UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TITULO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TITULO DEL PROYECTO:

FACTIBILIDAD PARA EL CIERRE TÉCNICO DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA.

AUTOR:

DIEGO FERNANDO MEDINA GAVIDIA

DIRECTOR DE PROYECTO:

MsC. BILLY DANIEL CORONEL ESPINOZA

PUYO – PASTAZA – ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, DIEGO FERNANDO MEDINA GAVIDIA, con C.I. N°: 180501316-4, declaro ser el autor principal del Proyecto de Investigación con el tema: "FACTIBILIDAD PARA EL CIERRE TÉCNICO DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA", mismo que se ha elaborado con el asesoramiento del Msc. BILLY CORONEL.

Autorizo a la Universidad Estatal Amazónica hacer uso, con fines docentes e investigativos de los resultados obtenidos de la misma.

_____

Diego Fernando Medina Gavidia
180501316 - 4

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En mi calidad de director del proyecto de la investigación denominada: "***Factibilidad del cierre técnico del relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa*",** del autor **MEDINA GAVIDIA DIEGO FERNANDO** con C.I: 180501316-4, egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el consejo directivo.

_____

Msc. Billy Daniel Coronel Espinoza
C.C. 110321138-7

Certificado del Reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de sustentación, aprueban el informe final de la investigación sobre el Tema "*FACTIBILIDAD PARA EL CIERRE TÉCNICO DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA"* de autoría del Sr.: Diego Fernando Medina Gavidia, egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental.

Puyo, 13 de julio del 2018

Para constancia firman:

_____

Dr. Reinier Abreu

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

_____

Msc. Pedro Peñafiel

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

_____

Msc. Rubén Ledesma

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Agradeciendo a Dios, por todas las bendiciones durante el transcurso de formación profesional, a mis padres por ser el pilar fundamental para la culminación de esta etapa de mi vida.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Baños de Agua Santa por la apertura y buena predisposición para la elaboración del presente proyecto de investigación, especialmente al Ing. Carlos Alberto León Loza, Jefe de Medio Ambiente de esta entidad, por su generosidad y benevolencia para la impartición de sus conocimientos, consejos y vivencias.

Al Msc. Billy Daniel Coronel Espinoza, por su aporte incondicional en el transcurso de la elaboración del proyecto.

A la Universidad Estatal Amazónica y a todos los docentes, por abrirme las puertas, empezar una meta, brindarme conocimiento, permitirme desarrollarme como profesional y servir a la sociedad.

DEDICATORIA

A mis padres, Rodrigo y Martha, que gracias
a su apoyo incondicional, sus consejos y sacrificio
me enseñaron que las metas se cumplen.

A mis abuelitos Ramón y Juana,
son mi motivo y razón de ser.

A mis queridos hermanos Diana, Jean,
Lenin y Andrew que con sus ocurrencias
me apoyaron en los momentos más difíciles,
enseñándome que la unidad
hace la fuerza.

A mi familia: tíos, tías, primos,
hermanos, padres, abuelitos
quienes han sido, la inspiración
para sobresalir día a día y llegar a la meta.

Finalmente a ti sobrino, Mathias
por llegar alegrarnos en la familia.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar el cierre técnico del relleno sanitario del Cantón Baños de Agua Santa, mediante el diagnostico o línea base del actual relleno sanitario.

Para la estimación de demanda de volúmenes se utilizó el método del Centro Panamericano de estudios Superiores establecido en el estudio: Metodologías para la evaluación de proyectos de residuos sólidos urbanos, las lluvias intensas determinadas por el Instituto de Meteorología e Hidrología del país fue un factor clave par el diseño de las cunetas coronación.

Los diseños establecidos para el cierre técnico responde a criterios técnicos e empíricos establecidos por el estado de arte que demanda este tipo de infraestructuras, es así que en la cobertura final de acuerdo al índice de compacidad es necesario la utilización de geomembrana, para el diseño del tratamiento de lixiviados en base a la normativa ambiental y análisis de laboratorio se a la alternativa de la implementación de un reactor de flujo anaerobio debido a que el actual sistema de tratamiento no funciona adecuadamente ante los lixiviados jóvenes generados por la celda emergente # 2, en base a datos oficiales del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos se ha procedido al cálculo de la población futura, criterio fundamental para la estimación de la generación de residuos sólidos domiciliarios, conjuntamente con la producción per cápita urbana y rural del Cantón de 0,56 Kg/hab/día y 0,45 Kg/hab/día respectivamente, para posteriormente calcular la demanda de volúmenes de material de cobertura diaria y estimar la vida útil de las celdas para la planificación adecuada del cierre técnico.

Palabras claves: Cierre técnico, relleno sanitario, celdas emergentes.

ABSTRACT AND KEYWORDS

The purpose of this paper is to design the technical closure of the sanitary landfill of the Baños de Agua Santa Canton, through the diagnosis or baseline of the current sanitary landfill.

For the estimation of volume demand, the method of the Pan American Center for Higher Studies established in the study was used: Methodologies for the evaluation of urban solid waste projects, the intense rains determined by the Institute of Meteorology and Hydrology of the country was a key factor pair the design of the coronation gutters.

The designs established for the technical closure respond to technical and empirical criteria established by the state of art that demands this type of infrastructure, so that in the final coverage according to the compactness index it is necessary to use geomembrane, for the design of the treatment of leachates based on environmental regulations and laboratory analysis is the alternative to the implementation of an anaerobic flow reactor because the current treatment system does not work adequately with the young leachates generated by the emerging cell # 2, in Based on official data from the National Institute of Statistics and Census, the future population has been calculated, a fundamental criterion for estimating the generation of solid household waste, together with the urban and rural per capita production of the Canton of 0.56 Kg. / room / day and 0.45 Kg / room / day respectively, to later calculate the demand e Daily coverage material volumes and estimate the useful life of the cells for the adequate planning of the technical closure.

Keywords: Technical closure, sanitary landfill, emerging cells.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 16
INTRODUCCIÓN 16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN 17
OBJETIVOS 18
Objetivo general 18
Objetivos específicos 18
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 19
ANTECEDENTES 19
BASES TEÓRICAS 19
Residuos Sólidos 19
Clasificación de los residuos sólidos 19
Clasificación por su estado 19
Clasificación por su origen 19
Diagnóstico de las condiciones actuales del servicio de disposición final 20
Oferta 20
Proyección de la demanda 21
Componentes de un relleno sanitario 21
DISEÑO DE COBERTURA FINAL 22
Sistema típico de cobertura final con geo membrana 22
Sistema de cobertura final sin geo membrana 22
Permeabilidad de los suelos 23
Impermeabilización y revestimiento de suelos con la aplicación de geo membranas 23
MANEJO Y CONTROL DE AGUA PLUVIAL O ESCORRENTÍA 24
Cunetas de coronación o canales de desviación 24
Clasificación del suelo en la construcción para zanjas y excavaciones 24
Coeficiente de escorrentía de acuerdo al tipo de suelo 24
Relaciones geométricas de las secciones transversales para la construcción de zanjas 25
MANEJO Y CONTROL DE GASES 25
Gestión de gases 25

Quemas de los gases 26
MANEJO Y CONTROL DE LIXIVIADOS 27
Tecnologías para el tratamiento de lixiviados 27
Lixiviados jóvenes y maduros 27
MANEJO Y CONTROL DE LA EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN 28
ASPECTOS LEGALES EN LA NORMATIVA ECUATORIANA 28
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 30
LOCALIZACIÓN 30
TIPO DE INVESTIGACIÓN 30
MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 31
Diseño de la Investigación 32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS 33
INFORMACIÓN GENERAL DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA 33
Ubicación geográfica del sitio de estudio 33
Área de influencia directa e indirecta 34
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA 34
Hidrología 34
Meteorología 36
Temperatura 36
Precipitaciones 36
Geología 37
Geomorfología 38
CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA 38
Población parroquial del cantón 39
Cobertura del servicio de recolección: Urbano 40
Cobertura del servicio de recolección: Rural 40
Generación y densidad de residuos sólidos urbanos 40
CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA 41
Población 41
Población económicamente activa 42
Educación 42

Servicios básicos 42
Agua potable 43
Energía eléctrica 43
VIDA ÚTIL Y VOLUMEN TOTAL DE CELDAS DEL RELLENO SANITARIO 44
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE VOLÚMENES: DESECHOS Y MATERIAL DE COBERTURA. 45
DISEÑO DE LA CAPA DE COBERTURA FINAL 46
DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL 47
DISEÑO PARA EL MANEJO DE GASES 50
DISEÑO PARA EL MANEJO DE LIXIVIADOS 51
Tratamiento de lixiviados 51
PRESUPUESTO 54
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 55
RECOMENDACIONES 56
CAPITULO V. BIBLIOGRAFÍA 57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de permeabilidad acorde a la clase de suelo 23
Tabla 2. Especificaciones técnicas de geomembrana 23
Tabla 3. Coeficientes de escorrentía acorde al tipo de suelo 25
Tabla 4. Relaciones geométricas 25
Tabla 5. Rendimientos de tratamientos de lixiviados 27
Tabla 6. Resumen de normativa ecuatoriana aplicable al proyecto 28
Tabla 7. Límites del cantón Baños de Agua Santa 33
Tabla 8. Temperatura media anual en el cantón Baños de Agua Santa 36
Tabla 9. Precipitación anual en el cantón Baños de Agua Santa 36
Tabla 10. Mapa geológico del cantón Baños de Agua Santa 37
Tabla 11. Población urbana y rural. 39
Tabla 12. Porcentaje de cobertura de servicio de recolección: urbano 40
Tabla 13. Porcentaje de cobertura de servicio de recolección: rural 40
Tabla 14. Generación y densidad compactada de RSU 40
Tabla 15. Capacidad del relleno sanitario 44
Tabla 16. Vida útil de celda #2 44

Tabla 17. Proyección de demanda de volúmenes 45
Tabla 18. Dimensiones de la capa de cobertura final 46
Tabla 19. Comparación de límites de descarga con normativa ambiental 51
Tabla 20. Presupuesto para el cierre técnico 54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema de un relleno sanitario Moderno 21
Ilustración 2. Esquema de cobertura final con geomembrana 22
Ilustración 3. Esquema de cobertura final sin geomembrana 22
Ilustración 4. Diseños para quema de biogases 26
Ilustración 5. Altura recomendad para lámina metálica o capuchón 26
Ilustración 6. Ubicación del relleno Sanitario del Cantón Baños de Agua Santa. 30
Ilustración 7. Ubicación del relleno sanitario, respecto al centro de la ciudad. 33
Ilustración 8. Mapa del área de influencia directa e indirecta del Relleno Sanitario 34
Ilustración 9. Principales ríos y quebradas del cantón Baños de Agua Santa 35
Ilustración 10. Mapa geomorfológico del área de estudio 38
Ilustración 11. Ubicación del caserío Juive Grande respecto al cantón Baños de Agua Santa 41
Ilustración 12. Diseño de cunetas de coronación 49
Ilustración 13. Diseño de estructura para quema de gases 50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de población por parroquias 39
Figura 2. Población por sexo de la comunidad Juive Grande 41
Figura 3. Población económicamente activa en Juive Grande 42
Figura 4. Nivel de educación de población de Juive Grande 42
Figura 5. Procedencia principal de agua recibida en las viviendas de la comunidad Juive Grande 43
Figura 6. Disponibilidad de electricidad en la comunidad Juive Grande 43
Figura 7. Diseño de la capa de cobertura final 46

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Intensidad de lluvia 47
Ecuación 2. Caudal por método racional 47
Ecuación 3. Ecuación de la Continuidad 48
Ecuación 4. Ecuación del área por métodos geométricos 48
Ecuación 5. Ecuación del perímetro 49
Ecuación 6. Eficiencia de remoción de DQO del sistema 52
Ecuación 7. Eficiencia de remoción de EDBO del sistema 52
Ecuación 8. Concentración de la DQO en el efluente 53
Ecuación 9. Concentración de la DBO en el efluente 53

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La sociedad global contemporánea se encuentra sumida en el consumismo, que al enmarcarse en este modelo generan residuos o desechos de características simples y complejas de acuerdo a su variada composición, entre ellos los denominados residuos sólidos urbanos (RSU), que surgen de las diversas actividades realizadas en centros urbanos y sus zonas de influencia. (Cabrales Herrera & Barrera Vioteth, 2017)

Las principales actividades realizadas en los centros urbanos o poblacionales que generan RSU, son las actividades humanas en las viviendas o también denominados residuos sólidos domiciliarios (RSD) que representan un promedio del 67% de los RSU generados en América Latina y el Caribe además que el promedio regional de generación per cápita de RSD y RSU es de 0,6 kg/hab/día y 0,9 kg/hab/día respectivamente. (Grau, Terraza, Rodríguez Velosa, Rihm, & Sturzenegger, 2015)

De esta manera los RSU representan y obligan a las autoridades responsables de su manejo a implementar y mejorar continuamente: los sistemas y la capacidad de gestión, ya que al no tomar acciones los riesgos y los costos afectaran directamente a la población y ecosistemas, a causa por el inadecuado manejo y disposición final. (Saldaña Durán, Hernández Rosales, Messina Fernández, & Pérez Pimienta, 2013)

El manejo integral de los residuos sólidos en el Ecuador es responsabilidad de los gobiernos autónomos descentralizados (GADS) municipales o metropolitanos, además de generar alternativas de gestión y determinar procedimientos adecuados para las distintas fases de gestión, entre ellas: barrido, recolección y transporte, almacenamiento temporal, acopio y transferencia, tratamiento y disposición final. (Código Orgánico Del Ambiente, 2017). La gestión de los RSU del cantón Baños, es responsabilidad del gobierno autónomo descentralizado municipal Baños de Agua Santa (GADBAS), la disposición final de los residuos lo hacía en un vertedero a cielo abierto vigente desde el año 2005, ingresando en un proceso de transición a relleno sanitario en el mes de agosto del 2017.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Los residuos sólidos urbanos generados por los pobladores del cantón Baños de Agua Santa se disponen en el relleno sanitario, ubicado en la comunidad de Juive Grande, aproximadamente a 7 km del centro de la ciudad.

El gobierno autónomo descentralizando del cantón es el responsable de la disposición final de dichos residuos, en predios municipales se dispone de dos celdas operativas y construidas bajo el método de trinchera o zanja, en la actualidad se encuentra operando la celda emergente # 2, depositándose aproximadamente 16 toneladas diarias de residuos.

Al terminar la vida útil de un celda en un relleno sanitario se debe realizar el cierre, con el fin de restaurar el terreno, asegurar una impermeabilidad máxima y en efecto minimizando la generación de lixiviados. (Röben, 2002)

Dicha etapa se encuentra formalizada con el diseño o plan de cierre, en el cuál se debe considerar los aspectos: obras, actividades de control sanitario y ambiental haciendo énfasis al tratamiento y disposición de lixiviados, control: biogás, escorrentías, vectores (insectos y roedores), cronograma de actividades. (REDRRSS - MINAM, 2008)

Es así que el objeto de esta investigación es diseñar el cierre técnico de la celda # 2 a partir de la proyección de la demanda de volúmenes de desechos sólidos y material de cobertura, análisis que permitirá conocer el tiempo de vida útil de dichas celdas además de determinar la viabilidad económica.

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer un diseño para el cierre técnico del relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa, con el fin de mitigar los impactos ambientales luego de la operación de este tipo de infraestructuras, bajo criterios técnicos y en cumplimiento a la normativa ambiental vigente.

Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual del relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa.
- Elaborar el diseño del cierre técnico del relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

ANTECEDENTES

El GADBAS en el mes de julio de 2017 bajo resolución administrativa Nº 037-GADBAS-UCCP-2017 COTO GADBAS-2017-002 adjudica la contratación del proyecto "Construcción del cierre técnico del vertedero actual y unificación de las celdas emergentes 1 y 3", el mismo que inicia el proceso constructivo en el mes de agosto del 2017". Iniciando el proceso de transición de vertedero a relleno sanitario. En la actualidad se encuentra operando la celda emergente No. 2.

BASES TEÓRICAS

Residuos Sólidos

Según la (UCP, 2016) son todos los materiales eliminados por su generador, resultantes de las diferentes actividades productivas.

Clasificación de los residuos sólidos

Clasificación por su estado

De acuerdo al estado físico que presentan pueden ser de tres tipos: sólidos, líquidos y gaseosos, tomando en cuenta que estos términos pueden ser de carácter representativos ya que llevados a la práctica o a su manejo se lo cataloga de diferente manera, un ejemplo muy claro es un tambor que contiene aceite usado, podíamos decir que es un residuo líquido, pero al estar contenido en un recipiente sólido y al transportarlo se lo realizará como residuo sólido es decir en vehículos mas no se lo extraerá a través de sistemas hidráulicos. (Huanca Chamba, 2016)

Clasificación por su origen

Definidos principalmente por la actividad que los origina, según (MINAM, 2016) los más representativos son:

a. **Residuos industriales.-** Son todos los residuos derivados de las actividades productivas extractivas a pequeña, mediana y gran escala entre las principales se encuentran: minería, energía, pesqueras, química, manufacturera, y similares generando lodos, cenizas, escorias, plásticos, papeles, metales que por lo general contienen o se mezclan con sustancias durante su ciclo productivo.
b. **Residuos municipales.-** Conocidos como (RSM), residuos sólidos municipales provienen principalmente de los hogares, construcciones, establecimientos comerciales de servicio. El manejo y su generación varían de acuerdo el desarrollo urbano y la industrialización, es así que los sectores que mayor ingreso generan mayores volúmenes per cápita y su revalorización tendrán un valor económico alto.
c. **Residuos domiciliarios.**- Denominados residuos sólidos urbanos (RSU), generados por actividades domésticas o establecimientos similares.

Diagnóstico de las condiciones actuales del servicio de disposición final

Su objetivo principal es obtener información necesaria para la obtención de los criterios de diseño en las diferentes etapas del relleno sanitario. Permitiendo evaluar la problemática y proponer las alternativas de mejoramiento. (SEDESOL, 2005)

Según CEPEP, 2008; la generación y composición de los RSU depende de los siguietes factores:

a) Ingreso.- A mayor ingreso, mayor tasa de producción pér capita.
b) Crecimiento Poblacional.- A mayor tasa de crecimiento, mayor genración.
c) Composición.- Depende de lo hábitos de consumo y producción variando en función del tiempo.

Oferta

De acuerdo a los factores antes mencionados se puede determinar la oferta de la siguiente manera:

1) Recopilación histórica de la cantidad de residuos depositados
2) Estimación de acuerdo con la capacidad del actual sistema de recolección
3) Estimación con visitas de campo a los sitios de disposición de RSU

Proyección de la demanda

Se puede estimar en base a dos variables: el crecimiento proyectado de la población y la evolución de la GPRS de una determinada localidad. (CEPEP, 2008)

Componentes de un relleno sanitario

(Asociación Methane to Markets, 2010), establece los componentes de un relleno sanitario de la siguiente manera:

- Impermeabilización base
- Sistema de captación y tratamiento de lixiviados
- Sistemas de cobertura: final, diaria e intermedia
- Sistema de control de agua pluvial
- Sistema de control y captura del biógas



Ilustración 1. Esquema de un relleno sanitario Moderno
Fuente: (Asociación Methane to Markets, 2010)

DISEÑO DE COBERTURA FINAL

Se encuentra formada por varias capas que cumple diferentes funciones siendo las principales: evitar infiltraciones al relleno y la generación de emisiones de biogás incontroladas. (SEMARNAT, 2009)

Sistema típico de cobertura final con geo membrana

Las capas recomendadas para sustituir a la geomembrana se establecen de la siguiente manera: 20 cm de suelo compactado en contacto con los residuos sólidos, 40 cm de materia arcilloso de baja permeabilidad, 30 cm de tierra vegetal. (Weihs, 2011)



Ilustración 2. Esquema de cobertura final con geomembrana
Fuente: (Asociación Methane to Markets, 2010)

Sistema de cobertura final sin geo membrana

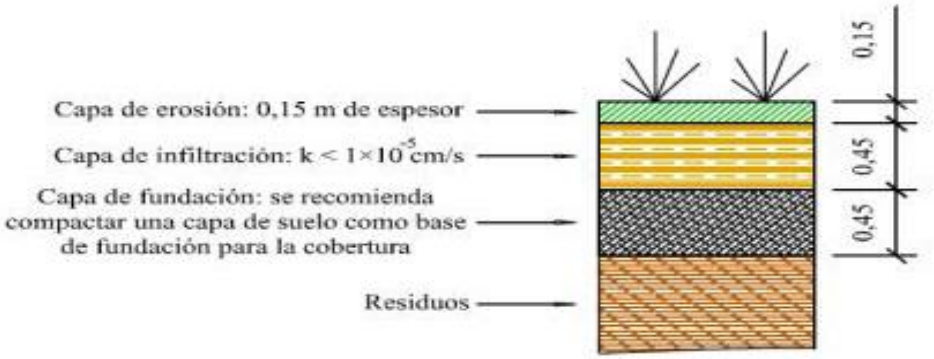


Ilustración 3. Esquema de cobertura final sin geomembrana
Fuente: (González, 2014)

Permeabilidad de los suelos

Es la característica que poseen los suelos para infiltrar agua a través de sus poros, mientras más permeable sea un suelo mayor será su infiltración, según la clase de suelos: arcilloso, limoso y arenoso en este orden la permeabilidad va desde muy lenta a muy rápida, bajo criterios técnicos se encuentra determinada por el índice de compacidad (k), obtenido mediante análisis de laboratorio. (FAO, 2013)

Tabla 1. Coeficientes de permeabilidad acorde a la clase de suelo

Clases de permeabilidad de los suelos	Coeficiente de permeabilidad (K en m/s)	
	Límite inferior	Límite superior
Permeable	2×10^{-7}	2×10^{-1}
Semipermeable	1×10^{-11}	1×10^{-5}
Impermeable	1×10^{-11}	5×10^{-7}

Permeabilidad de los suelos para obras de ingeniería civil

Fuente: (FAO, 2013)

Impermeabilización y revestimiento de suelos con la aplicación de geo membranas

(MTOP, 2013), recomienda para este tipo de trabajos, la colocación de geomembrana sobre suelo natural debe ser de fibra sintética (PVC polietileno), utilizada en la construcción de carreteras, lagunas de oxidación, piscinas, construcción de túneles, debido a su baja permeabilidad. La calidad del material deberá cumplir las características y especificaciones técnicas mínimas detalladas a continuación.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de geomembrana

Especificaciones Técnicas			
DESCRIPCION	**NORMA**	**UNIDAD**	**VALORES MÍNIMOS REQUERIDOS**
Resistencia a la tensión	ASTM D 6693 Tipo IV	KN / m	**15**
Resistencia a la rotura	ASTM D 6693 Tipo IV	KN / m	**27**
Elongación al límite elástico		%	**12 - 13**
Elongación de rotura		%	**700**
Resistencia al rasgado	ASTM D - 1004	N	**125**
Resistencia a la perforación	ASTM D - 4833	N	**300**
Cantidad de negro de humo	ASTM D - 1603	%	**2 - 3**
Densidad	ASTM D - 1505	g / cm^3	**0,94**
Espesor promedio mínimo		mm	**1,00**

Fuente: (MTOP, 2013)

MANEJO Y CONTROL DE AGUA PLUVIAL O ESCORRENTÍA

Al disponer de un sistema para el control y manejo de la escorrentía superficial, los líquidos que atraviesan la capa de cobertura final serán manejados adecuadamente, evitando así la acumulación de aguas lluvias al pie de los taludes reconformados, evitando la erosión y desestabilización de la capa de tierra vegetal. (Méndez, 2015)

Cunetas de coronación o canales de desviación

Zanjas implementadas en el terreno natural cercanas a los taludes con el objetivo de interceptar el agua pluvial que se filtra ladera abajo, evitando así: erosión, incremento del caudal y arrastre de la cuneta. (Castillo & Morales, 2015)

Clasificación del suelo en la construcción para zanjas y excavaciones

Según (OSHA, 2000), clasifica a los suelos de la siguiente manera:

Tipo A.- Dentro de esta clasificación se encuentran los suelos arcillosos con sus combinaciones: arcillo limoso, arcillo arenoso y franco arcilloso además de poseer un alta fuerza de compresión: 1,5 toneladas por pie cuadrado.

Tipo B.- Se encuentra la grava, el limo el suelo franco limoso y presentan una fuerza de compresión de 0,5 y 1.5 toneladas por pie cuadrado.

Tipo C.- Se encuentra los suelos de tipo granular como la grava y arena, presenta filtraciones y una baja fuerza de compresión: 0.5 toneladas por pie cuadrado.

Coeficiente de escorrentía de acuerdo al tipo de suelo

El cociente entre la precipitación y la escorrentía provocada por un aguacero se la denomina coeficiente de escorrentía, dependiente de factores como: tipo de lluvia, cantidad, intensidad y distribución en el tiempo tipo de suelo, tipo cobertura vegetal existente, para la cual existe una tabla de apoyo para la selección del coeficiente de acuerdo al tipo de suelo. (Paredes, 2007)

Para el relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa, de acuerdo a los estudios de mecánica de suelos, clasificación de suelos, a la cubierta vegetal seleccionada para el cierre técnico (kikuyo) el coeficiente de escorrentía correspondiente es de 0,3.

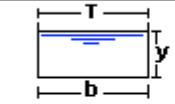
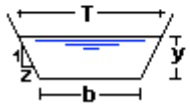
Tabla 3. Coeficientes de escorrentía acorde al tipo de suelo

Tipo de vegetación	Condición hidrológica	Tipo de suelo		
		A	B	C
Pastizales o pastos	Pobre	0,09	0,26	0,27
	Regular	0	0,19	0,3
	Buena	0	0,03	0,17

Adaptado de: (Paredes, 2007)

Relaciones geométricas de las secciones transversales para la construcción de zanjas

Tabla 4. Relaciones geométricas

Tipo de sección	Área A (m2)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$

Fuente: (CEPES, 1990)

MANEJO Y CONTROL DE GASES

Gestión de gases

Según (MMAyA, 2014), la materia orgánica depositada en la celda del relleno sanitario soporta un proceso de degradación, generando gases como CH_4, CO_2 y H_2O. Estos elementos se pueden extraer mediante dos tipos de sistemas:

- Sistemas de control activos: Extracción del gas mediante un soplador, se quema el biogás a partir de implementación de antorchas, necesita la implementación de un sistema interconectado de pozos de extracción.
- Sistemas de control pasivos: Proceso natural de difusión de los gases, se quema el biogás a través de quemadores individuales.

Quemas de los gases

Al realizar la extracción de gases por medios pasivos, es necesaria la quema del gas. Una vez colocada la última capa de residuos sólidos se instala el sistema, el cual debe estar protegido por un tubo de concreto o alguna estructura. El sistema debe tener una altura mínima de 1 m. El diámetro de la tubería recomendada es de 4 a 6 pulgadas. Es importante transforma el metano a gas carbónico ya que su aporte al efecto invernadero es 21 veces mayor. (GRUPO-EPM, 2014)

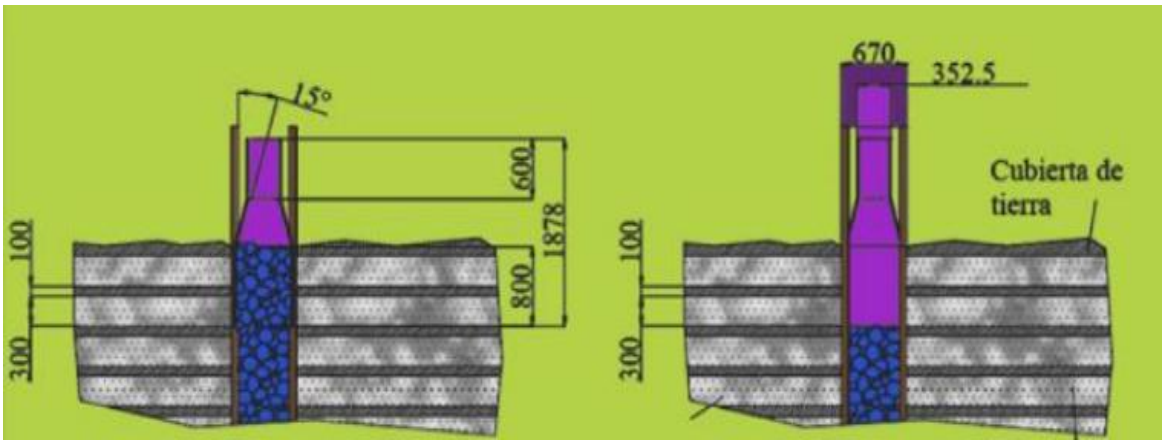


Ilustración 4. Diseños para quema de biogases
Fuente: (MMAyA, 2014)

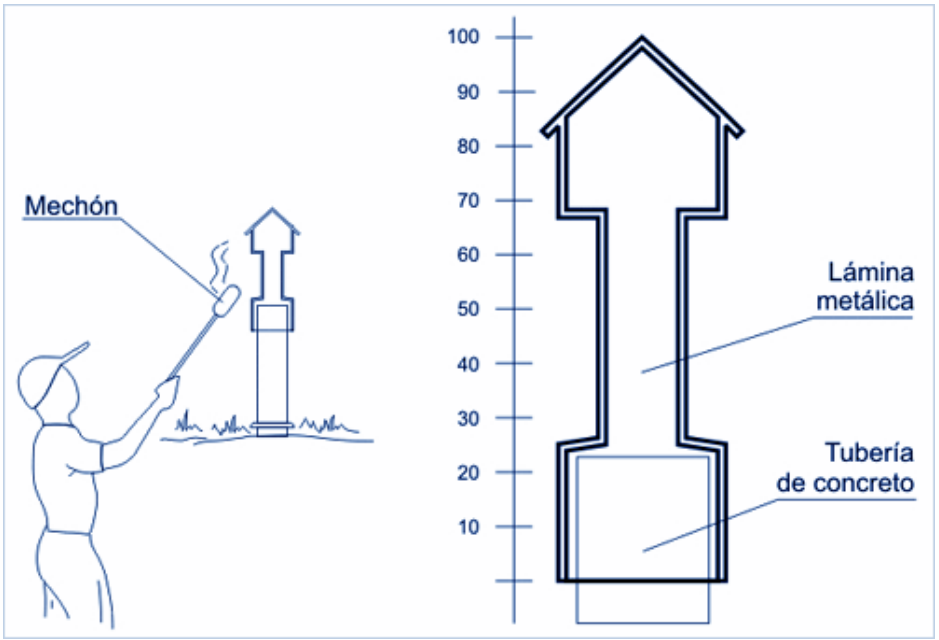


Ilustración 5. Altura recomendad para lámina metálica o capuchón
Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

MANEJO Y CONTROL DE LIXIVIADOS

Los sistemas de captación y transporte de lixiviados definidos como automáticos (sistemas extracción) y manuales (gravedad).

Tecnologías para el tratamiento de lixiviados

El tratamiento de lixiviados varía según la edad, ya que tienden a madurar conforme al tiempo, razón por la cual debe emplearse un tratamiento combinado a continuación se detalle una serie de tratamientos respecto a su rendimiento para eliminación de componentes presentes en los lixiviados. (Arbeláez Meza & García Sierra, 2010)

Tabla 5. Rendimientos de tratamientos de lixiviados

Componente a eliminar en el lixiviado	Rendimiento del tratamiento						
	Aerobio	Anaerobio	Evaporación	Recirculación	Membranas	Sistemas Naturales	UASB
DBO	Muy alto	Alto	Muy Alto	Intermedio	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
Nutrientes	Alto	Muy Bajo	Muy Alto	Bajos	No	No	Variable
Metales	Intermedio	Alto	Muy Alto	Intermedios	Alto	Alto	Alto
COV	Alto	+	Muy Alto	+	No	+	Variable
Patógenos	Bajo	Bajo	Muy Alto	Bajo	Muy Alto	Variable	Variable

Fuente: (Arbeláez Meza & García Sierra, 2010)

Lixiviados jóvenes y maduros

La alta carga orgánica es la principal características de los lixiviados jóvenes, convirtiéndolos susceptibles a tratamientos biológicos (DBO5), además de contener gran cantidad de sólidos suspendidos totales, nitrógeno amoniacal, carbono orgánico y elevada acidez, tendencia a la producción de metales pesados. Mientras que los lixiviados maduros presentan baja carga orgánica, neutros, bajo contenido de carbono orgánico y general menor contenido de metales pesados, siendo aconsejable tratarlos por medios físicos-químicos. (Arbeláez Meza & García Sierra, 2010)

MANEJO Y CONTROL DE LA EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN

Con el fin de proteger la erosión y sedimentación de las obras implementadas para el cierre técnico de las celdas, dispongan de coberturas con plantas autóctonas a través de la reforestación e integración paisajística de los predios. (Huanca Chamba, 2016)

ASPECTOS LEGALES EN LA NORMATIVA ECUATORIANA

Tabla 6. Resumen de normativa ecuatoriana aplicable al proyecto

Constitución de la República del Ecuador – R.O. 449 del 20 de octubre de 2008.	En la sección II, trata sobre el Medio Ambiente, siendo el Estado el responsable de proteger el derecho a la población a vivir en un ambiente sano y equilibrado, además de promover el uso de tecnologías y energías renovables, a través de medias de precaución y restricción para las actividades que ocasione cualquier tipo de daño. Se reconoce el derecho a la naturaleza, como a la restauración, recuperación y conservación a, es así que los recursos naturales pertenecen al patrimonio del Estado.
Código orgánico de organización territorial, autonomía y desarrollo – R.O. 303 del 19 de Octubre del 2010.	**En los Art 3 y Art 28** Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollaran y garantizaran el buen vivir de la población a través de sus competencias, promoviendo el desarrollo sustentable, planificando de manera coordinada y garantizando el derecho al hábitat y a la vivienda.
Código orgánico del Ambiente – R.O. 983 – 12 de abril del 2017.	Su objetivo principal es garantizar el derechos a la población a vivir en un ambiente sano y proteger los derechos de

	la naturaleza, conservando de manera sostenible el patrimonio natural, así como comunas, pueblos y nacionalidades, además de establecer la obligatoriedad en la reparación integral en los daños ambientales en el caso de existir. **CAPITULO II** **GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS SOLIDOS NO PELIGROSOS** Establece la responsabilidad y obligatoriedad de los GADS municipales o metropolitanos acerca de la gestión integral de residuos sólidos en cuanto al manejo de residuos sólidos no peligros y desechos sanitarios generados en su jurisdicción y fomentar en los generadores alternativas de gestión, y el tratamiento y correcta disposición final de los desechos que no pueden ingresar nuevamente en un ciclo de vida productivo.

Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

LOCALIZACIÓN

El relleno sanitario se ubica en la provincia de Tungurahua, cantón Baños de Agua Santa en el predio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Baños de Agua Santa (GADBAS). Políticamente el cantón se encuentra limitado al norte con el cantón Tena, al sur con los cantones Penipe y Palora, al este con el cantón Mera y al oeste con el cantón Patate, consta de 5 parroquias: Lligua, Ulba, Rio verde, Rio negro y Baños de Agua Santa, dentro de este último se encuentra el sector de Juive Grande mismo en el que se ubica el relleno sanitario.

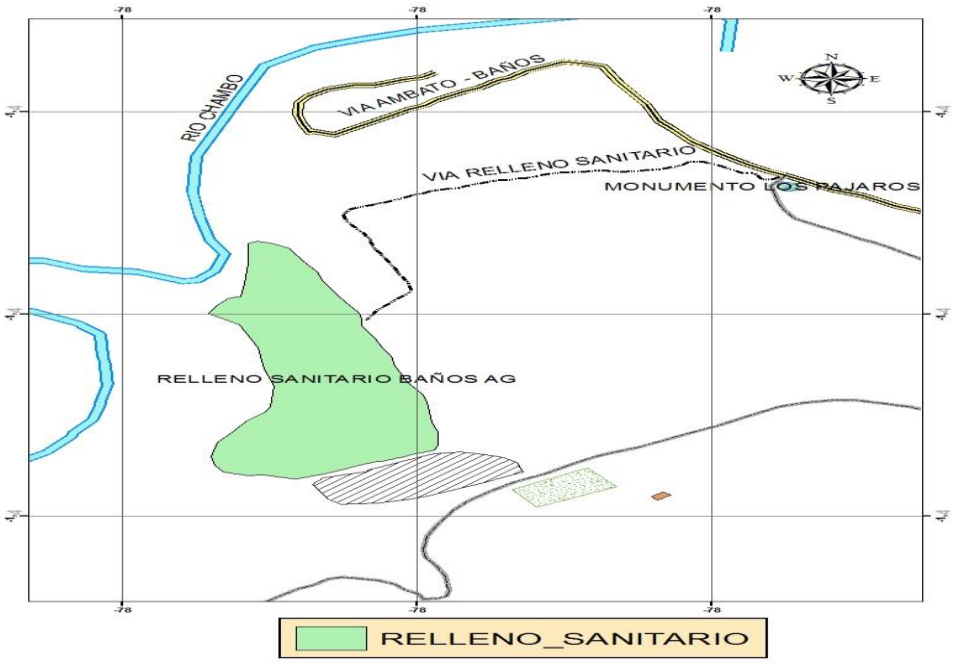


Ilustración 6. Ubicación del relleno Sanitario del Cantón Baños de Agua Santa.
Fuente: Google Earth, 2018.
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se realizará una investigación de tipo diagnóstica y exploratoria en el área de estudio para determinar el estado del relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa, determinando los aspectos sanitarios y ambientales a controlarse para un adecuado diseño de cierre técnico.

MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Diagnosticar la situación actual del relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa.

Inicialmente es necesario el levantamiento de la línea base del relleno sanitario, para conocer el estado actual de los factores demográficos, sociales y ambientales en el área de influencia directa e indirecta.

Partiendo de la revisión bibliográfica existente sobre la zona de estudio para cada uno de los componentes ambientales, entro los recursos principalmente usados están:

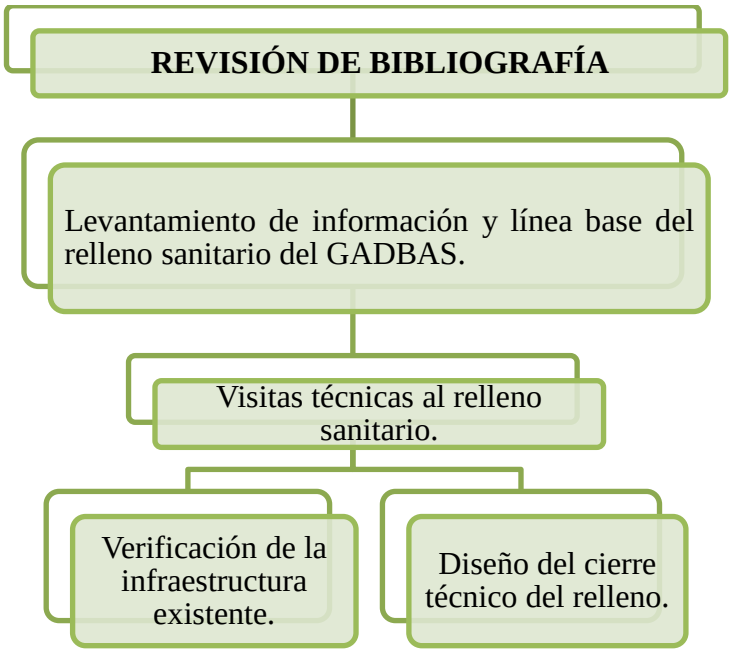
- Hojas topográficas
- Mapas temáticos: Geología, Ecología, Suelos, Morfología.
- Anuarios Meteorológicos
- Información bibliográfica de estudios puntuales realizados en el sitio del proyecto.
- Base de datos sociales: INEC.

Elaborar el diseño del cierre técnico del relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa.

Es necesario comprender los principios básicos de diseño y operación de las instalaciones sanitarias, con el fin de identificar los elementos que afectan al diseño del cierre técnico, partiendo de la revisión bibliográfica del estado del arte, seleccionando las tecnologías apropiadas a la realidad ecuatoriana, desde la perspectiva técnica y económica, considerando los siguientes aspectos.

- Capa de cobertura final
- Manejo y control de la escorrentía superficial
- Manejo, control de la erosión y sedimentación
- Manejo de lixiviados
- Manejo de biogás

Diseño de la Investigación



Elaborador por: Diego F. Medina, 2018.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

INFORMACIÓN GENERAL DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA

Ubicación geográfica del sitio de estudio

El relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua, goza de una ubicación transcendental entre los Andes y la Amazonía Ecuatoriana. Políticamente el cantón se encuentra dividido por las siguientes parroquias rurales: Ulba, Lligua, Río Verde, Río Negro y Baños de Agua Santa.

Tabla 7. Límites del cantón Baños de Agua Santa

Norte	Cantón Tena
Sur	Cantones Penipe y Palora
Este	Cantón Mera
Oeste	Cantón Patate

Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

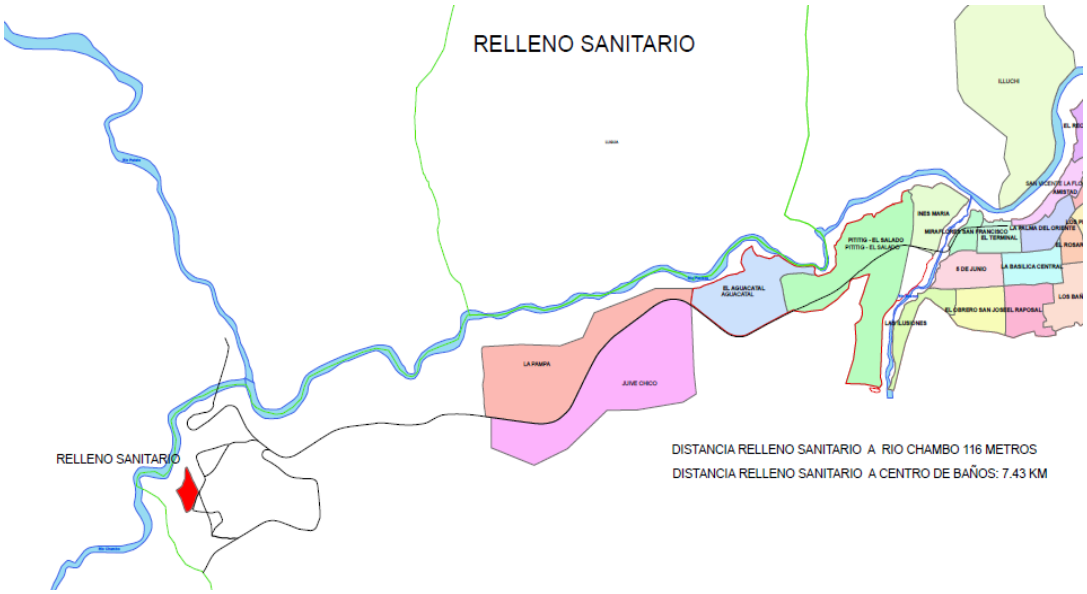


Ilustración 7. Ubicación del relleno sanitario, respecto al centro de la ciudad.
Fuente: GADBAS, Dirección de Planificación y Urbanismo, 2018.
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Área de influencia directa e indirecta

Según el GADBAS el área de influencia directa que ha considera para estas instalaciones es de 42,66 Has incluido el relleno sanitario, considerando que el caserío Juive Grande y el río chambo son los lugares más cercanos, mientras que para el área de influencia indirecta 139,48 Has.

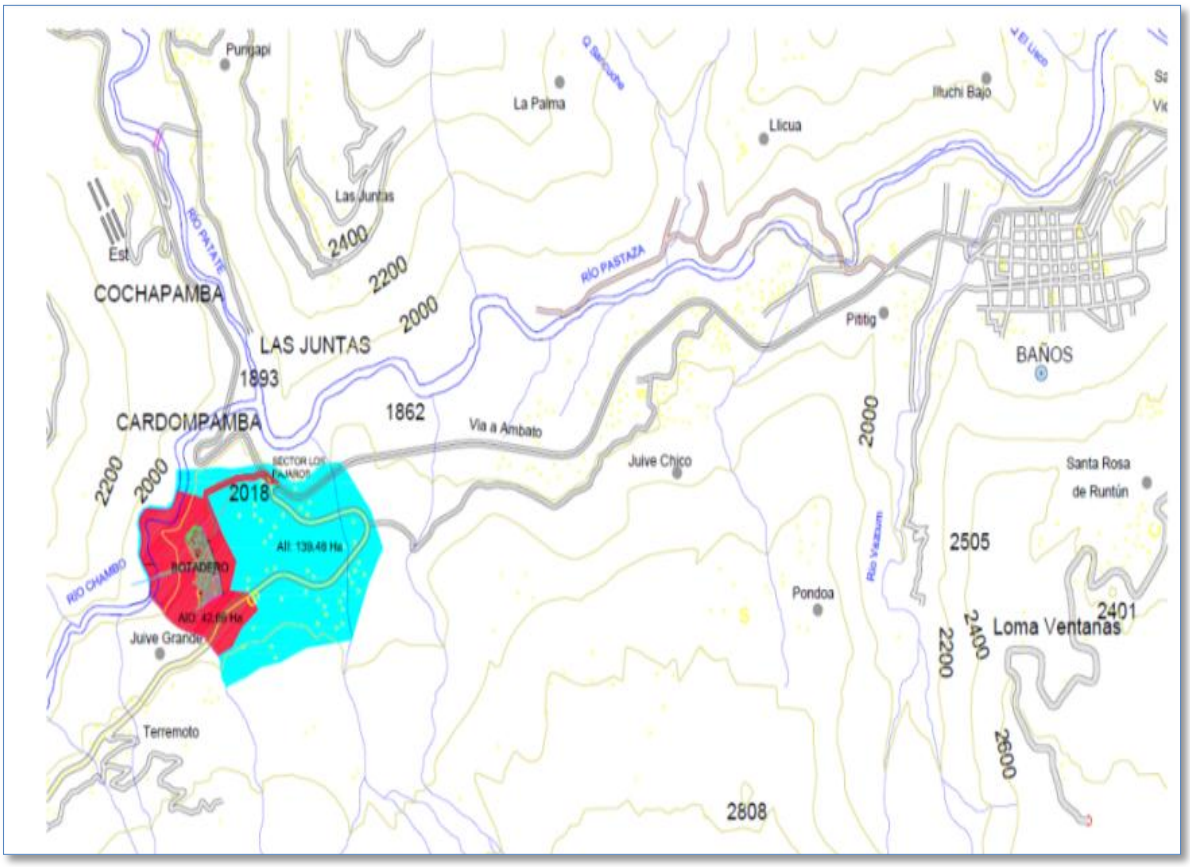


Ilustración 8. Mapa del área de influencia directa e indirecta del Relleno Sanitario
Fuente: GADBAS, Dirección de Planificación y Urbanismo, 2018.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA

Hidrología

Por la ubicación en la cordillera de los Andes, la topografía del cantón Baños de Agua Santa presenta irregularidades, características es este macizo montañoso. Las fuentes hídricas nacen en la cumbre del volcán Tungurahua y desembocan en el río Pastaza, entre las formaciones sobresalientes se tiene: riachuelos, quebradas, cascadas, afloramientos

naturales de aguas termales, que son aprovechados turísticamente por el cantón. El relleno sanitario se ubica en la subcuenca del río Chambo perteneciente a la cuenca hidrográfica del río Pastaza.

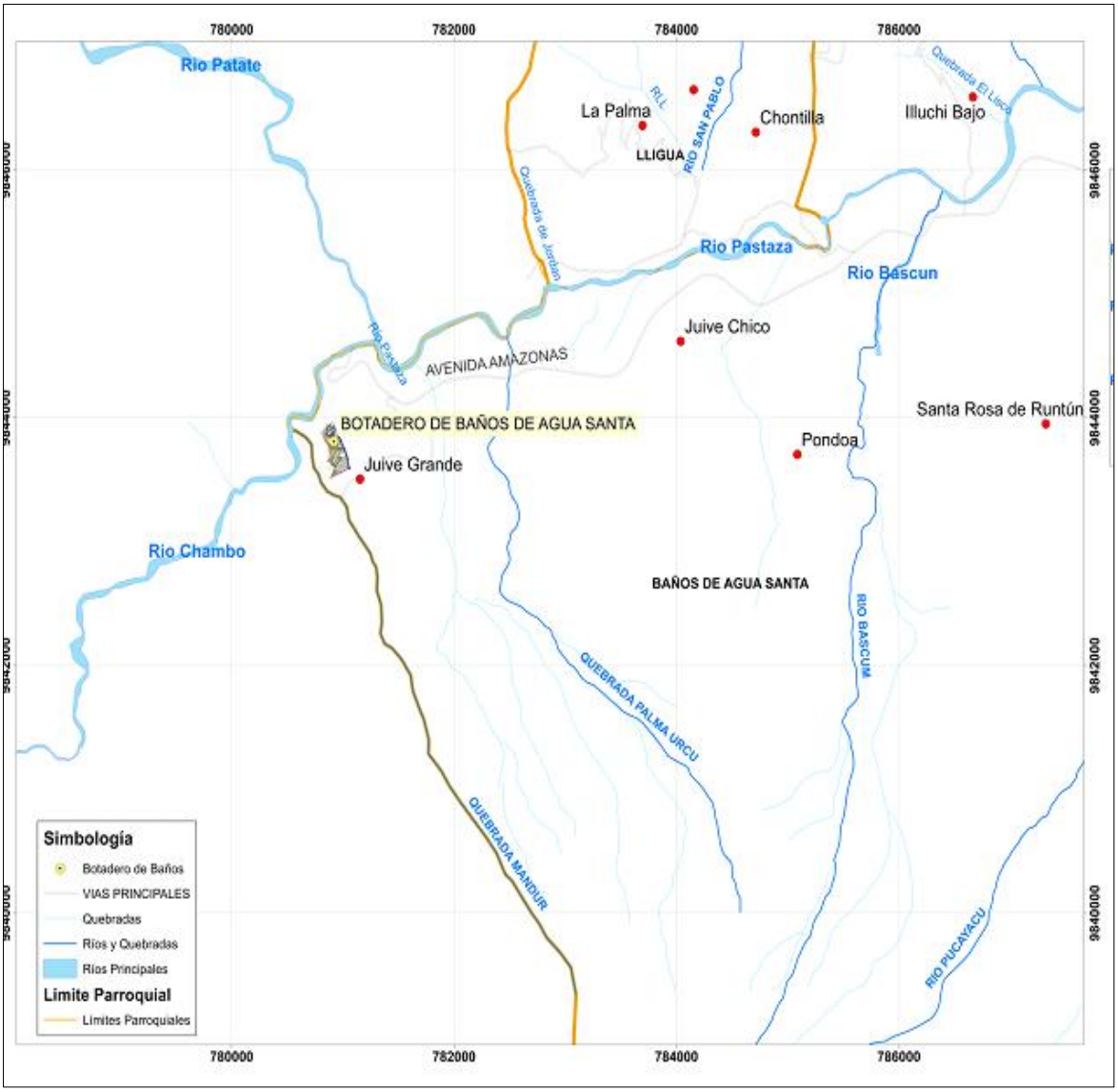


Ilustración 9. Principales ríos y quebradas del cantón Baños de Agua Santa
Fuente: GADBAS, Dirección de Planificación y Urbanismo, 2016.

Meteorología

La estación meteorológica Baños M029, fue la base para el siguiente estudio.

Temperatura

La temperatura media anual del cantón es de 17, 89 º C, registrándose las los valores más altos y bajos durante el año 2016.

Tabla 8. Temperatura media anual en el cantón Baños de Agua Santa

	2014	**2015**	**2016**
T º media anual (º C)	17,73	17,63	18,32
T º máxima (º C)	19,40	19,00	21,50
T º mínima (º C)	16,00	16,30	14,40

Fuente: Anuario Meteorológico – Gobierno Provincial de Tungurahua.
Elaborado por: Diego. F. Medina, 2018.

Precipitaciones

La precipitación anual es un parámetro indispensable para varios cálculos de diseño a utilizarse en el cierre técnico, registrándose en el año 2016 una pluviosidad de 1639 mm.

Tabla 9. Precipitación anual en el cantón Baños de Agua Santa

	2014	2015	2016
Precipitación Anual (mm)	1000	1300	1369
Días de lluvia	77	86	220

Fuente: Anuario Meteorológico – Gobierno Provincial de Tungurahua.
Elaborado por: Diego. F. Medina, 2018.

Geología

Debido a la ubicación geográfica del cantón respecto a la cordillera Oriental de los Andes y el relleno sanitario al posicionares en las faldas del Tungurahua, las características de este tipo de formaciones: Cenizas de Tungurahua *(Pc")*, son capas delgadas de ceniza volcánica, correspondientes a la era Cuaternaria y litología Toba.

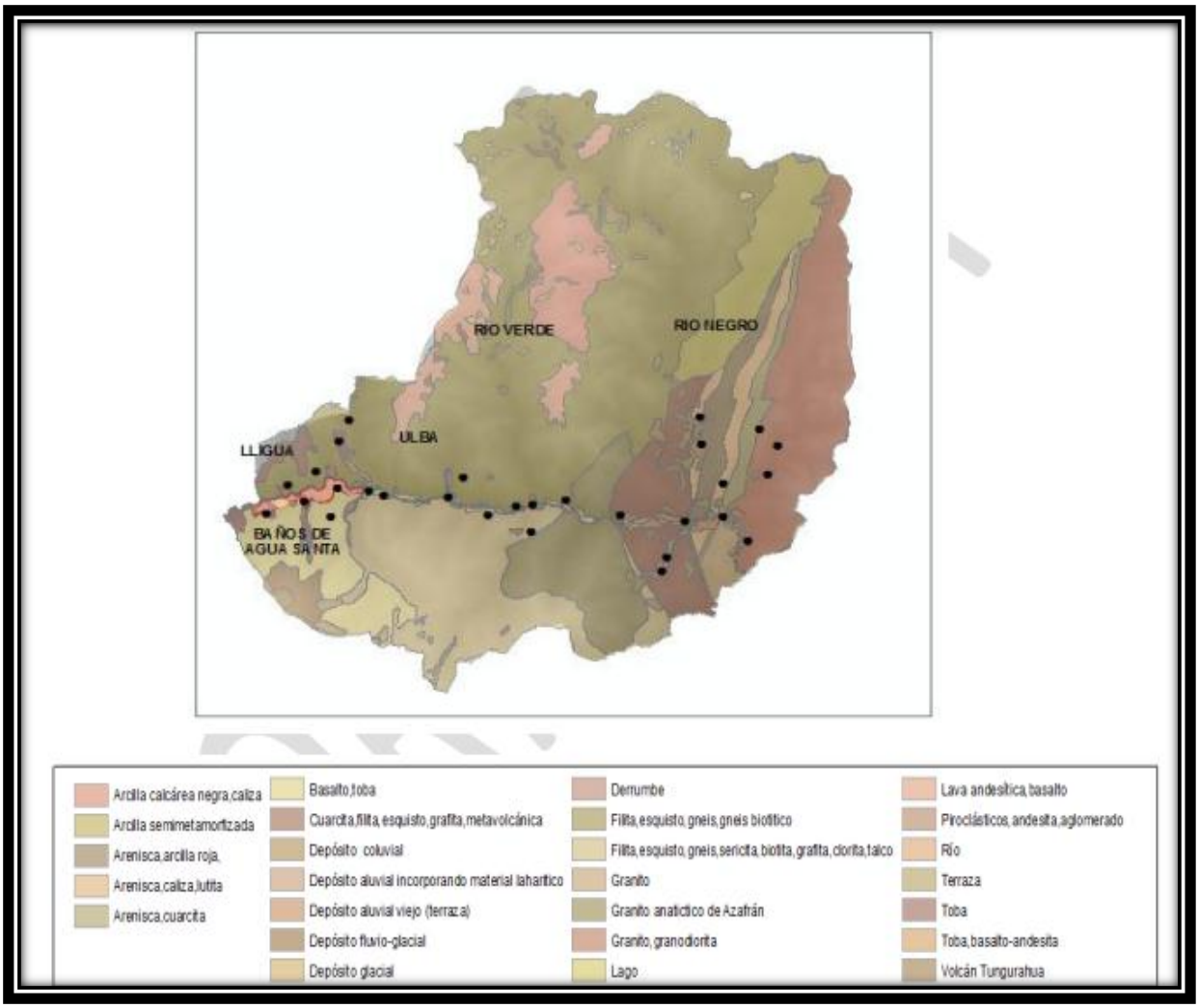


Tabla 10. Mapa geológico del cantón Baños de Agua Santa
Fuente: PDOT, 2014.

Geomorfología

El relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa presenta geomorfología en forma de flancos con vertientes moderadas, rocas basálticas, tobas y pendientes entre 25 y 40 %.

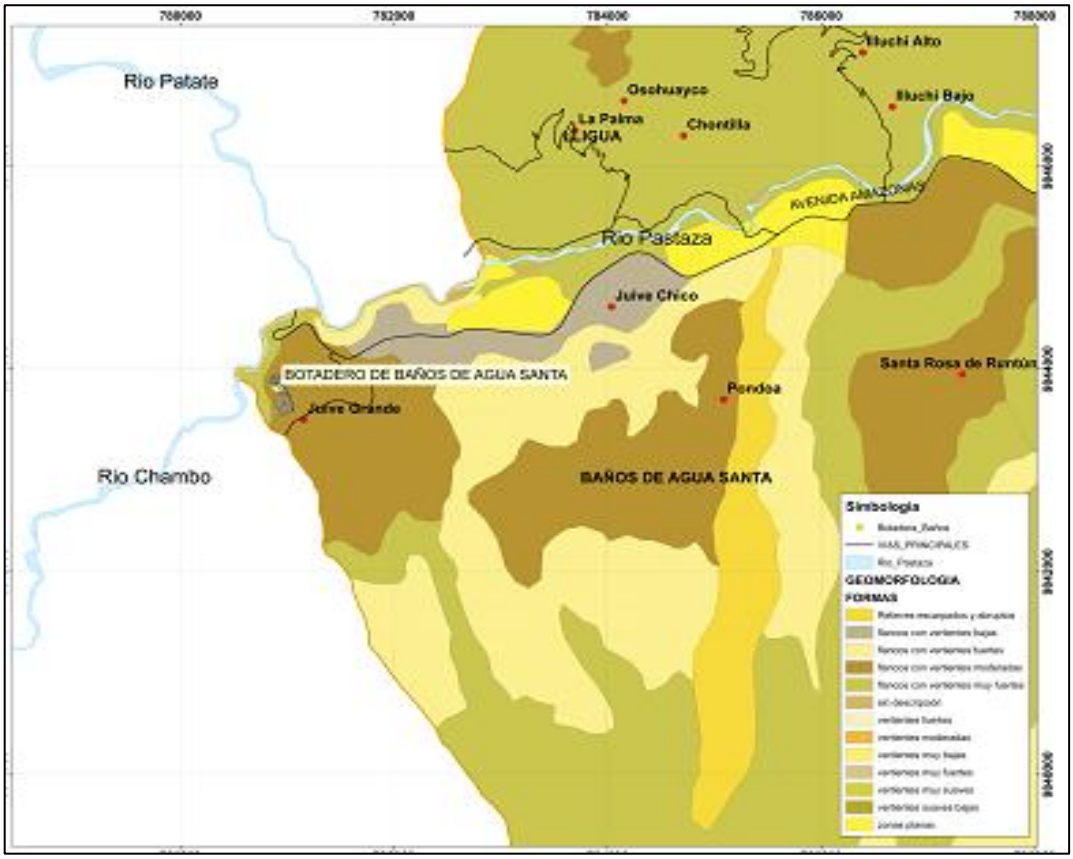


Ilustración 10. Mapa geomorfológico del área de estudio
Fuente: PDOT, 2014.

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA

El relleno sanitario en estudio se encuentra en el cantón Baños, parroquia Baños, a continuación se presenta información demográfica del cantón, obtenida a través del Instituto Nacional de Estadística y Censos del año 2010.

Población parroquial del cantón

Según (INEC, 2010) en el censo de población y vivienda del año 2010 el cantón Baños de Agua Santa tiene una población de 20.018 habitantes, de los cuales 9.984 son mujeres y 10.034 son hombres.

Tabla 11. Población urbana y rural.

	Parroquias					
	Baños	**Lligua**	**Río Negro**	**Río Verde**	**Ulba**	**Total**
Urbano	12.995	-	-	-	-	12.995
Rural	1.658	280	1.246	1.307	2.532	70.23
Total	14.653	280	1.246	1.307	2.532	**20.018**

Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

La parroquia Baños presenta mayor población en la zona urbana con 12.995 habitantes. La parroquia rural con menor población es la parroquia de Lligua con 280 habitantes y la de mayor población es la parroquia Ulba con 2.532 habitantes como se puede observar en la figura 1.

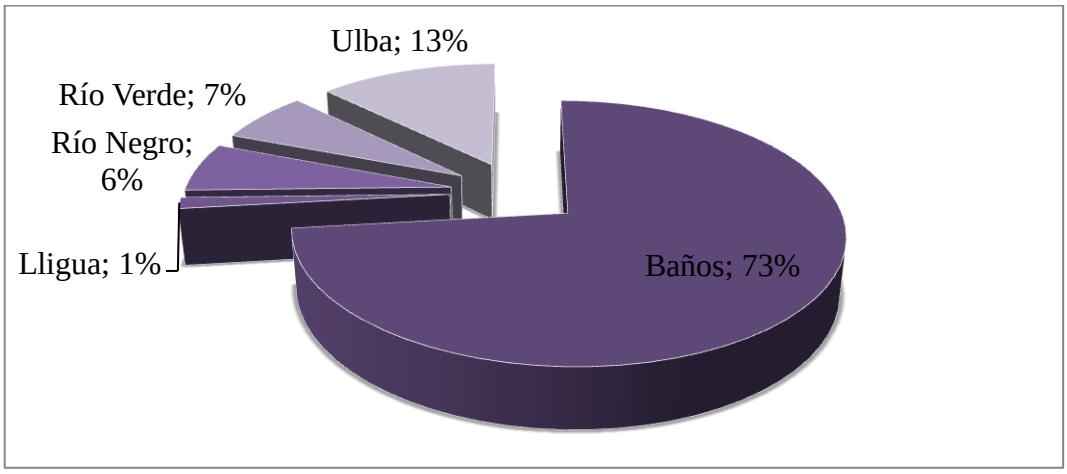


Figura 1. Distribución de población por parroquias
Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Cobertura del servicio de recolección: Urbano

El servicio de recolección de desechos sólidos por recolector en el cantón Baños alcanza a cubrir a 4.883 viviendas de un total de 5.691 a nivel urbano.

Tabla 12. Porcentaje de cobertura de servicio de recolección: urbano

CANTÓN	TOTAL VIVIENDA URBANA	COBERTURA URBANA DE RECOLECCIÓN 2010
BAÑOS	4883	97%

Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Cobertura del servicio de recolección: Rural

El servicio de recolección de desechos sólidos por recolector en el cantón Baños alcanza a cubrir a 4.883 viviendas de un total de 5.691 a nivel rural.

Tabla 13. Porcentaje de cobertura de servicio de recolección: rural

CANTÓN	TOTAL VIVIENDA RURAL	COBERTURA RURAL DE RECOLECCIÓN 2010
BAÑOS	2.046	66%

Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Generación y densidad de residuos sólidos urbanos

La población urbana y rural del cantón son los mayores generados de residuos, definidos por la prestación del servicio de recolección de residuos y la concentración de habitantes.

Tabla 14. Generación y densidad compactada de RSU

Generación Urbana	0,56	Kg/hab/día
Generación Rural	0,45	Kg/hab/día
Generación de mercados	2,25	Ton/día
Generación de industrias	4,78	Ton/día
Densidad compactada	600	kg/m3

Fuente: (INEC-AME, 2016)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA

El relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa se ubica en la comunidad de Juive Grande perteneciente a la parroquia Baños. La comunidad se encuentra dentro del área de influencia directa y cuenta con una cercanía de las viviendas al sitio de disposición final que varía en un rango entre 300 m y 1000 m.

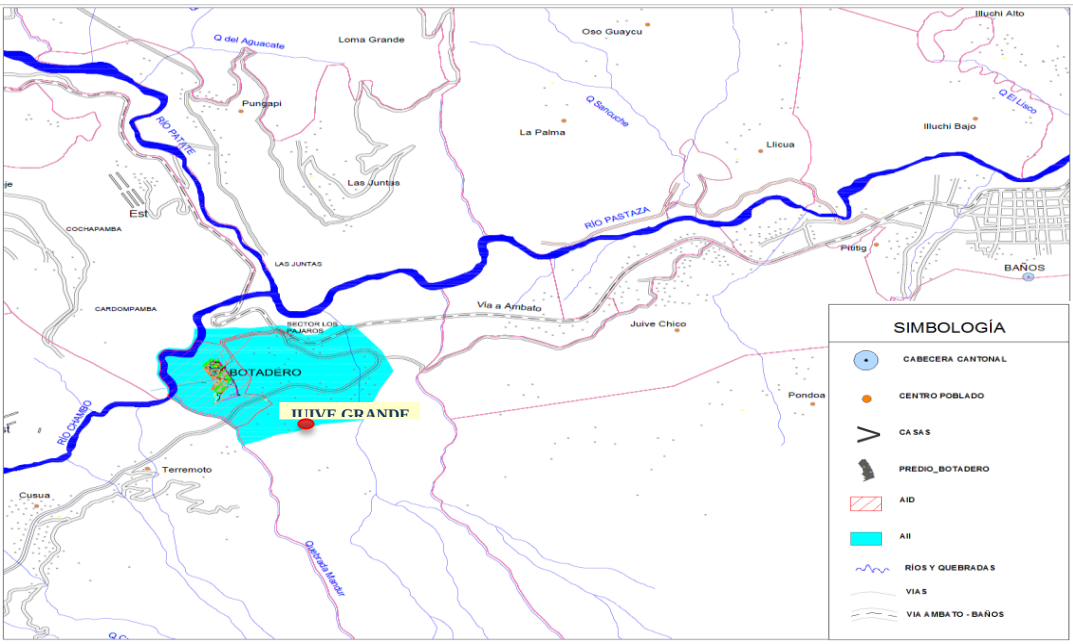


Ilustración 11. Ubicación del caserío Juive Grande respecto al cantón Baños de Agua Santa
Fuente: (Jefatura de Medio Ambiente del GADBAS, 2016)

Población

El poblado Juive Grande se encuentra conformado por 12 núcleos familiares y cuenta con las siguientes estadísticas de población.

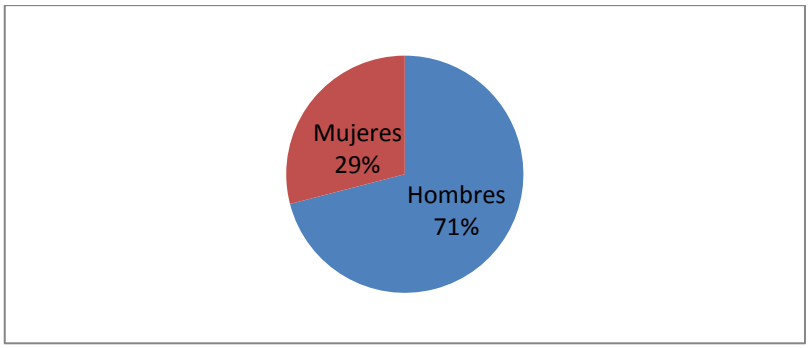


Figura 2. Población por sexo de la comunidad Juive Grande
Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Población económicamente activa

El 80% de la PEA se dedican a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, siendo los cultivos más extendidos en el sector el maíz, fréjol y tomate de árbol. El resto de los pobladores (20%) realizan las actividades de construcción y otras actividades de servicios.

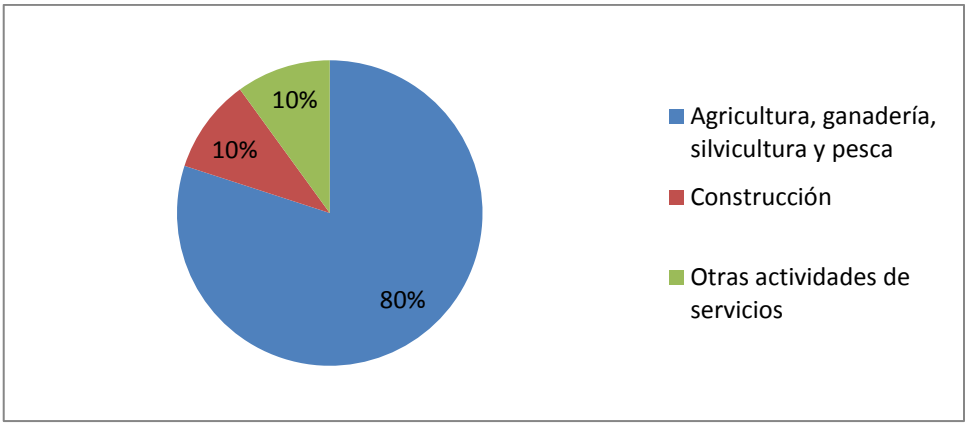


Figura 3. Población económicamente activa en Juive Grande
Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Educación

Otro aspecto importante que se debe mencionar es el nivel de educación existente en la población de Juive Grande, de acuerdo al Censo de Población y Vivienda del año 2010 el 96% de los habitantes sabe leer y escribir.

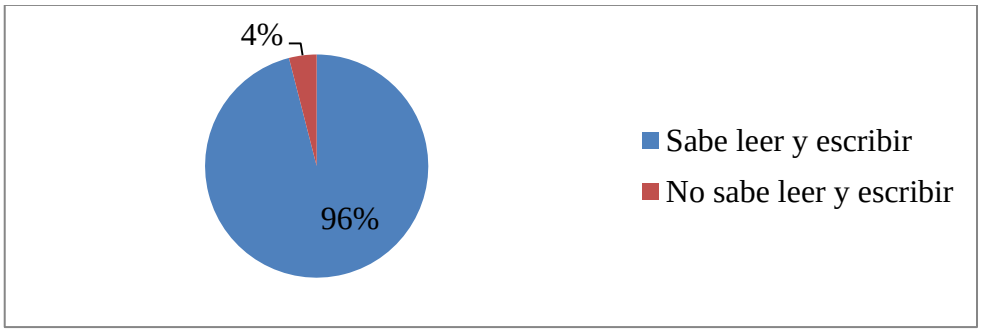


Figura 4. Nivel de educación de población de Juive Grande
Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Servicios básicos

Como se menciona anteriormente en el poblado de Juive Gande no se cuenta con servicio de distribución de agua potable, redes de alcantarillado ni servicio de recolección de basura.

Agua potable

La procedencia principal de agua que recibe las viviendas existentes en la comunidad de Juive Grande es por medio de ríos, vertientes, acequias o canales.

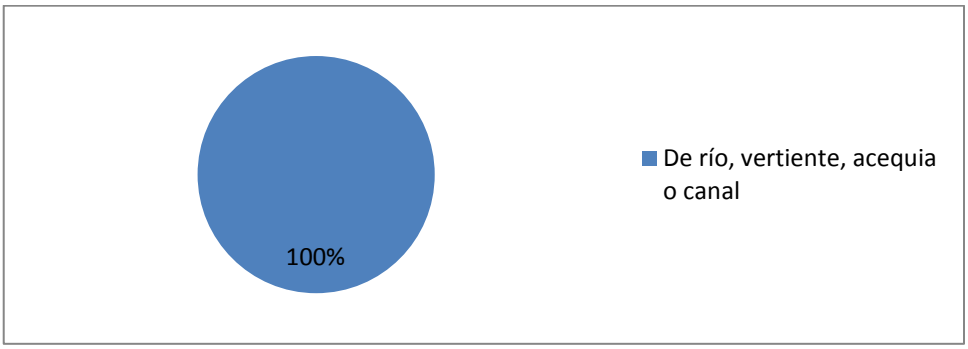


Figura 5. Procedencia principal de agua recibida en las viviendas de la comunidad Juive Grande
Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Energía eléctrica

La procedencia de la luz eléctrica en Juive Grande tiene una mayor cobertura alcanzando el 92% de este servicio por medio de la red de servicio público y solo el 8% no tiene luz.

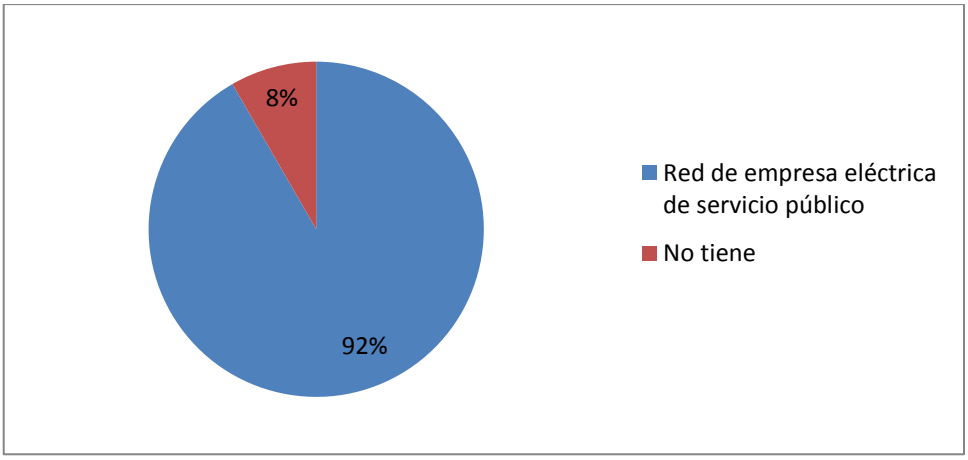


Figura 6. Disponibilidad de electricidad en la comunidad Juive Grande
Fuente: (INEC, 2010)
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

VIDA ÚTIL Y VOLUMEN TOTAL DE CELDAS DEL RELLENO SANITARIO

La celda emergente # 2 tiene una capacidad de 4.440 m^3, mientras que la celda Unificada 1 y 3 por su diseño de terrazas tiene una capacidad de 36.299 m^3.

Tabla 15. Capacidad del relleno sanitario

	Terraza No. 1	**Terraza No. 2**	**Celda Emergente 2**
Área	2.855 m^2	5.506 m^2	1056 m^2
Volumen	14.275 m^3	22.024 m^3	4.400 m^3
Volumen total	40.699 m^3		

Fuente: Jefatura de Medio Ambiente, Gadbas.
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

Tabla 16. Vida útil de celda #2

	Volumen requerido m^3/año (2016)	**Vida útil**
	11.288 m^3	12 meses
Volumen de la celda 2	4.400 m^3	x
Vida útil de la celda emergente 2	4,6 meses	

Fuente: Proyección de demanda de volúmenes, tabla 17.
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018.

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE VOLÚMENES: DESECHOS Y MATERIAL DE COBERTURA.

Tabla 17. Proyección de demanda de volúmenes

	POBLACIÓN			SERVICIO		GENERACIÓN				DESECHOS A SER DISPUESTOS				COBERTURA			VOLUMEN TOTAL REQUERIDO EN EL RELLENO SANITARIO	
AÑO	URBANA	RURAL	Total	Cobertura del servicio urbano (%)	Cobertura del servicio rural (%)	Desechos domiciliarios generados (Tn/día)	Desechos de mercado (Tn/día)	Desechos de industrias (Tn/día)	Peso promedio desechos generados (Tn/día)	Promedio diario (m3)	Anual (m3)	Volumen incluido asentamiento anual (m3)	Acumulado (m3)	Diario (m3)	Anual (m3)	Acumulado (m3)	m3/año	Acumulado
I	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
2010	12995	7023	20018	97%	67%	9,18	1,87	3,98	15,03	25,05	9145	7773		5,77	2105		9878	
2011	13190	7128	20318	97%	67%	9,31	1,93	4,10	15,35	25,58	9338	7938		5,89	2150		10087	
2012	13388	7235	20623	97%	67%	9,45	1,99	4,23	15,68	26,13	9537	8106		6,01	2195		10302	
2013	13589	7344	20932	97%	67%	9,60	2,05	4,36	16,01	26,69	9740	8279		6,14	2242		10522	
2014	13792	7454	21246	97%	67%	9,74	2,12	4,50	16,35	27,26	9949	8456		6,27	2290		10747	
2015	13999	7566	21565	98%	68%	10,00	2,18	4,64	16,82	28,03	10230	8696		6,45	2355		11051	
2016	14209	7679	21889	98%	68%	10,15	2,25	4,78	17,18	28,63	10450	8882		6,59	2406		11288	
2017	14422	7794	22217	98%	68%	10,30	2,32	4,92	17,54	29,24	10671	9070		6,73	2456		11527	
2018	14639	7911	22550	98%	68%	10,45	2,39	5,07	17,91	29,85	10897	9262	9262	6,87	2508	2508	11771	9269
2019	14858	8030	22888	98%	68%	10,61	2,46	5,22	18,29	30,49	11128	9459	18721	7,02	2562	5070	12021	21290
2020	15081	8150	23232	99%	69%	10,89	2,53	5,38	18,80	31,34	11439	9723	28444	7,21	2633	7703	12357	33647
2021	15307	8273	23580	99%	69%	11,06	2,61	5,54	19,20	32,01	11683	9930	38375	7,37	2689	10392	12620	46266
2022	15537	8397	23934	99%	69%	11,22	2,69	5,71	19,62	32,69	11933	10143	48518	7,53	2747	13139	12890	59156

Elaborado por: Diego F. Medina, 2018

DISEÑO DE LA CAPA DE COBERTURA FINAL

Tabla 18. Dimensiones de la capa de cobertura final

Capas	Dimensiones	Descripción
# 1	25 cm	Material explotado en el sitio, compactada, con el objetivo de garantizar la cobertura de los desechos sólidos depositados.
# 2	Geomembrana	Mínimo de 1 mm de espesor, con el fin de evitar en el ingreso de agua lluvia a la celda.
# 3	25 cm	Material explotado del sito, compactado, como recubrimiento a la geomembrana.
# 4	40 cm	Tierra vegetal, sin compactar, facilitando el enraizamiento y crecimiento de especies arbustivas.
Especie botánica		Kikuyo

Elaborado por: Diego F. Medina, 2018

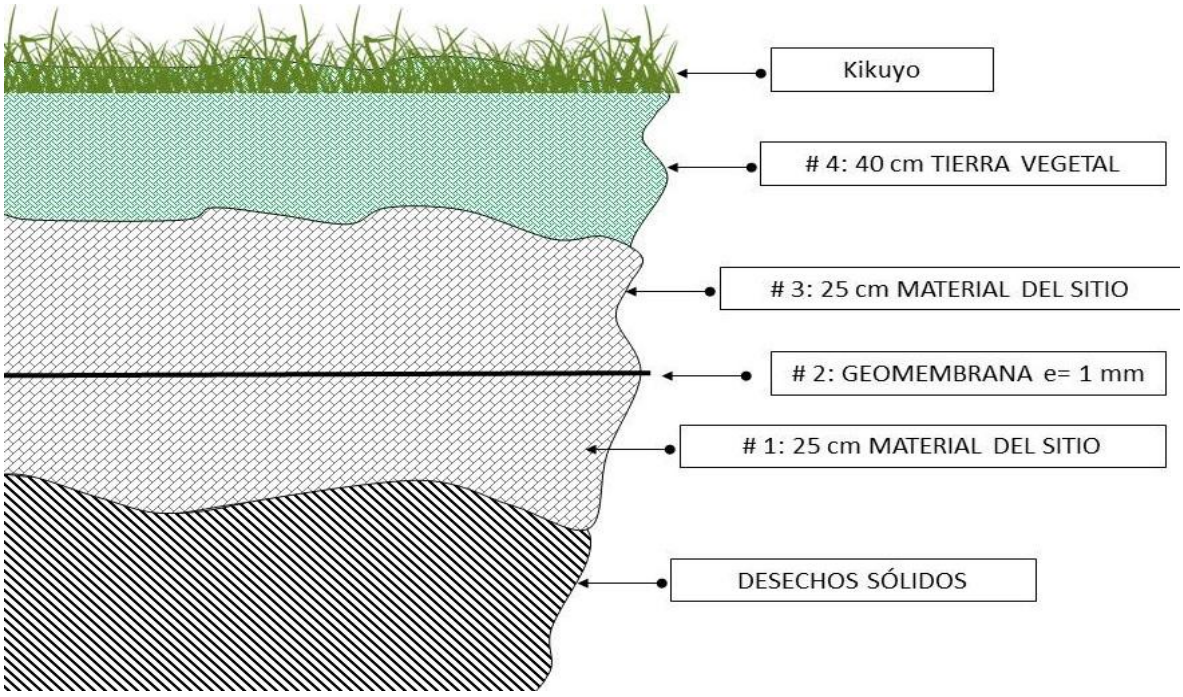


Figura 7. Diseño de la capa de cobertura final

Elaborado por: Diego F. Medina, 2018

DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Cálculo de la intensidad de lluvia

Ecuación 1. Intensidad de lluvia

$$ITR = 28 \times t^{-0.450} \times IDTR$$

Dónde:

ITR = Intensidad de lluvia en milímetros por hora para un período de retorno determinado

IDTR = Constante según el período de retorno a asumir en milímetros por hora

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos

ITR = 3 para un período de retorno de 10 años

IDTR = 5 min

ITR = 78,52 mm/h

Cálculo de caudal

Ecuación 2. Caudal por método racional

$$Q = 2{,}78 \times C \times I \times A$$

Dónde

Q= Caudal en litros por segundo

C= Coeficiente de escorrentía

I=Intensidad de lluvia en milímetros por hora

A= Área de aporte en hectáreas

C= 0,3 Acorde a la vegetación (Tabla 3)

A= 0,44 ha

Q = 28.81 l/s = 0,028 m^3/s

Cálculo de cunetas de coronación

Datos:

Q = 0,028 m^3/s

n = 0,010 – Geo membrana

v = 0,045 m/s – Criterio de diseño

b= 0, 35 m = 35 cm – Criterio de diseño

z = 1 – Criterio de diseño

Ecuación 3. Ecuación de la Continuidad

$$Q = A \times V$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0{,}028\ \frac{m^3}{s}}{0{,}045\ \frac{m}{s}}$$

$$A = \ 0{,}6\ m^2$$

Ecuación 4. Ecuación del área por métodos geométricos

$$Área\ trapezoide = b.y + z.y^2$$

Dónde:

b= base del canal

y= altura del canal

z = pendiente del canal

$0{,}6\ = 0{,}35y + z.y^2$

$0\ = y^2 + 0{,}35y - 0{,}06$

$$y = \frac{-0{,}35 \pm \sqrt{0{,}35^2 - 4\ (1)(-0{,}06)}}{2\ (1)}$$

$y_1 = 0{,}13\ m$ – 13 cm

$y_2 = -0{,}48\ m$

Cálculo del perímetro mojado

Ecuación 5. Ecuación del perímetro

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$P = 0{,}35 + 2(0{,}13)\ \sqrt{1 + 1}$

$P = 0{,}35 + 2(0{,}13)\ \sqrt{2}$

$P = 0{,}12\ m$ – 12 cm

Cálculo del espejo agua

$T = b + 2zy$

$T = 0{,}35 + 2(1)(0{,}13)$

$T = 0{,}35 + 2(1)(0{,}13)$

$T = 0{,}61\ m$ – 61 cm

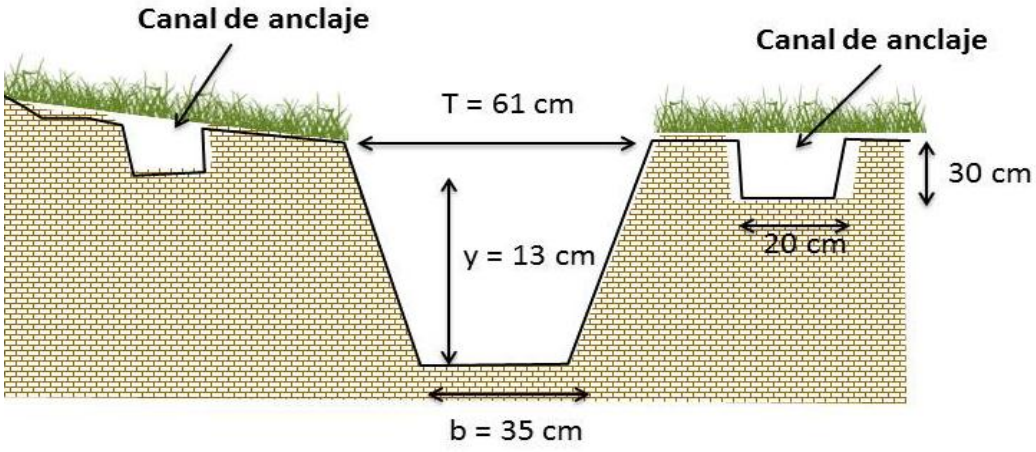


Ilustración 12. Diseño de cunetas de coronación
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018

DISEÑO PARA EL MANEJO DE GASES

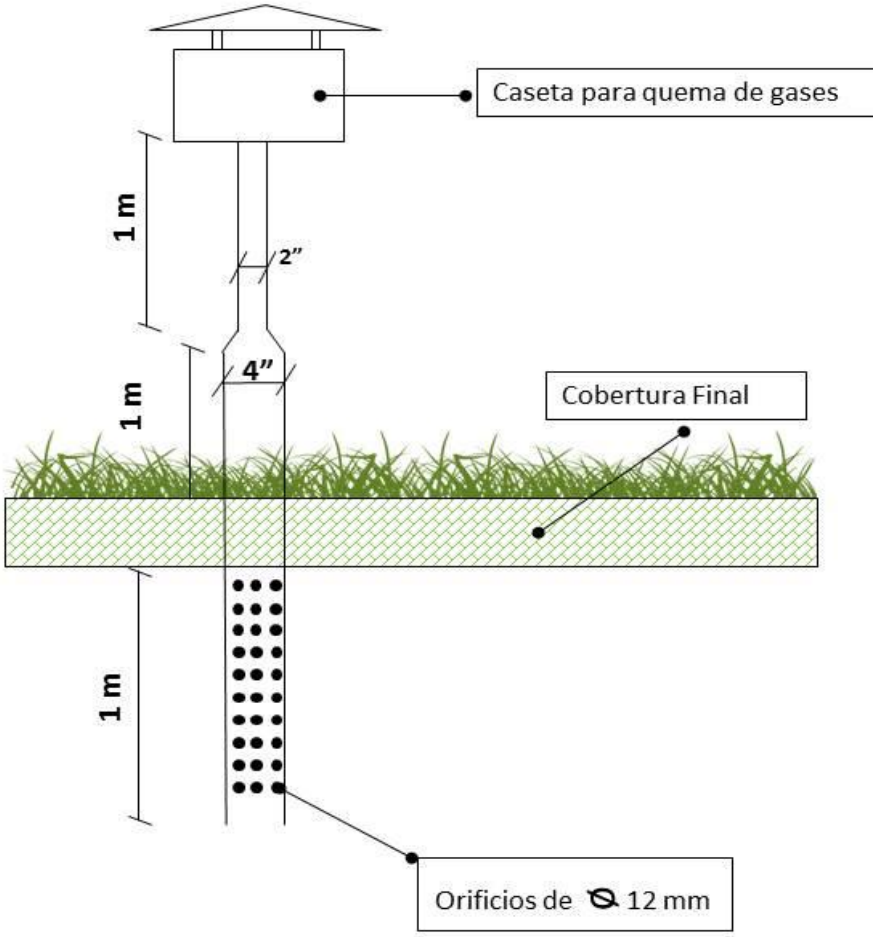


Ilustración 13. Diseño de estructura para quema de gases
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018

DISEÑO PARA EL MANEJO DE LIXIVIADOS

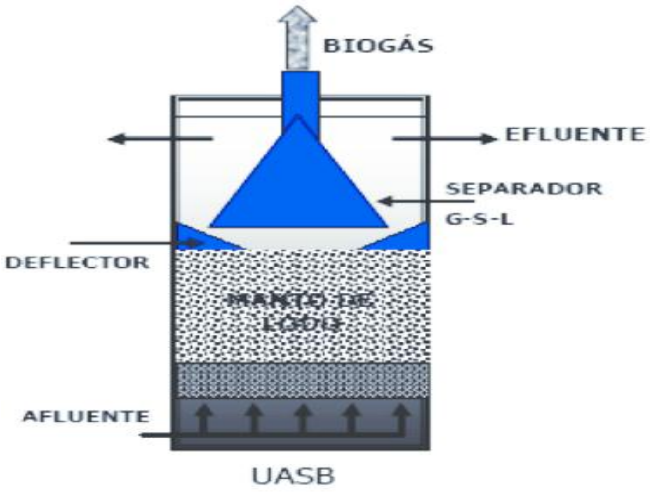
TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Tabla 19. Comparación de límites de descarga con normativa ambiental

Nº	Parámetros	Unidades	Valores descarga	Límites máximos permisibles *	Descripción
1	Oxígeno Disuelto	mg/l	0,23		
2	pH		8,01	9,00	CUMPLE
3	Conductividad	us/cm	2,49		
4	Temperatura	º C	23,33	35	CUMPLE
5	Turbiedad	NTU	55		
6	Sólidos suspendidos totales	mg/l	19	130	CUMPLE
7	Sólidos Totales	mg/l	1406	1600	CUMPLE
8	Sólidos Disueltos Totales	mg/l	542		
9	DQO	mg/l	1654	200	NO CUMPLE
10	DBO	mg/l	1132	100	NO CUMPLE
11	Fósforo Total	mg/l	7	10	CUMPLE
12	Nitrato	mg/l	7	10	CUMPLE
13	Cadmio	mg/l	0,03	0,02	NO CUMPLE
14	Plomo	mg/l	0,32	0,2	NO CUMPLE
* Límites máximos permisibles, de acuerdo a la Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecida en el Acuerdo Ministerial 0-97 A, Reforma al Texto Unificado de legislación Secundario, del 04 de Noviembre del 2015.					

Fuente: Adaptado de (Pullugando, 2018).
Elaborado por: Diego F. Medina, 2018

Como complemento a la planta de tratamiento de lixiviados existente en el relleno sanitario se propone la implementación de un reactor de mandos de flujo ascendente.



Fuente: (Pullugando, 2018)

Ecuación 6. Eficiencia de remoción de DQO del sistema

EDQO =100*(1-0,68*(TRH^(-0,9)))

Dónde:

EDQO = Eficiencia de remoción de DQO del sistema

TRH = Tiempo de retención hidráulico

Ecuación 7. Eficiencia de remoción de EDBO del sistema

EDBO =100*(1-0,68*(TRH^(-0,9)))

Dónde:

EDBO = Eficiencia de remoción de DBO del sistema

TRH = Tiempo de retención hidráulico

Ecuación 8. Concentración de la DQO en el efluente

SDQo = DQO -((EDQO 5/100)* DQO)

SDQo = Concentración de la DQO en el efluente

DQO = Demanda Quimica de Oxigeno en el Afluente

Ecuación 9. Concentración de la DBO en el efluente

SDBO = DBO5-((EDBO /100)* DBO5)

SDBO = Concentración de la DBO en el efluente

DBO5 = Demanda biológica de oxigeno en el afluente

Tabla 20. Parámetros iniciales para cálculo de la eficiencia

Demanda Biologica de Oxigeno en el Afluente	DBO_5	1132	mg/l
Demanda Quimica de Oxigeno en el Afluente	DQO	1654	mg/l

Tabla 21. Eficiencias teóricas del reactor

Eficiencias del Reactor			
Eficiencia de remoción de DQO del sistema	E_{DQO}	89,53	%
Eficiencia de remoción de DBO del sistema	$E_{_DBO}$	89,22	%
Concentración de la DQO en el efluente	S_{DQo}	173,08	mg/l
Concentración de la DBO en el efluente	S_{DBO}	121,94	mg/l

PRESUPUESTO

Tabla 22. Presupuesto para el cierre técnico

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	P. Total
Explotación, cargado y transporte de material	1056	m^3	4,5	4752
Tendido y compactado de material de cobertura	1056	m^3	1,18	1246,08
Sum. Ins. Geomembrana	1056	m^2	6,28	6631,68
Cobertura de tierra vegetal sin compactar	844	m^3	8,19	6912,36
Kikuyo	200	m^3	1	200
DUCTOS GASES				
Suministro de tubería galvanizada 2 pulgadas	3	m	20	60
Suministro de caseta de incineración	3		60	180
CUNETAS DE CORONACIÓN				
Replanteo y nivelación	88	m	0,56	49,28
Excavación mecánica	57	m^3	3,02	172,14
Excavación a mano	54	m^3	14	756
Sum. Ins. Geomembrana	240	m^2	6,28	1507,2
Sum. e inst. Tubería PVC para Alcantarillado D=400mm	88	m	37,05	3260,4
Caja de Revisión de 0.6 x 0.6 x 0.6 con tapa prefabricada	1	u	201,81	201,81
REFORESTACIÓN E INTEGRACIÓN				
Tierra vegetal	8	m^3	8,19	65,52
Plántulas	100	u	1	100
Hoyado y siembra	100	u	1	100
PERSONAL				
Obreros	5		500	2500
TOTAL				28694,47

El presupuesto para el cierre técnico de la celda emergente # 2 asciende a un valor de 28694,47.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La celda # 2, tiene un volumen de 4400 m^3 y una vida útil aproxima de 4,6 meses, tomando en cuenta el inicio de operación desde el mes de febrero de 2017 y sus actividades cesaran aproximadamente en el mes de julio del 2017.

Los diseños propuestos para el cierre técnico del relleno sanitario se realizaron en base a criterios técnicos establecidos en la revisión del estado del arte, proponiendo alternativas técnicamente viables, acorde a la realidad del país y normativa ambiental.

De acuerdo al tipo de suelo presente en el relleno sanitario es necesaria la utilización de geomembrana como medio protector, evitando la infiltración de pluviosidad a la masa de residuos sólidos compactada.

La alternativa propuesta para el tratamiento de lixiviados nace del análisis de laboratorio realizado en el año actual de acuerdo a la literatura revisada, estimándose que al generarse un lixiviado joven los valores de materia orgánica son elevados razón por la cual el sistema de tratamiento actual del relleno sanitario no funciona adecuadamente, para el cumplimiento de la normativa ambiental se acogió la alternativa de implementación de un reactor de flujo ascendente.

La infraestructura para la quema de biogás tiene criterios empíricos es así que no responde a criterios técnicos de diseño, razón por la cual el diseño propuesto se lo ha realizado en base a la revisión bibliográfica de quemadores/chimeneas realizadas en el país.

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio de la generación de biogás para analizar la factibilidad de aprovechamiento o quema.

Considerar los diseños propuestos para el cierre técnico del relleno sanitario e implementar un plan de monitoreo semestral de los parámetros de la planta de tratamiento de lixiviados una vez implementado el reactor de flujo ascendente.

CAPITULO V. BIBLIOGRAFÍA

Arbeláez Meza, M., & García Sierra, J. (2010). *ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS EMPLEADAS PARA EL MANEJO DE LIXIVIADOS Y SU APLICABILIDAD EN EL MEDIO*. Medellín.

Asociación Methane to Markets. (2010). *Taller de operación de vertederos M2M Argentina 2010, Neuquén.* Obtenido de Fundamentos sobre los rellenos Sanitarios: https://www.globalmethane.org/activities/siteDetails.aspx?myObjid=a09A0000004vIC8IAM&a=a07G000000HsxnVIAR#t3

Bernache Pérez, G. (2012). *RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS.UN ESTUDIO DE LA REGIÓN CENTRO OCCIDENTE DE MÉXICO*. Obtenido de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37025166015

Cabrales Herrera, E. M., & Barrera Vioteth, J. L. (2017). *RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: Una opción para el manejo sostenible de suelos.* Montería, Córdoba, Colombia: Zenú.

Castillo, G., & Morales, D. (2015). *Diseño integral del sistema de drenaje longitudinal y transversal*. Cuenca.

CEPEP. (2008). *Metodología par la evaluación de proyectos de residuos sólidos urbanos.* México.

CEPEP. (2008). *Metodologías para la evaluación de proyectos de residuos sólidos urbanos*. Obtenido de http://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/metodologia_residuos_solidos.pdf

CEPES. (1990). *Manual de conservación de aguas y suelos: normas de clasificación, diseño y construcción*. Obtenido de http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/manual_conservacion/manual_conservacion13.pdf

Código Orgánico Del Ambiente, Registro Oficial Suplemento 983 (Ecuador 12 de Abril de 2017).

CODIGO ORGANICO ORGANIZACION TERRITORIAL AUTONOMIA DESCENTRALIZACION. (2010). Obtenido de www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2014). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.* México.

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DL ECUADOR. (2008). Obtenido de www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf

FAO. (2013). *Permeabilidad del suelo*. Obtenido de http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

González, J. (2014). *Alternativas de captacion y tratamiento del biogas en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba, Argentina.* Argentina.

Grau, J., Terraza, H., Rodríguez Velosa, D. M., Rihm, A., & Sturzenegger, G. (Agosto de 2015). *Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe.* (A. Núñez, & O. Osuji, Edits.) Obtenido de https://publications.iadb.org/handle/11319/7177?locale-attribute=es&

GRUPO-EPM. (2014). *Tecnologías empleadas en los rellenos sanitarios para la obtención de metano a partir de biogas.* Obtenido de http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20593/capitulo2.pdf

Huanca Chamba, D. G. (2016). *Propuesta de un plan de cierre técnico para el relleno sanitario del gobierno autónomo descentralizado municipal de celica.* Obtenido de http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/15338

INAMHI. (2014). *Estudio de lluvias intensas para la estaión Baños M-029.* Quito, Ecuador.

INEC. (2010). Censo de Población y Vivienda.

INEC-AME. (2016). *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales.* Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/2016/Documento tecnico Residuos solidos 2016 F.pdf

Jefatura de Medio Ambiente del GADBAS. (2016). Seguimiento y actualización de medidas ambientales del relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa. Baños de Agua Santa, Tungurahua, Ecuador.

MAE-PNGIDS. (2013). *INFORME DE GESTIÓN MAE-PNGIDS 2010-2013*. Obtenido de www.suia.ambiente.gob.ec: http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/254996/Informe+Gestion+detallado+MAE-PGNIDS+2010-2013.pdf/0b66f1c8-98bc-430a-bdab-75f8e7afeed0

MAE-PNGIDS. (2014). *Diagnóstico de la Cadena de Gestión Integral de Desechos*. Obtenido de www.vicepresidencia.gob.ec: http://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/08/Resumen-Cadena-de-Gestion-de-Residuos-S%C3%B3lidos.pdf

MAE-PNGIDS. (2016). *INFORME DE GESTIÓN MAE-PNGIDS 2010-2013*. Obtenido de www.suia.ambiente.gob.ec: http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/254996/Informe+Gestion+detallado+MAE-PGNIDS+2010-2013.pdf/0b66f1c8-98bc-430a-bdab-75f8e7afeed0

Méndez, D. (2015). *Diseño de un Plan de Cierre Técnico del relleno sanitario de la Ciudad de Tulcán.* Tulcán, Ecuador.

MINAM. (Diciembre de 2016). Aprende a prevenir los efectos del mercurio. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente - MINAM.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA. (2012). *Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios* . Obtenido de http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/07/Guia-para-el-Diseno-Construccion-Operacion-Mantenimiento-y-Cierre-de-Relleno-Sanitario.pdf

MINISTERIO DEL AMBIENTE. (s.f.). *Hitos en la gestión integral de los residuos sólidos en Ecuador*. Obtenido de www.ambiente.gob.ec: http://www.ambiente.gob.ec/hitos-en-la-gestion-integral-de-los-residuos-solidos-en-ecuador/

MINSA. (2005). *Reglamento para el Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición Final de Residuos Sólidos del Ámbito Municipal: RELLENOS SANITARIOS* . Lima, Perú.

MMAyA. (2014). *Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios* (Vol. I). Bolivia.

MTOP. (2013). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.* Ecuador.

ORDENANZA QUE ESTABLECE LAS NORMAS DE CONTROL PARA EL TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DENTRO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA. (2013). Obtenido de http://www.municipiobanos.gob.ec/banos/index.php/es/jstuff/user-pages/2-latest/150-ordenanza-que-establece-las-normas-de-control-para-el-tratamiento-de-los-desechos-solidos-dentro-del-canton-banos-de-agua-santa

Organización Panamericana de la Salud. (2007). *Diseño, construcción, y operación de rellenos sanitarios manuales*. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/index.html

OSHA. (2000). *Clasificación del suelo para excavaciones en la construcción*. Obtenido de https://www.osha.gov/dts/vtools/construction/soil_testing_fnl_spa_web_transcript.html

Paredes, A. M. (2007). *Método de los coeficientes de escorrentía. General MAUCO*. Obtenido de

http://www.oasification.com/archivos/Coeficientes%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf

Pullugando, M. (2018). *Caracterización Físico, Química de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Baños de Agua Santa.* Puyo.

REDRRSS - MINAM. (2008). *Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual.* Perú.

Röben, E. (2002). *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales.* Loja, Ecuador.

Saldaña Durán, C. E., Hernández Rosales, I. P., Messina Fernández, S., & Pérez Pimienta, J. A. (2013). *CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y EL VALOR AGREGADO DE LOS MATERIALES RECUPERABLES EN EL VERTEDERO EL IZTETE, DE TEPIC-NAYARIT, MÉXICO.* Obtenido de http://www.redalyc.org/html/370/37029665003/

SEDESOL. (2005). *Indicadores básicos y manual de evaluación para relleno sanitario.* México.

SEMARNAT. (2009). *Manual de especificaciones técnicas para la construcción de rellenos sanitarios para residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME).* México.

UCP. (2016). *Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución.* Obtenido de http://biblioteca.ucp.edu.co/ojs/index.php/gestionyregion/article/download/3571/3907

Weihs, J. P. (2011). *Fundamentos sobre rellenos sanitarios.* Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.