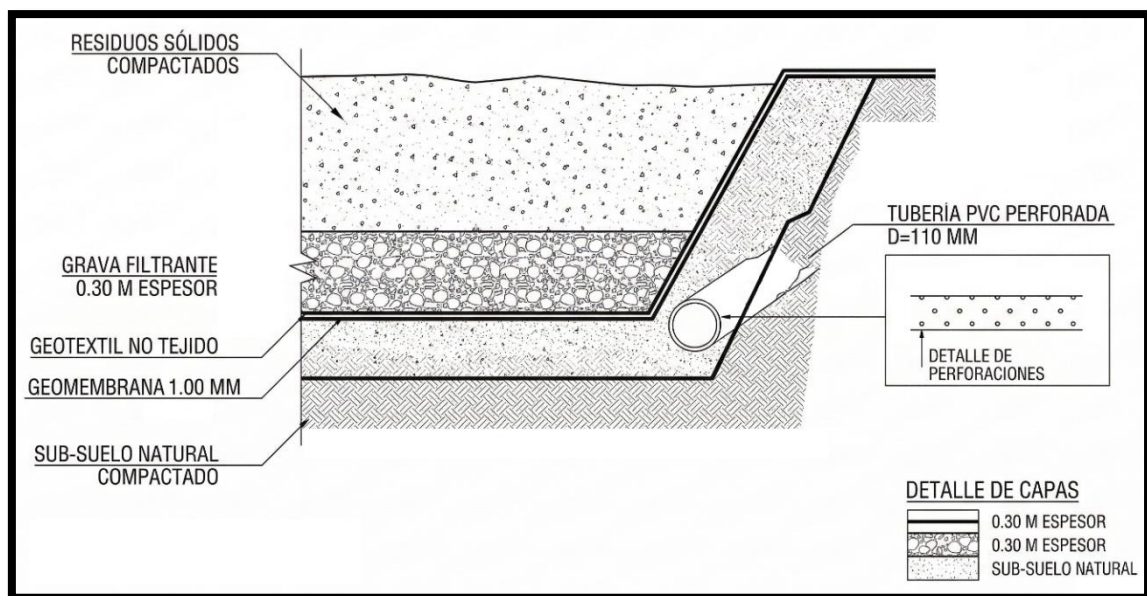
- **Sección del drenaje**

$$S' = 2 \times \left(\frac{0.000036}{0.0588} \right) \quad (\text{Ec. 34})$$

$$S' = 0.00122 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 35})$$

A partir de estos cálculos, se determinó que el diámetro requerido para las tuberías de los drenes de percolado era de 112.48 mm. No obstante, considerando la información bibliográfica sobre los diámetros comerciales de tuberías, los cuales varían entre 100 y 250 mm, se optó por un diámetro de 200 mm. Esta elección permitió garantizar una evacuación más eficiente de los lixiviados, asegurando el correcto funcionamiento del sistema de drenaje durante la operación del relleno sanitario.

Figura 7 Sección transversal del sistema de impermeabilización basal y drenaje



Nota. El esquema técnico detalla la configuración de la barrera de protección basal. Se observa la secuenciación de capas sobre el suelo natural: Geomembrana de 1.00 mm (barrera principal), Geotextil No Tejido (capa de protección), y Grava Filtrante (medio de drenaje). El sistema confina la tubería PVC perforada de 110 mm para la evacuación del lixiviado.

- **Cálculo de celda diaria**

Con base en los cálculos previos para el diseño de la trinchera, se estableció que las celdas diarias debían tener un ancho de 5 m y una altura de 1.5 m. A partir de estos valores, se determinó el área de cada celda, obteniéndose 35.87 m² y el largo o avance de la celda, que resultó ser 7.17 m.

- **Área de celda**

$$A_c = \frac{53.81}{1.5} \quad (\text{Ec. 36})$$

$$A_c = 35.87 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 37})$$

- **Largo o avance de la celda**

$$L = \frac{35.87}{5} \quad (\text{Ec. 38})$$

$$L = 7.17 \text{ m} \quad (\text{Ec. 39})$$

Por medio de estas ecuaciones, se definieron las dimensiones que debía tener la celda diaria, asegurando que fueran coherentes con el volumen proyectado para cada año. La Tabla 16 presenta la proyección de volúmenes y dimensiones del relleno sanitario para el período 2022-2035, mostrando un aumento gradual en el volumen diario, área y largo de la celda, lo que refleja la necesidad de gestionar un mayor flujo de residuos a lo largo de los años.

Tabla 16 *Proyección de volúmenes y dimensiones del relleno sanitario 2022 - 2036*

Año	V. Diario (m³/día)	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m²)	Largo (m)
2022	44.97	53.96	5	1.5	35.98
2023	45.59	54.71	5	1.5	36.47
2024	46.22	55.47	5	1.5	36.98
2025	46.86	56.23	5	1.5	37.49
2026	47.51	57.01	5	1.5	38.01
2027	48.16	57.80	5	1.5	38.53
2028	48.83	58.59	5	1.5	39.06
2029	49.50	59.40	5	1.5	39.60
2030	50.19	60.22	5	1.5	40.15
2031	50.88	61.06	5	1.5	40.70
2032	51.58	61.90	5	1.5	41.27

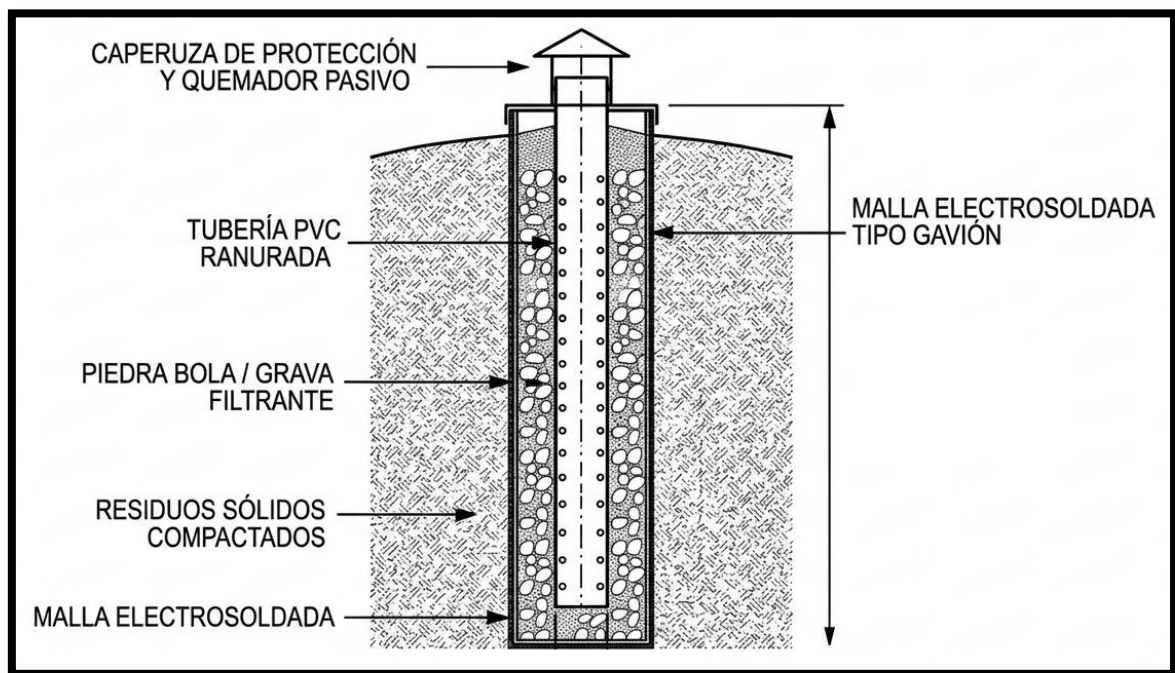
2033	52.30	62.75	5	1.5	41.84
2034	53.02	63.62	5	1.5	42.41
2035	53.75	64.50	5	1.5	43.00
2036	54.49	65.39	5	1.5	43.59

Nota. La tabla indica la proyección del volumen diario y las dimensiones del relleno sanitario entre 2022 y 2036, mostrando un aumento gradual en el volumen, área y largo necesarios para gestionar los residuos a lo largo de los años.

4.2.5 Chimeneas

Para el año 2022, se determinó un volumen total de la celda de 53.96 m³ (incluyendo el material de cobertura). Al considerar una altura de compactación de 1.5 m, se establece un área requerida de 35.98 m². Finalmente, con un ancho operativo de 5 m, se obtiene un largo de avance diario de 7.20 m para la conformación de la celda.

Figura 8 Sección constructiva del sistema de extracción pasiva de biogás



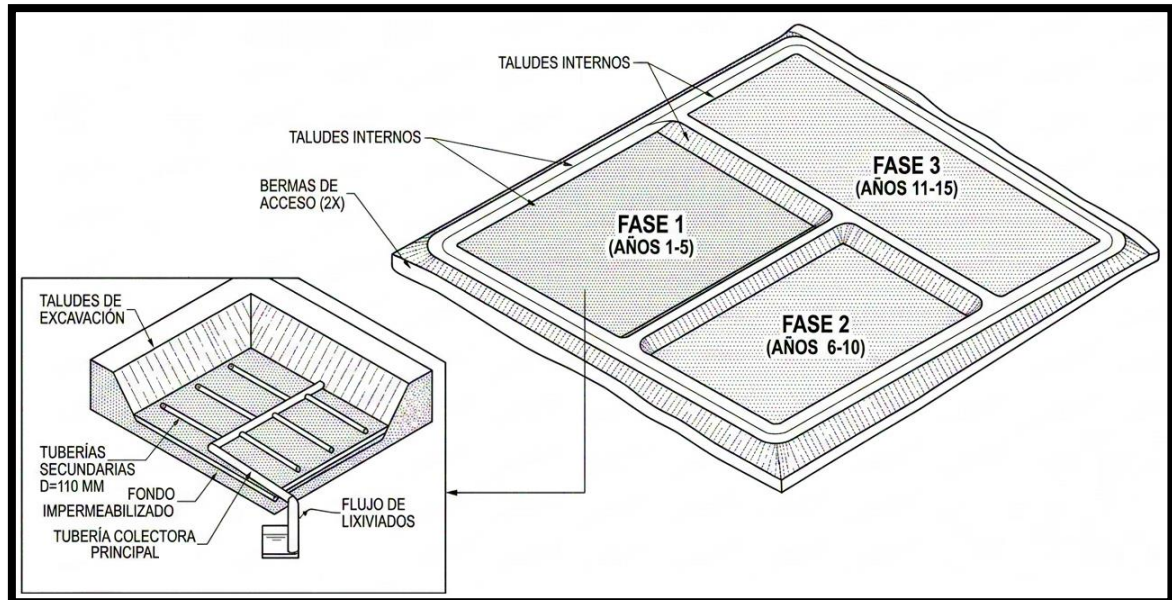
Nota. Se ilustra la estructura vertical de una chimenea tipo. El núcleo central está constituido por una tubería PVC ranurada, confinada por material pétreo poroso (piedra bola o grava) y confinada por una malla tipo gavión. Además, muestra cómo la estructura se proyecta verticalmente a través de la masa de residuos hasta la superficie, donde se instalan la caperuza de protección y el quemador pasivo para la oxidación térmica del metano.

4.2.6 Base del relleno sanitario

Se aplicaron los criterios específicos previamente descritos para el diseño de la base del relleno sanitario. Esta elección se fundamentó en la necesidad de minimizar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y del suelo. De esta manera, se aseguró que la

infraestructura construida fuera ambientalmente segura y efectiva, cumpliendo con los objetivos de protección ambiental establecidos para el relleno sanitario.

Figura 9 Esquema isométrica de las fases modulares



Nota. El diagrama muestra cómo el área del relleno sanitario se divide en tres fases de 5 años para alcanzar una vida útil total de 15 años. Además, presenta el avance progresivo de las fases de construcción y operación, lo que permite organizar mejor el uso del terreno y optimizar los recursos del proyecto.

4.3 Proyección del análisis de precios unitarios para la construcción del relleno sanitario

La Tabla 17 presentó el análisis detallado de los rubros técnicos y económicos requeridos para la construcción de la Plataforma Fase II del relleno sanitario y sus obras complementarias. Se desglosaron las actividades correspondientes a movimiento de tierras, impermeabilización con geomembrana y geotextil, conformación de celdas, sistemas de drenaje de lixiviados, drenaje de gases, manejo de aguas lluvias, infraestructura auxiliar y cierre técnico de la Fase I.

En el presupuesto se detallaron las unidades, cantidades y costos de cada actividad del proyecto. Con esta información se estimó un costo total de USD 798 290.86, donde las mayores inversiones corresponden a la conformación de la plataforma, los sistemas de impermeabilización y el galpón de maquinaria. Estos resultados permiten tener una referencia del costo y respaldan la planificación económica para la ejecución de la Fase II del relleno sanitario.

Tabla 17 Presupuesto detallado de obras y componentes del relleno sanitario – Plataforma Fase II y obras complementarias

No	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
Plataforma Fase II					
Plataforma Del Relleno Sanitario					
1	Replanteo Y Nivelación Del Terreno	m ²	10 667.00	20.31	216 646.77
2	Limpieza Manual Del Terreno	m ²	10 667.00	0.99	10 560.33
3	Excavación A Maquina Sin Clasificar Mayor A H=7.51	m ³	20 804.00	5.60	116 502.40
4	Relleno Compactado Con Suelo Natural A Maquina	m ³	936.16	7.93	7 423.75
5	Conformación Y Compactación De La Superficie	m ³	1 066.70	16.71	17 824.56
6	Geotextil No Tejido Nt 2 000	m ²	11 200.35	2.93	32 817.03
7	GEOMEMBRANA HDPE E= 1 Mm	m ²	11 200.35	8.43	94 418.95
8	Zanja De Anclaje Geomembrana	m ³	31.10	4.82	149.90
9	Material Granular Fino (H= 0.10m)	m ³	1 066.70	9.73	10 378.99
Plataforma De Tratamiento					
10	Replanteo Y Nivelación Del Terreno	m ²	228.01	0.29	66.12
11	Limpieza Manual Del Terreno	m ³	228.01	1.07	243.97
12	Excavación A Maquina Sin Clasificar	m ³	37.37	6.39	238.79

13	Relleno Compactado Material Sin Clasificar	m ³	74.79	7.35	549.71
14	Conformación Y Compactación De La Superficie	m ²	228.01	2.17	494.78
Manejo De Lixiviados					
Drenaje De Lixiviados					
15	Replanteo Y Nivelación De Ejes	m	681.15	0.80	544.92
16	Excavación De Zanjas A Maquina Sin Clasificar	m ³	180.35	2.71	488.75
17	GEOMEMBRANA HDPE E= 1 Mm	m ²	1 176.00	8.48	9 972.48
18	Geotextil No Tejido Nt 2 000	m ²	1 451.46	3.15	4 572.10
19	Tubería Pvc 110 mm Perforada (Mat/Trans/Inst)	m	334.45	7.12	2 381.28
20	Codo 45° Pvc Desagüe 110 mm	U	6.00	8.98	53.88
21	Relleno Compactado Con Suelo Natural A Maquina	m ³	180.35	6.75	1 217.36
22	Arena	m ³	10.22	17.82	182.12
23	Caja De Revisión (0.60x0.60x0.60)	u	2.00	112.27	224.54
Cajón De Salida Dren Principal					
24	Replanteo Manual De Estructuras	m	1.79	1.77	3.17
25	Limpieza Manual Del Terreno	m ²	1.79	1.07	1.92
26	Excavación A Maquina Sin Clasificar	m ³	1.00	20.25	20.25

27	Hormigón Hs F´C= 210 Kg/Cm ²	m ³	1.66	262.47	435.70
28	Excavación A Mano	m ³	1.43	16.16	23.11
29	Acero De Refuerzo Fy= 4 200 kg/cm ²	kg	3.45	2.26	7.80
30	Encofrado Recto Y Desencofrado	m ²	1.90	33.69	64.01
31	Malla Electrosoldada 100x100x5 mm	kg	9.98	5.95	59.38

Canal De Ingreso Y Vertedero

32	Replanteo Y Nivelación De Estructuras	m ²	1.19	0.84	1.00
33	Limpieza Manual Del Terreno	m ²	1.19	1.07	1.27
34	Hormigón Hs F´C= 210 kg/cm ²	m ³	1.06	212.50	225.25
35	Excavación A Mano	m ³	0.71	17.14	12.17
36	Encofrado Recto Y Desencofrado	m ²	1.78	28.19	50.18
37	Malla Electrosoldada 100x100x8 mm	kg	13.51	9.97	134.69

Desarenador

38	Replanteo Y Nivelación De Estructuras	m ²	9.57	0.81	7.75
39	Limpieza Manual Del Terreno	m ²	9.57	1.07	10.24
40	Hormigón Hs F´C= 210 kg/cm ²	m ³	3.19	212.50	677.88
41	Excavación De Zanjas A Maquina	m ³	6.14	2.51	15.41

42	Malla Galvanizada (50mm X10)	kg	92.66	9.18	850.62
43	Compuerta De Tool E= 3 mm Y Madera Con Volante	u	2.00	249.10	498.20
44	Caja De Revisión (0.60x0.60x0.60)	u	2.00	125.99	251.98
45	Tubería Pvc 110 mm	m	10.00	8.13	81.30
Sistema De Drenaje De Gases					
46	Base De Chimeneas De 40x0.40 m	u	16.00	28.96	463.36
47	Grava 5.00 A 7.00 cm	m ³	2.56	19.65	50.30
48	Tubería Pvc 110 mm	m	16.00	8.13	130.08
49	Yee Pvc Desagüe D= 110 m	u	10.00	5.70	57.00
50	Codo 45° Pvc Desagüe 110 mm	u	10.00	5.42	54.20
51	Tramo Corto Pvc Desagüe Sin Perforaciones D= 110 mm I= 0.40 m	u	10.00	3.83	38.30
Vía De Acceso Plataforma					
52	Replanteo Y Nivelación De Ejes	m ²	211.41	0.81	171.24
53	Movimiento De Tierra Con Maquinaria	m ³	1 688.12	1.76	2 971.09
54	Relleno Compactado Manual	m ³	173.75	5.48	952.15
55	Sub base Clase 3 Tendido Y Conformado	m ³	836.49	39.18	32 773.68
Galpón Para Maquinaria					
56	Replanteo Y Nivelación De Estructuras	m ²	196.08	0.84	164.71

57	Excavación A Mano	m ³	196.08	1.07	209.81
58	Relleno Compactado Manual	m ³	78.43	1.81	141.96
59	Sub base Clase 3 Tendido Y Conformado	m ³	77.86	39.88	3 105.06
60	Hormigón Hs F'C= 210 kg/cm ²	m ³	30.07	175.00	5 262.25
61	Acero De Refuerzo Fy= 4 200 kg/cm ²	kg	2 218.00	2.30	5 101.40
62	Juntas De Construcción	m	17.00	38.22	649.74
63	Acero Estructural Vigas Y Cubierta	kg	3 953.70	22.95	90 737.42
64	Acero De Anclaje De Apoyo Columnas	kg	814.70	38.65	31 488.16
65	Cubierta Galvalumen 35 mm	m ²	191.30	29.02	5 551.53
66	Cumbrero Metálico	m	22.00	18.98	417.56
Caseta De Bombeo Abastecimiento De Agua					
67	Bomba 1 Hp	u	1.00	151.19	151.19
68	Accesorios Sistema De Agua	u	1.00	9.52	9.52
69	Malla Galvanizada (50 mm X10)	m ²	25.00	11.24	281.00
70	Tubo Galvanizado D= 2"	m	61.00	71.93	4 387.73
71	Cubierta De Zinc	m ²	11.70	24.57	287.47
Arreglo Fosa Séptica					
72	Replanteo Manual De Estructuras	m ²	10.00	1.17	11.70
73	Excavación A Mano	m ³	10.00	1.77	17.70
74	Caja De Revisión (0.80x0.80x1.00)	u	1.00	72.81	72.81

75	Válvula De Compuerta Pvc 110 mm	u	10.00	128.97	1 289.70
76	Pozo De Infiltración	u	1.00	53.30	53.30
Sistema De Drenaje De Aguas Lluvia					
77	Impermeabilización Con Geomembrana E= 1.00 mm	m ²	1 088.24	8.65	9 413.28
78	Zanja De Anclaje Geomembrana	m ³	11.74	4.61	54.12
79	CAJA DE REVISION (0.60x0.60X0.60)	u	4.00	480.69	1 922.76
80	Excavación De Zanjas A Maquina	m ³	48.00	2.71	130.08
81	Relleno Compactado Manual	m ³	32.25	7.04	227.04
82	Tubería Pvc Desagüe 250 mm	m	300.00	25.93	7 779.00
Cierre Técnico De Fase I					
83	Deposito Y Compactación De Residuos En Celda Fase II	m ³	2 750.00	1.44	3 960.00
84	Replanteo Y Nivelación Del Terreno	m ²	1 680.00	0.29	487.20
85	Conformación De Cubierta Fase I	m ³	336.00	1.20	403.20
86	Suministro E instalación De Geomalla	m ²	4 864.80	5.37	26 123.98
87	Arena	m ³	168.00	4.41	740.88
88	Impermeabilización Con Geomembrana E= 1.00 mm	m ²	1 680.00	5.65	9 492.00
89	Tierra Negra	m ³	504.00	31.94	16 097.76
90	Levantamiento De Chimeneas Fase I	u	12.00	101.94	1 223.28

91	Quemador Metálico En Chimeneas Fase I	u	9.00	199.60	1 796.40
				TOTAL:	798 290.86

SON: SETECIENTOS NOVENTA Y OCHO MIL DOSCIENTOS NOVENTA,
86/100 DÓLARES

Nota. El diseño geométrico y el volumen total de excavación que se calculó nacen exactamente de esas variables. Para llegar a ese volumen, primero se tuvo que proyectar la población a 15 años y multiplicarla por la Producción Per cápita diaria de basura, reconociendo que la realidad de Alausí no es la misma que la de Colta ni la de Guamote. Debido que, al tratarse de un proyecto de mancomunidad, el diseño no ignora estas diferencias, sino que las suma. La metodología técnica consistió en calcular la curva de generación de toneladas de Alausí, sumar la curva de Colta y de Guamote, dando que el resultado es una curva de generación consolidada.

4.4 Discusión

Los resultados obtenidos evidenciaron que la proyección poblacional de los cantones Alausí, Colta y Guamote presentó un crecimiento sostenido durante el período 2020–2035. Este incremento, aunque moderado, representó un factor determinante en la estimación de la demanda futura del relleno sanitario, puesto que el aumento de la población se tradujo directamente en una mayor generación de residuos sólidos. Este hallazgo fue consistente con estudios similares realizados en territorios con dinámicas demográficas rurales, donde la tendencia de crecimiento poblacional condicionó la planificación de infraestructura para la disposición final de desechos.

En cuanto a las actividades económicas, se observó que la mayoría de la población se dedica principalmente a la agricultura y la ganadería. Esto influye en los hábitos de consumo y en el tipo de residuos que se generan. Además, se evidenció una baja participación de sectores como educación y salud, lo que refleja una limitada diversificación económica en la zona en comparación con áreas más urbanizadas.

Respecto a la generación de residuos, se identificaron diferencias entre las zonas urbanas y rurales. En el área urbana la generación por habitante fue mayor debido a una mayor cobertura del servicio de recolección, mientras que en el área rural el promedio fue menor. Entre los cantones analizados, Guamote registró el valor más alto con 0.76 kg/hab×día, evidenciando variaciones según las condiciones socioeconómicas.

En relación con el suelo del área de estudio, se determinó la presencia de suelos tipo Inceptisol, con textura franco-arenosa y permeabilidad moderada, condiciones que favorecen la construcción y estabilidad del relleno sanitario, además de facilitar el drenaje y reducir riesgos de filtración.

Para el diseño del sistema, se determinó que el relleno sanitario semi-mecanizado es la alternativa más adecuada, ya que se ajusta mejor al tamaño de la población y al volumen de residuos generados. Asimismo, se seleccionó el método de construcción combinado, debido a las características del terreno, como la pendiente, la profundidad de la capa freática y el espacio disponible.

Finalmente, los cálculos de dimensionamiento demostraron que la capacidad del relleno permite una operación adecuada durante los 15 años de vida útil proyectados. En cuanto al presupuesto, se identificó que las mayores inversiones corresponden a los movimientos de tierra, la impermeabilización y el sistema de drenaje, elementos clave para garantizar el funcionamiento y la protección ambiental del relleno sanitario.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- A partir del análisis de información primaria y secundaria se logró establecer una línea base que permitió comprender las condiciones actuales de la gestión de residuos en la mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote. Los resultados evidenciaron que la generación de residuos alcanza aproximadamente 20 toneladas diarias, con una producción promedio de 0.70 kg por habitante al día, lo que confirma la presión existente sobre la infraestructura de disposición final. Además, el análisis de variables como población, actividades económicas, características del suelo, hidrología y condiciones topográficas permitió identificar los factores técnicos y ambientales necesarios para la planificación de una nueva fase del relleno sanitario.
- Mediante el uso de herramientas digitales como AutoCAD y sistemas de información geográfica (GIS) se desarrolló el diseño técnico de la fase dos del relleno sanitario, considerando las características físicas del terreno y los criterios de ingeniería ambiental. El diseño adoptó un método constructivo híbrido entre trinchera y área, lo que permitió adaptarse a la topografía irregular del sitio y garantizar mayor estabilidad en la disposición de los residuos. Asimismo, se definieron componentes fundamentales como el sistema de impermeabilización basal, drenaje de lixiviados, chimeneas para extracción de biogás y celdas de disposición, lo que contribuye a reducir los impactos ambientales y asegurar una operación más controlada del sistema de disposición final.
- El análisis de precios unitarios permitió estimar de manera detallada los costos asociados a la construcción de la fase dos del relleno sanitario, considerando cada una de las obras civiles y componentes técnicos requeridos. Esta proyección financiera evidenció que el diseño propuesto es técnicamente viable y económicamente sustentable, ya que establece un presupuesto estructurado que facilita la planificación de recursos para su futura ejecución. De esta manera, el estudio no solo proporciona una propuesta de diseño, sino también una base económica que puede ser utilizada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados para la toma de decisiones y la implementación del proyecto.
- El dimensionamiento de la Fase Dos del relleno sanitario regional determinó que, para satisfacer la demanda de la mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote, se requiere una infraestructura con una capacidad volumétrica proyectada de 325 805 m³. La aplicación del método constructivo híbrido (trinchera y área) a lo largo de las 3.6 hectáreas de intervención garantiza una vida útil operativa de 15 años.

5.2 Recomendaciones

- Mejorar el funcionamiento del relleno sanitario mediante el uso constante de maquinaria pesada, de manera que los residuos puedan compactarse y cubrirse diariamente de forma adecuada. Esto ayuda a que el sistema funcione mejor, reduce la presencia de vectores y malos olores, y además permite proteger la vida útil de las celdas.
- Planificar con anticipación una posible Fase Tres del proyecto, considerando el crecimiento de la población, los cambios en el consumo y las futuras políticas de manejo de residuos. Para ello será necesario realizar estudios técnicos, ambientales y económicos que permitan evitar la saturación del relleno y asegurar que el servicio continúe funcionando sin problemas.
- Incorporar formalmente a recicladores de base y cooperativas locales dentro del sistema de gestión de residuos, promoviendo la recuperación de materiales reciclables antes de que lleguen al relleno sanitario y fomentando así un modelo de economía circular. Para ello, se recomienda establecer centros de acopio, firmar convenios con asociaciones de recicladores y capacitar a los participantes en buenas prácticas de manejo, lo que permitirá reducir el volumen de desechos que ingresan al relleno sanitario y mejorar las condiciones socioeconómicas de las familias involucradas en esta actividad.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, T., & Rangel, S. (2021, February 28). Revisión de estrategias sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las organizaciones. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(2), 76–94. <https://doi.org/10.23850/24220582.3141>
- Angamarca, G., & Santander, R. (2022). *Caracterización de residuos sólidos del cantón Biblián, provincia del Cañar y propuesta de relleno sanitario*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22943/1/UPS-CT009992.pdf>
- Barrera, I., Hernández, G., & Mendoza, C. (2022). Los rellenos sanitarios, una solución paliativa a la problemática de residuos sólidos en Zamora, Michoacán, México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.170>
- Bartra, J., & Delgado, J. (2020, December). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, (2), 993–1008. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.135
- Cajamarca, J., & Velasco, L. (2024). *Diseño preliminar de un relleno sanitario para la gestión de desechos sólidos del cantón Guano*. <https://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/13638/1/Cajamarca%20Q.%2C%20Juan%20C.%2C%20Velasco%20T.%2C%20Lesly%20D.%2C%20%282024%29%20Dise%C3%B1o%20preliminar%20de%20un%20relleno%20sanitario%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20desechos%20s%C3%B3lidos%20del%20cant%C3%B3n%20Guano%20%281%29.pdf?>
- Canelo, C. (2021). *Criterios y métodos para seleccionar la ubicación de los rellenos sanitario*. https://www.researchgate.net/publication/356896677_Criterios_y_metodos_para_seleccionar_la_ubicacion_de_los_rellenos_sanitarios
- Chavarría, O. (2022). Comparación de los impactos ambientales ocasionados por la técnica de incineración y rellenos sanitarios para la gestión de residuos sólidos. *Ingeniería*, 32(2), 1–12. <https://doi.org/10.15517/ri.v32i2.48546>
- Choez, C., Parrales, G., & Álvarez, M. (2021). *Influencia de la recolección de desechos sólidos en la operación del relleno sanitario de Jipijapa*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8231834.pdf>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 449 Registro Oficial 25 (2008). www.lexis.com.ec
- Cortés, J., González, J., Rufino, H., Riba, L., & Cobo, E. (2014). *Tamaño muestral*. https://www.ub.edu/ceea/sites/all/themes/ub/documents/Tamano_muestral.pdf?

- Del Pozo, H. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial*, COOTAD. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/dic15_CODIGO-ORGANICO-DE-ORGANIZACION-TERRITORIAL-COOTAD.pdf
- Elizondo, E., & Pérez, E. (2024). *Los residuos sólidos urbanos: Un análisis de los métodos, rutas y la generación desde un enfoque socioeconómico en CD*. Victoria, Tamaulipas, México. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/12416/17990/>
- GADMCA. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Alausí*. <https://www.alausi.gob.ec/index.php/transparencialotaip/dctos-respaldo-art-7/literal-k/2021-2/3129-pdot-canton-alausi-proceso-de-actualizacion-2020/file>
- GADMCC. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de cantón Colta 2014-2030*. <https://es.scribd.com/document/559587930/0660000520001-PDOT-COLTA-2014-15-03-2015-19-11-32>
- GADMCG. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. <https://www.gadguamote.gob.ec/la-municipalidad/la-alcaldia/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento/pdot-guamote-2019-2023.html>
- Gavidia, Á. (2022). *La observación en la investigación, método o técnica, a propósito de la táctica y la estrategia*. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RMT/article/view/4857/5075>
- Gutiérrez, V. (2012). *Guía para el diseño construcción operación mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios*. <https://es.scribd.com/document/386036341/Guia-para-el-Diseno-Construccion-Operacion-Mantenimiento-y-Cierre-de-Relleno-Sanitario-pdf?>
- Hernández, R. (2011). *Residuos peligrosos y no peligrosos*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97908>
- Jamrah, A., AL-Zghoul, T., & Al-Qodah, Z. (2024). An Extensive Analysis of Combined Processes for Landfill Leachate Treatment. In *Water (Switzerland)* (Vol. 16, Number 12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w16121640>
- Kaza, S., Yao, L., Perinaz Bhada, & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Ley de Gestión Ambiental. (2004). *Ley de Gestión Ambiental*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Ley de Prevención y Control de la contaminación Ambiental. (2004). *Ley de Prevención y Control de la contaminación Ambiental*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf?utm_source=chatgpt.com
- MAATE. (2017, March 29). *Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente*. www.lexis.com.ec

- MAATE. (2025). *Metodología “Índice de operación de los sitios de disposición final de residuos y desechos sólidos no peligrosos.”* https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/04/METODOLOGIA-SDF_VF.pdf
- Martínez, A. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010.* www.ecuadorencifras.gob.ec
- Ministerio de Ambiente. (2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE.* <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/DECRETO%20EJECUTIVO%203516%20-%20TULSMA.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Proyecto: Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS).* <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Guía Técnica de procedimientos y metodología para la recolección y manejo de datos para el Sector Residuos.* <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/10/Guia-Tecnica-residuos.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2024). *Guía para el manejo de desechos y residuos sólidos no peligrosos en situaciones de desastres naturales.* <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/11/Guia-para-el-manejo-de-desechos-y-residuos-solidos-municipales-desastres-naturales.pdf>
- Moncayo, J. (2019). *Manual de PUNIS.* <https://punisv10.blogspot.com/>
- Mor, S., Kaur, K., & Ravindra, K. (2024). Methane emissions from municipal landfills: a case study of Chandigarh and economic evaluation for waste-to-energy generation in India. *Frontiers in Sustainable Cities*, 6. <https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1432995>
- Mosquera, Y., & Lara, J. (2012). *Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte.* <https://www.academia.edu/download/74832984/Dialnet-TratamientoDeLixiviadosMedianteHumedalesArtificial-4550291.pdf>
- Muñoz, B. (2024). *Propuesta de un diseño de relleno sanitario en el distrito de Pachamarca, provincia Churcampa, Huancavelica, 2022.* https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14560/15/IV_FIN_107_TE_Mu%C3%B1oz_Estrada_2024.pdf
- Nohlen, D. (2013). *El Método Comparativo.* <https://tinyurl.com/y2lh7foq>
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *El mundo debe superar la era de los desechos y convertirlos en recursos.* <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-superar-la-era-de-los-desechos-y>
- Ozbay, G., Jones, M., Gadde, M., Isah, S., & Attarwala, T. (2021). Diseño y operación de vertederos efectivos con efectos mínimos sobre el medio ambiente y la salud humana. In *Journal of Environmental and Public Health* (Vol. 2021). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2021/6921607>

- Pereda, R., & Sánchez, J. (2014). *Metodologías topográficas clásicas*. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2494/course/section/2568/metologiasClasicas.pdf>
- Rodríguez, A., Salazar, J., & Morales, M. (2022). Gestión de residuos sólidos de las Municipalidades Provinciales de la Región Cajamarca, Perú. *Sapienza*, 3(2), 57–73. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i2.307>
- Rodríguez, L. (2022). *Estudio de la producción per-cápita de los residuos sólidos generados en cantón Zamora para la implementación de puntos de recolección de residuos segregados en el periodo 2021-2022*. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/e21d1031-1df1-46c1-a194-572b7f67536d?>
- Rodríguez, N., Brito, J., & Bériz, R. (2021). *Guía para la gestión integral de residuos sólidos municipales*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-09/PADIT_Gu%C3%ADa%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales.pdf
- Rodríguez, V. (2025). *Impacto de las políticas de gestión de residuos sólidos en la salud pública en Ecuador*. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S2960-24672025000100217&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com
- Sandoval, L. (2008). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado*. <https://redrssi.minam.gob.pe/material/20130703130018.pdf>
- Scharff, H., Hy, S., Rwabwemere, S., Zeegers, D., Dick, B., Villas, T., & Shamrock, J. (2023). *The Impact of Management Choices on Landfill Methane Emissions*. <https://www.iswa.org/wp-content/uploads/2024/02/2023-The-Impact-of-Management-Choices-on-Landfill-Methane-Emissions.pdf>
- Serrano, M., Pérez, D., Torrado, L., & Hernández, N. (2017). Residuos inertes para la preparación de ladrillos con material reciclable: una práctica para protección del ambiente. *Industrial Data*, 20(1), 131. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i1.13507>
- Villafañe, S., & García, B. (2024). *"Construcción de un nuevo Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos bajo la técnica de Relleno Sanitario": Primera Etapa*. <https://www.concepcion.gob.ar/assets/archivos/proyecto-EIA.pdf>
- Weather Consulting. (2017). *ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA MANCOMUNIDAD ALAUSÍ, COLTA Y GUAMOTE - Diseños Definitivos para la Implantación del Sistema Integral de Manejo de Desechos Sólidos de la Mancomunidad del Cantón Alausí, Guamote y Colta (Provincia de Chimborazo)*. <https://mambientechimborazo.files.wordpress.com/2015/05/estudios-y-disec3b1os-definitivos-para-la-gestic3b3n-integral.pdf>
- Alvarado, T., & Rangel, S. (2021, February 28). Revisión de estrategias sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las organizaciones. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(2), 76–94. <https://doi.org/10.23850/24220582.3141>

- Angamarca, G., & Santander, R. (2022). *Caracterización de residuos sólidos del cantón Biblián, provincia del Cañar y propuesta de relleno sanitario*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22943/1/UPS-CT009992.pdf>
- Barrera, I., Hernández, G., & Mendoza, C. (2022). Los rellenos sanitarios, una solución paliativa a la problemática de residuos sólidos en Zamora, Michoacán, México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.170>
- Bartra, J., & Delgado, J. (2020, December). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, (2), 993–1008. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.135
- Cajamarca, J., & Velasco, L. (2024). *Diseño preliminar de un relleno sanitario para la gestión de desechos sólidos del cantón Guano*. <https://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/13638/1/Cajamarca%20Q.%2C%20Juan%20C.%2C%20Velasco%20T.%2C%20Lesly%20D.%2C%20282024%29%20Dise%C3%B1o%20preliminar%20de%20un%20relleno%20sanitario%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20desechos%20s%C3%B3lidos%20del%20cant%C3%B3n%20Guano%20%281%29.pdf?>
- Canelo, C. (2021). *Criterios y métodos para seleccionar la ubicación de los rellenos sanitario*. https://www.researchgate.net/publication/356896677_Criterios_y_metodos_para_seleccionar_la_ubicacion_de_los_rellenos_sanitarios
- Chavarría, O. (2022). Comparación de los impactos ambientales ocasionados por la técnica de incineración y rellenos sanitarios para la gestión de residuos sólidos. *Ingeniería*, 32(2), 1–12. <https://doi.org/10.15517/ri.v32i2.48546>
- Choez, C., Parrales, G., & Álvarez, M. (2021). *Influencia de la recolección de desechos sólidos en la operación del relleno sanitario de Jipijapa*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8231834.pdf>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 449 Registro Oficial 25 (2008). www.lexis.com.ec
- Cortés, J., González, J., Rufino, H., Riba, L., & Cobo, E. (2014). *Tamaño muestral*. https://www.ub.edu/ceea/sites/all/themes/ub/documents/Tamano_muestral.pdf?
- Del Pozo, H. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, COOTAD*. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/dic15_CODIGO-ORGANICO-DE-ORGANIZACION-TERRITORIAL-COOTAD.pdf
- Elizondo, E., & Pérez, E. (2024). *Los residuos sólidos urbanos: Un análisis de los métodos, rutas y la generación desde un enfoque socioeconómico en CD. Victoria, Tamaulipas, México*. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/12416/17990/?>

- GADMCA. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Alausí*. <https://www.alausi.gob.ec/index.php/transparencialotaip/dctos-respaldo-art-7/literal-k/2021-2/3129-pdot-canton-alausi-proceso-de-actualizacion-2020/file>
- GADMCC. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de cantón Colta 2014-2030*. <https://es.scribd.com/document/559587930/0660000520001-PDOT-COLTA-2014-15-03-2015-19-11-32>
- GADMCG. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. <https://www.gadguamote.gob.ec/la-municipalidad/la-alcaldia/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento/pdot-guamote-2019-2023.html>
- Gavidia, Á. (2022). *La observación en la investigación, método o técnica, a propósito de la táctica y la estrategia*. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RMT/article/view/4857/5075>
- Gutiérrez, V. (2012). *Guía para el diseño construcción operación mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios*. <https://es.scribd.com/document/386036341/Guia-para-el-Diseño-Construcción-Operación-Mantenimiento-y-Cierre-de-Relleno-Sanitario-pdf?>
- Hernández, R. (2011). *Residuos peligrosos y no peligrosos*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97908>
- Jamrah, A., AL-Zghoul, T., & Al-Qodah, Z. (2024). An Extensive Analysis of Combined Processes for Landfill Leachate Treatment. In *Water (Switzerland)* (Vol. 16, Number 12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w16121640>
- Kaza, S., Yao, L., Perinaz Bhada, & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Ley de Gestión Ambiental. (2004). *Ley de Gestión Ambiental*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Ley de Prevención y Control de la contaminación Ambiental. (2004). *Ley de Prevención y Control de la contaminación Ambiental*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCIÓN-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACIÓN-AMBIENTAL.pdf?utm_source=chatgpt.com
- MAATE. (2017, March 29). *Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente*. www.lexis.com.ec
- MAATE. (2025). *Metodología “Índice de operación de los sitios de disposición final de residuos y desechos sólidos no peligrosos.”* https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/04/METODOLOGIA-SDF_VF.pdf
- Martínez, A. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. www.ecuadorencifras.gob.ec
- Ministerio de Ambiente. (2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE*. <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/DECRETO%20EJECUTIVO%203516%20-%20TULSMA.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Proyecto: Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Guía Técnica de procedimientos y metodología para la recolección y manejo de datos para el Sector Residuos*.

- <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/10/Guia-Tecnica-residuos.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2024). *Guía para el manejo de desechos y residuos sólidos no peligrosos en situaciones de desastres naturales*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/11/Guia-para-el-manejo-de-desechos-y-residuos-solidos-municipales-desastres-naturales.pdf>
- Moncayo, J. (2019). *Manual de PUNIS*. <https://punisv10.blogspot.com/>
- Mor, S., Kaur, K., & Ravindra, K. (2024). Methane emissions from municipal landfills: a case study of Chandigarh and economic evaluation for waste-to-energy generation in India. *Frontiers in Sustainable Cities*, 6. <https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1432995>
- Mosquera, Y., & Lara, J. (2012). *Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte*. <https://www.academia.edu/download/74832984/Dialnet-TratamientoDeLixiviadosMedianteHumedalesArtificial-4550291.pdf>
- Muñoz, B. (2024). *Propuesta de un diseño de relleno sanitario en el distrito de Pachamarca, provincia Churcampa, Huancavelica, 2022*. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14560/15/IV_FIN_107_TE_Mu%C3%B1oz_Estrada_2024.pdf
- Nohlen, D. (2013). *El Método Comparativo*. <https://tinyurl.com/y2lh7foq>
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *El mundo debe superar la era de los desechos y convertirlos en recursos*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-superar-la-era-de-los-desechos-y>
- Ozby, G., Jones, M., Gadde, M., Isah, S., & Attarwala, T. (2021). Diseño y operación de vertederos efectivos con efectos mínimos sobre el medio ambiente y la salud humana. In *Journal of Environmental and Public Health* (Vol. 2021). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2021/6921607>
- Pereda, R., & Sánchez, J. (2014). *Metodologías topográficas clásicas*. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2494/course/section/2568/metologiasClasicas.pdf>
- Rodríguez, A., Salazar, J., & Morales, M. (2022). Gestión de residuos sólidos de las Municipalidades Provinciales de la Región Cajamarca, Perú. *Sapienza*, 3(2), 57–73. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i2.307>
- Rodríguez, L. (2022). *Estudio de la producción per-cápita de los residuos sólidos generados en cantón Zamora para la implementación de puntos de recolección de residuos segregados en el periodo 2021-2022*. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/e21d1031-1df1-46c1-a194-572b7f67536d?>
- Rodríguez, N., Brito, J., & Bériz, R. (2021). *Guía para la gestión integral de residuos sólidos municipales*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-09/PADIT_Gu%C3%ADa%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales.pdf
- Rodríguez, V. (2025). *Impacto de las políticas de gestión de residuos sólidos en la salud pública en Ecuador*. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S2960-24672025000100217&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com

- Sandoval, L. (2008). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado*.
[https://redrrss.minam.gob.pe/material/20130703130018.pdf?](https://redrrss.minam.gob.pe/material/20130703130018.pdf)
- Scharff, H., Hy, S., Rwabwehare, S., Zeegers, D., Dick, B., Villas, T., & Shamrock, J. (2023). *The Impact of Management Choices on Landfill Methane Emissions*.
<https://www.iswa.org/wp-content/uploads/2024/02/2023-The-Impact-of-Management-Choices-on-Landfill-Methane-Emissions.pdf>
- Serrano, M., Pérez, D., Torrado, L., & Hernández, N. (2017). Residuos inertes para la preparación de ladrillos con material reciclable: una práctica para protección del ambiente. *Industrial Data*, 20(1), 131. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i1.13507>
- Villafañe, S., & García, B. (2024). "Construcción de un nuevo Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos bajo la técnica de Relleno Sanitario": Primera Etapa.
[https://www.concepcion.gob.ar/assets/archivos/proyecto-EIA.pdf?](https://www.concepcion.gob.ar/assets/archivos/proyecto-EIA.pdf)
- Weather Consulting. (2017). *ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA MANCOMUNIDAD ALAUSÍ, COLTA Y GUAMOTE - Diseños Definitivos para la Implantación del Sistema Integral de Manejo de Desechos Sólidos de la Mancomunidad del Cantón Alausí, Guamote y Colta (Provincia de Chimborazo)*.
<https://mambientechimborazo.files.wordpress.com/2015/05/estudios-y-disec3b1os-definitivos-para-la-gestic3b3n-integral.pdf>

ANEXOS

Anexo 1 Recolección de información acerca de la fase 1 del relleno sanitario de la mancomunidad Alausí, Colta y Guamote



Anexo 2 Zona de acopio de basura recolectada



Anexo 3 Zona de clasificación de basura para su desecho



Anexo 4 Oficinas de la mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote



Anexo 5 *Infraestructura de la mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote*



Anexo 6 *Zona destinada para la fase 2 del relleno sanitario de la mancomunidad de Alausí, Colta y Guamote*



Anexo 7 *Funcionamiento de la fase 1 del relleno sanitario*



Anexo 8 *Vía principal con dirección a la zona destinada para la fase 2 del relleno sanitario*

