

Trabajo Fin de Máster

<DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOGIDA, TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA POBLACIONES DE LA ZONA ALTA DEL CANTÓN AMBATO, REPÚBLICA DEL ECUADOR>

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

<GABRIEL GERARDO NICOLA GOMEZJURADO>

Director:

<JAVIER RODRIGO ILARRI>

Codirector/es:

<MARÍA ELENA RODRIGO CLAVERO>

<Septiembre, 2017>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: "Diseño del sistema de recogida, tratamiento y eliminación de residuos sólidos para poblaciones de la zona alta del cantón Ambato, república del Ecuador".

Título del TFM en inglés: "System design of the collection, treatment and disposal of solid waste from the upper area of Ambato city in Ecuador".

Título del TFM en Valenciano: "Diseny del sistema de recollida, tractament i eliminació de residus sòlids en la zona alta de la ciutat d' Ambato en Ecuador".

Alumno: Gabriel Gerardo Nicola Gomezjurado.

Director: Javier Rodrigo Illari

Codirector/es:

María Elena Rodrigo Clavero

Director experimental:

Fecha de Lectura: <Septiembre, 2017>

Resumen

En español (máximo 5000 caracteres)

El presente TFM consiste en una investigación de campo sobre los residuos sólidos producidos en la zona alta del cantón Ambato, provincia de Tungurahua, república del Ecuador, que comprende las parroquias de Santa Rosa, Juan Benigno Vela y Pilahuín. El objetivo plantea la selección del modelo de gestión para su manejo óptimo en los aspectos técnicos, administrativos y financieros.

Como tareas previas se realizó la caracterización de los residuos sólidos en la zona objeto del presente estudio. Con los resultados obtenidos disponibles, se propone alternativas de gestión en los campos de recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

El estudio incluirá las alternativas de ubicación de un relleno sanitario y la implantación de un centro de acopio y reciclaje de residuos orgánicos e inorgánicos. La alternativa propuesta incluye la posibilidad de coordinar acciones con el relleno sanitario del cantón Ambato.

En el modelo de gestión propuesto se plantea cuatro alternativas de uso y disposición final de los residuos sólidos orgánicos: compostaje, alimento para animales domésticos, relleno sanitario y relleno sanitario con

aprovechamiento de biogas. En cuanto a los residuos sólidos inorgánicos se propone la implementación de: sitio de acopio, reciclaje y relleno sanitario para disposición final.

En cuanto al transporte se propone diferentes alternativas de rutas y horarios de recolección en función a las necesidades de la población.

Se elaborará la memoria económica del proyecto, la cual determinará la tasa para cubrir los costos de operación y mantenimiento del sistema, además de la recuperación del capital invertido en la puesta en marcha del sistema de gestión de desechos sólidos.

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

El present TFM consisteix en una investigació de camp sobre els residus sòlids produïts en la zona alta de la ciutat d'Ambato, província de Tungurahua, república d'Ecuador, que inclou les parròquies de Santa Rosa, Juan Benigno Vela i Pilahuín.

L'objectiu d'aquest treball és la selecció del model de gestió per a l'optimització dels aspectes tècnics, administratius i financers. Com a tasques previes, es va realitzar la caracterització dels residus sòlids en la zona estudiada. Amb els resultats obtesos disponibles, es proposen alternatives de gestió en els camps de recol•lecció, transport, tractament y disposició final.

L'estudi inclourá les alternatives d'ubicació d'un abocador sanitari i la implantació d'un centre de recol•lecció y reciclatge de residus orgànics i inorgànics. L'alternativa proposada inclou la possibilitat de coordinar diferents accions amb l'abocador sanitari d'Ambato.

En el model de gestió proposat es plantegen quatre alternatives d'us i disposició final dels residus sòlids orgànics: compostatge, aliment per a animals domèstics, abocador sanitari i abocador amb aprofitament de biogàs. Pel que fa als residus sòlids inorgànics es proposa la implementació de: lloc d'apilament, reciclatge y abocador sanitari per a la disposició final dels residus.

Quant al transport es proposen distintes rutes i horaris de recollida en funció de les necessitats de la població.

S'elaborarà la memòria econòmica del projecte, la qual determinarà la taxa per a cobrir les despeses d'operació i manteniment del sistema, així com la recuperació del capital invertit en la posada en funcionament del sistema de gestió de residus sòlids.

En inglés (máximo 5000 caracteres)

The present tfm consist on a field research about solid waste produce on the high hills of Ambato city in Ecuador, the high hills are composed of three small towns called Santa Rosa, Juan Benigno Vela and Pilahuin. The objective raises the selection of a solid waste management model for optimal management in the technical, administrative and financial aspects.

As a previous task a characterization of solid waste was made in the zone. With the obtained results a series

alternatives of management are proposed in the fields of collection, transport, treatment and final disposition.

The study will include the different alternatives of location of the landfill and the possible inclusion of a recycling center of both organic and inorganic waste. The present alternative includes cooperation with the current landfill in Ambato city.

In the proposed management model arises four alternatives of final disposition of organic waste: compost, food for animal, landfill and biogas. In terms of inorganic waste we have two alternatives: Recycling and landfill.

In terms of transportation different alternatives are proposed in matters of routing and schedule of collection, all based on the needs of the population.

A financial study will be developed, which would lead to determine the rate to cover the costs of maintenance and operation of the system and the initial invested capital.

Palabras clave español (máximo 5): Residuos Sólidos, tratamiento, disposición final.

Palabras clave valenciano (máximo 5): Residus sòlids, tractament, disposició final.

Palabras clave inglés (máximo 5): Solid waste, treatment, elimination

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	6
1.1. Introducción	6
1.2. Objetivos	9
1.2.1. Objetivo general	9
1.2.2. Objetivos Específicos	9
2. LEGISLACIÓN APLICABLE.....	10
2.1. Legislación española.....	10
2.2. Legislación Ecuador	14
2.3. Semejanzas y Diferencias entre la legislación Española y Ecuatoriana	18
2.3.1. Comparación de definiciones entre las normativas ecuatoriana y española	18
2.3.2. Comparación de las normativas ecuatoriana y española referente a la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos.....	22
2.4. Conclusiones legales	31
3. APLICACIÓN PRÁCTICA. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	32
3.1. Antecedentes	32
3.2. Metodología actual de recolección y disposición final.....	32
3.2.1. Recogida y transporte	33
3.2.2. Disposición de residuos en el relleno municipal	34
3.2.3. Recolección y tratamiento de lixiviados	35
3.2.4. Recolección y quema de biogás producido en el interior del relleno.....	35
3.3. Diseño del sistema.....	36
3.3.1. Datos de partida.....	36
3.3.2. Caracterización de Desechos sólidos.....	38
3.3.3. Ubicación de Sitio	39
3.3.4. Sistema de recogida: Rutas y horarios.....	41
3.3.5. Sistema de Valorización, Compost.....	43
Diseño de planta de compost.....	45
3.3.6. Reciclaje	56
3.3.7. Diseño de Relleno Sanitario.....	57
Estudio de Suelos.....	58
3.3.8. Modelación de la producción de biogás.	62
3.3.9. Modelación matemática de la producción de lixiviados	66
3.3.9.1. El método Suizo	67
3.3.9.2. Método de cuadro de generación en base a la precipitación y forma de operación	68
3.3.9.3. Método del balance hídrico simplificado:.....	69

3.3.10.	Control de agua superficial y subterránea	71
3.3.10.1.	Agua superficial:.....	71
3.3.10.2.	Agua subterránea:.....	74
4.	MEMORIA ECONÓMICA.....	76
4.1.	Inversión Inicial	76
4.2.	Determinación de los costes de operación y mantenimiento	76
4.3.	Recuperación de capital.....	77
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
6.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.	84
7.	ANEXOS	86
7.1.	Anexo 1, presupuesto de inversión inicial.....	86

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Frecuencia de Monitoreo en Rellenos de Residuos no Peligrosos	30
Cuadro 2. Características del Compost Verde	52
Cuadro 3. Características del Compost Fermentado.....	53
Cuadro 4. Parámetros de diseño del área de compostaje.....	54
Cuadro 5. Datos geológicos de la zona de estudio	58
Cuadro 6. Perfil estratigráfico	58
Cuadro 7. Coeficiente de permeabilidad k.....	58

Índice de Tablas

Tabla 1. Distancia de recorrido al actual relleno.....	34
Tabla 2. Población por parroquia.....	37
Tabla 3. Producción de Residuos Sólidos	37
Tabla 4. Caracterización de residuos solidos	39
Tabla 5. Distancia de recorrido a alternativa para relleno	42
Tabla 6. Composición de Residuos	46
Tabla 7. Características de los RSU de entrada a la planta	47
Tabla 8. Porcentaje de residuos por cada línea de tratamiento.....	48
Tabla 9. LÍNEA DE MATERIA ORGÁNICA (COMPOST VERDE).....	49
Tabla 10. LÍNEA DE RECHAZOS	50
Tabla 11. Calculo de valores de k y Lo.....	64
Tabla 12. Calculo de Eficiencia de sistema de recolección de gases.....	64
Tabla 13. Proyección de generación y recuperación de biogás	65
Tabla 14. Estación Meteorológica Pilahuin.....	67
Tabla 15. Cálculo del caudal de lixiviados por el método Suizo	68
Tabla 16. Producción de lixiviados por tipo de relleno.....	69
Tabla 17. Cálculo del caudal de lixiviados.....	69
Tabla 18. Cálculo del exceso o déficit de agua	70
Tabla 19. Calculo de lixiviados por el método de balance hídrico	71
Tabla 20. Resumen Calculo de lixiviados por diferentes métodos	71
Tabla 21. Costo mensual personal	77
Tabla 22. Costo mensual de herramientas y maquinaria	77
Tabla 23. Costo mensual de herramientas y maquinaria	77
Tabla 24. Rendimiento diario, mensual y anual.....	78

Tabla 25. Costo unitario de operación y mantenimiento.....	78
Tabla 26. Gastos operativos anuales	79

Índice de Imágenes

Imagen 1. Ubicación de la zona de estudio	36
Imagen 2. Detalle zona de estudio	36
Imagen 3. Predio Casigana	41
Imagen 4. Topografía sitio de interes	41
Imagen 5. Software Utilizado para cálculo de biogas	63
Imagen 6. Biogás Generado.....	65
Imagen 7. Esquema de chimenea de recolección	66
Imagen 7. Cálculo de cunetón con Hcanales	73

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Pilas de Compostaje	55
Ilustración 2. Perfil Longitudinal de terreno.....	60
Ilustración 3. Perfil Longitudinal de Proyecto.....	60
Ilustración 4. Proceso Constructivo	61
Ilustración 5. Explotación y colmatación.....	61
Ilustración 6. Cierre técnico y mantenimiento	61
Ilustración 7. Vista en Planta del Relleno Sanitario	62
Ilustración 8. Corte de Cunetón para recolección de aguas lluvia	73
Ilustración 9. Tubería principal de fondo para recolección de lixiviados	75
Ilustración 10. Tubería secundaria de fondo para recolección de lixiviados	75
Ilustración 11. Vista en planta Drenaje superficial y subterráneo	75

Índice de Gráficas

Gráfico 1. Caracterización de Residuos Sólidos.....	38
Gráfico 2. Balance hídrico	70

Índice de Fotos

Foto N° 1. Camión recolector	33
Foto N° 2. Relleno Municipal	34
Foto N° 3. Tubería de Recolección de lixiviados	35
Foto N° 4. Quemadores de biogás	35
Foto N° 5. Pesaje de Basura utilizando una balanza de mano.....	38
Foto N° 6. Tipo de suelo predio Casigana.....	40
Foto N° 7. Vías de acceso al sitio.....	40

Índice de Figuras

Figura 1. Protección del suelo y de las aguas para rellenos de residuos no peligrosos	28
Figura 2. Proceso de compostaje aerobio	45

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

La gestión de los desechos sólidos involucra los procesos de almacenamiento temporal, barrido, recolección, separación, reciclaje, reutilización, transporte, tratamiento y disposición final.

Los desechos sólidos que se gestionan en esta línea de competencia excluyen los restos forestales o desechos de jardinería o manejo de bosques, los escombros o desechos de construcción; los restos hospitalarios entre los que se incorporan restos humanos y químicos; los lodos o restos de procesos industriales que conlleven manejo de metales pesados. Este tipo de desechos tendrán una gestión especializada.

La gestión de desechos sólidos comunes y especiales, deberá desarrollarse mediante la estructuración de un servicio adecuado, apoyado en una estructura administrativa, técnica y financiera, para cumplir estos procedimientos y no afectar de manera significativa el medio ambiente y a los grupos sociales involucrados.

La gestión está en permanente conflicto por la incidencia del acelerado crecimiento de la población, el continuo desplazamiento poblacional a las áreas urbanas, el cambio de los hábitos de consumo y la relación directa que existe, entre las mejoras de la condición de vida y la producción de desechos sólidos.

Estos factores, muchas veces fuera del control de las autoridades, han hecho que los problemas de gestión de los desechos sólidos se agraven en todas las ciudades.

Estos se reflejan en la organización del almacenamiento temporal, las bajas coberturas de barrido y recolección, la nula actividad de reciclaje, el desconocimiento de tecnologías que puedan ayudar a la transformación de la basura en energía y las dificultades para promover la elaboración de compostaje.

El manejo de los desechos es un bien público, de cuyo manejo son responsables los gobiernos municipales, de acuerdo a lo que señala la Constitución ecuatoriana.

Este servicio no es excluyente, es decir que, si se proporciona a una parte de la comunidad, el servicio beneficia a todas las personas. En este servicio se caracteriza porque no existe rivalidad, ya que cualquier ciudadano puede disfrutar de sus beneficios sin por ello disminuir los beneficios de otro.

Más allá de ello, el tema administrativo es complejo, ya que al contrario de otros servicios públicos, no es posible excluir del servicio a aquellos usuarios que no pagan, debido a que la gestión se altera de tal forma que el impacto ambiental es general.

Las cualidades de no ser excluyente, no rivalizante y esencial colocan la responsabilidad del manejo de los desechos sólidos de lleno en el ámbito público, ya que se trata de un bien público.

La gestión de desechos sólidos es un problema de las ciudades, es decir del medio urbano, que ha sido encargado al nivel de gobierno municipal. Esto quiere decir que la gestión debe ser hecha por las municipalidades con sus propios recursos y puede decidir la participación del sector privado, en alguna de sus actividades.

En el aspecto ambiental, debemos tomar en cuenta los elementos que pueden ser afectados, tales como: aire, agua y suelo; así como también, los diferentes tipos de contaminación que se pueden producir en los mismos, que afecten de manera directa a la salud de los habitantes.

Debido a la contaminación de los elementos ambientales por la gestión deficiente de los desechos sólidos, se producen enfermedades de tipo respiratorio, gastrointestinales, infecciosas y virales.

Los procesos infecciosos originados en el contacto con desechos sólidos, es altamente nocivo; las mismas que son transportadas por vectores y viento. Se deberá analizar la fauna y vegetación con la que se cuenta en la zona para causar el menor impacto posible al hábitat en la que se desenvuelven.

En el aspecto social se debe tomar en cuenta la aceptación de la comunidad a la ubicación del sitio de disposición final de desechos, así como también la modificación que se causará al paisaje y las repercusiones de esta en otros servicios de los habitantes, ya que pueden ser afectadas sus zonas de recreación, turismo, zonas en las cuales realizaban distintos tipos de actividades.

La selección de un sitio adecuado para la ubicación de un relleno sanitario debe ser realizada tomando en cuenta aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos los mismos que deberán ser debidamente estudiados para que el funcionamiento y futuro cierre del mismo se realicen satisfactoriamente.

El impacto ambiental y social que causa la ubicación de un relleno sanitario son factores que debe analizarse durante la fase de operaciones así como en la fase de cierre y abandono.

Se analizarán factores tales como el transporte de desechos desde el lugar de su producción hasta el sitio de disposición final de los mismos, tomando en cuenta distancias de recorrido, eficiencias y tiempos, así como también el aspecto económico que causa la ubicación del relleno.

En general en el cantón Ambato ha existido una creciente migración a la zona rural en especial a las parroquias ubicadas en la zona alta, lo cual ha hecho que la demanda por un servicio adecuado de recolección y tratamiento de desechos sea cada vez mayor.

Dada la particular situación de la zona rural en la que la producción de desechos orgánicos es mayor a la de la zona urbana, se busca el aprovechamiento del mismo ya sea para alimento de animales o para elaboración de compost que sirve como mejorador del suelo, esta última siendo la más buscada ya que la zona es altamente agrícola y puede ser adquirida y aprovechada debido a su bajo costo y facilidad de uso.

Teniendo en cuenta estos antecedentes la gestión en la zona va dirigida al aprovechamiento del material orgánico mediante una planta de compostaje, la cual brindaría las facilidades para obtener un proceso eficaz con producto de calidad.

Hay que tener en cuenta que no la totalidad de desechos producidos por la población pueden ser aprovechados, por lo cual es necesario la implantación de un relleno sanitario el cual servirá para el depósito de dichos desechos, de manera técnica y ambientalmente adecuada, teniendo en cuenta las directrices brindadas por la respectiva legislación ambiental en cuanto al manejo de desechos no peligrosos.

Dentro de dicha legislación se cuenta con lineamientos orientados al manejo técnico del relleno tanto en el proceso de operación y mantenimiento, como en el proceso de cierre técnico; por lo cual se tomará en cuenta y se analizará las semejanzas y diferencias entre las legislaciones española y ecuatoriana, de manera se cuente con un proceso con base legal y técnicamente adecuado para la implantación del relleno en la zona de estudio.

En el trabajo de fin de master: Diseño del Sistema de Recogida, Tratamiento y Eliminación de Residuos Sólidos de la zona alta del Cantón Ambato en Ecuador, se desarrolla el estudio que incorpora el análisis de todos los factores nombrados con anterioridad en función de la zona, para la cual se desea brindar el servicio de recolección y disposición final de desechos sólidos, para de esta manera poder designar el modelo de gestión más adecuado, teniendo en cuenta la afectación sobre el medio ambiente y comunidad.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar un modelo de gestión de residuos sólidos en base a las características y necesidades de la zona de estudio, teniendo en cuenta las restricciones y particularidades de la misma.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un modelo de gestión de residuos en el cual se incluirá el diseño de un relleno sanitario que servirá para eliminación de residuos y el diseño de un método de valorización de residuos en función de las necesidades y ventajas que brinde la zona de estudio.
- Elaborar el diseño de toda la infraestructura complementaria del relleno sanitario, como son las estructuras de recolección de lixiviados, agua lluvia y biogás, siguiendo las recomendaciones y lineamientos de la legislación actual.
- Brindar conclusiones y recomendaciones sobre el estudio realizado y los resultados obtenidos.

2. LEGISLACIÓN APLICABLE

Para el desarrollo del presente trabajo se hace necesaria la inclusión de la legislación referente a residuos sólidos, para de esta manera tener presente los diferentes lineamientos y recomendaciones que se hacen tanto técnica como legalmente.

Por otro lado se hace referencia a la legislación española para tener un criterio o un estándar internacional, para de esta manera al compararla con la legislación ecuatoriana se la pueda evaluar y ver sus falencias y fortalezas frente a la legislación extranjera, teniendo una mayor perspectiva en cuanto al nivel de importancia que tiene cada legislación al momento de poner en marcha un proyecto de manejo de residuos.

Debido a que la legislación ecuatoriana carece de criterios técnicos para dimensionamiento, se hace necesario el uso de la legislación española, específicamente el documento técnico donde se brinda criterios para el diseño y operación de un relleno sanitario.

Es necesario al momento de comenzar los estudios y diseños de un sistema de gestión, tener un punto de arranque para así tener la posibilidad de verificar los parámetros necesarios, a partir de rangos y valores ya determinados.

2.1. Legislación española

A continuación se enlistan los principales artículos referentes al manejo de residuos sólidos:

Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados:

El objeto de la presente ley es la de regular la gestión de residuos, a través de un régimen jurídico el cual servirá para monitorear su producción y gestión mediante la jerarquización de los mismos, así como también para proponer medidas y planes que busquen reducir su generación.

En el ámbito de actuación de la ley 22/2011 se encuentran los residuos domésticos y similares (origen urbano), peligrosos, de construcción y demolición, agrarios e industriales no peligrosos.

Dentro de la presente ley se destacan los siguientes artículos en cuanto se refiero al manejo y gestión inicial de los residuos:

Artículo 7. Protección de la salud humana y el medio ambiente.

1. Las autoridades competentes adoptarán las medidas necesarias para asegurar que la gestión de los residuos se realice sin poner en peligro la salud humana y sin dañar al medio ambiente y, en particular:

a) No generarán riesgos para el agua, el aire o el suelo, ni para la fauna y la flora;

- b) no causarán incomodidades por el ruido o los olores; y
- c) no atentarán adversamente a paisajes ni a lugares de especial interés legalmente protegidos.

2. Las medidas que se adopten en materia de residuos deberán ser coherentes con las estrategias de lucha contra el cambio climático.

Artículo 8. Jerarquía de residuos.

1. Las administraciones competentes, en el desarrollo de las políticas y de la legislación en materia de prevención y gestión de residuos, aplicarán para conseguir el mejor resultado ambiental global, la jerarquía de residuos por el siguiente orden de prioridad:

- a) Prevención;
- b) Preparación para la reutilización;
- c) Reciclado;
- d) Otro tipo de valorización, incluida la valorización energética; y
- e) Eliminación.

2. No obstante, si para conseguir el mejor resultado medioambiental global en determinados flujos de residuos fuera necesario apartarse de dicha jerarquía, se podrá adoptar un orden distinto de prioridades previa justificación por un enfoque de ciclo de vida sobre los impactos de la generación y gestión de esos residuos.

Artículo 9. Autosuficiencia y proximidad.

1. El Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino en colaboración con las Comunidades Autónomas, y si fuera necesario con otros Estados miembros, tomará las medidas adecuadas, sin perjuicio de la aplicación de la jerarquía de residuos en su gestión, para establecer una red integrada de instalaciones de eliminación de residuos y de instalaciones para la valorización de residuos domésticos mezclados, incluso cuando la recogida también abarque residuos similares procedentes de otros productores, teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles.

2. La red deberá permitir la eliminación de los residuos o la valorización de los residuos mencionados en el apartado 1, en una de las instalaciones adecuadas más próximas, mediante la utilización de las tecnologías y los métodos más adecuados para asegurar un nivel elevado de protección del medio ambiente y de la salud pública.

Artículo 12. Competencias administrativas.

Corresponde a las Comunidades Autónomas:

- a) La elaboración de los programas autonómicos de prevención de residuos y de los planes autonómicos de gestión de residuos
- b) La autorización, vigilancia, inspección y sanción de las actividades de producción y gestión de residuos.
- c) El registro de la información en materia de producción y gestión de residuos en su ámbito competencial.

Programas de Gestión y Prevención:

En lo que se refiere a planes y programas de gestión y prevención la presente ley indica que, los mismos deberán ser desarrollados por la autoridad competente integrando los planes autonómicos u locales, que deberán contener:

- La estrategia general de la política de residuos.
- Estructura para el desarrollo de planes autonómicos.
- Objetivos mínimos de prevención, preparación para la reutilización, reciclado, valorización y eliminación.
- Tipo, cantidad y fuente de los residuos sólidos producidos.
- Sistemas existentes de recogida e instalaciones de eliminación y valorización.
- Evaluación de la necesidad de nuevos modelos de gestión de residuos.

Todas estas actividades se proponen con la finalidad de reducir en un 10% del peso de los residuos generados en 2020 respecto a los generados en 2010.

Real Decreto 1481/2001

El objeto del presente Real Decreto es el establecimiento de un marco jurídico y técnico adecuado para las actividades de eliminación de residuos mediante depósito en rellenos, al tiempo que regula las características de éstos y su correcta gestión y explotación, todo ello teniendo en cuenta el principio de jerarquía en la gestión de residuos y con la finalidad de proteger la salud de las personas y el medio ambiente. La autorización de vertido estará condicionada por el cumplimiento de restricciones y limitaciones que determinarán la posibilidad de ubicación en función de los procesos

naturales, la conservación de los valores ambientales del territorio y del ámbito territorial al que da servicio la instalación.

El ámbito de aplicación del presente decreto será en rellenos cuyo periodo de almacenamiento de residuos será mayor a: 1 año si su destino es eliminación y de 2 años si su destino es de valorización.

Dentro del real decreto, existe una clasificación de residuos admisibles y no admisibles para ser depositados en el relleno, entre los cuales se tiene los siguientes:

Residuos No Admisibles:

- Líquidos
- Explosivos
- Corrosivos
- Oxidantes
- Inflamables
- Infecciosos
- Neumáticos (excepto con fines constructivos)

Residuos Admisibles:

- Inertes
- No peligrosos, incluye a urbanos, industriales y peligrosos no reactivos.

Directrices para el diseño construcción y operación de rellenos:

Las directrices para este documento se encuentran en los anexos I (requisitos generales para toda clase de rellenos), II (criterios y procedimientos para la admisión de residuos) y III (procedimientos de control y vigilancia) del decreto real 1481/2011, por lo cual se seguirá el documento de desarrollo técnico para la elaboración del presente trabajo.

Dentro del anexo III, al establecer los procedimientos mínimos para el control, hay que tomar en cuenta que:

- Los residuos han sido admitidos para su eliminación de acuerdo con los criterios fijados para la clase de relleno que se trate.

- Los procesos dentro del relleno se producen de forma deseada
- Los sistemas de protección ambiental funcionan adecuadamente.
- Se cumplen las condiciones de la autorización para el relleno.

2.2. Legislación Ecuador

A continuación se enlistan los principales artículos referentes a manejo de residuos solidos:

MARCO LEGAL REGULATORIO DE LA GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS

El marco legal que regula la gestión integral de los desechos sólidos en el Ecuador se detalla en los siguientes artículos:

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

Art. 66:

Garantiza a las personas el derecho de vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

Art. 83:

Se establece que son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, entre otros, el respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Art. 264:

Establece que los gobiernos municipales tienen la competencia exclusiva, entre otros servicios públicos, el de la gestión de desechos sólidos.

Art. 415:

Establece que los gobiernos autónomos descentralizados desarrollaran programas de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos;

La gestión de los desechos sólidos debe ser considerada en forma integral desde la generación, clasificación, barrido, recolección, disposición final y tratamiento.

LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Art. 13:

Los Ministerios de Salud y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, en coordinación con las municipalidades, planificarán, regularán, normarán, limitarán y supervisarán los sistemas de recolección, transporte y disposición final de los desechos sólidos, en el medio urbano y rural.

En igual forma estos ministerios, en el área de su competencia, en coordinación con la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, limitarán, regularán, planificarán y supervisarán todo lo concerniente a la disposición final de desechos radioactivos, de cualquier origen que fueren.

Art. 14:

Las personas naturales o jurídicas que utilicen desechos sólidos, deberán hacerlo con sujeción a las regulaciones. En caso de contar con sistemas de tratamiento privado o industrializado, requerirán la aprobación de los respectivos proyectos e instalaciones, por parte de los ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia.

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.

LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA (ACUERDO Nro. 061):

Art. 51. Normas técnicas nacionales para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales.- La Autoridad Ambiental Nacional, en el ámbito de sus competencias, establecerá las normas y parámetros técnicos para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos (anexo 6, manejo de desechos sólidos no peligrosos), desechos peligrosos y/o especiales, desde la generación, hasta la disposición final, para mantener los estándares que permitan la preservación del ambiente, la gestión adecuada de la actividad, el control y sanción de ser del caso.

Art. 57. Responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales.- Garantizarán el manejo integral de residuos y/o desechos sólidos generados en el área de su competencia, ya sea por administración o mediante contratos con empresas públicas o privadas; promoviendo la minimización en la generación de residuos y/o desechos sólidos, la separación en la fuente, procedimientos adecuados para barrido y recolección, transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y/o transferencia; fomentar su aprovechamiento, dar adecuado tratamiento y correcta disposición final de los desechos que no pueden ingresar nuevamente a un ciclo de vida productivo; además dar seguimiento para que los residuos peligrosos y/o especiales sean dispuestos, luego de su tratamiento, bajo parámetros que garanticen la sanidad y preservación del ambiente.

Art. 73. Del aprovechamiento.- En el marco de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, es obligatorio para las empresas privadas y municipalidades el impulsar y establecer programas de aprovechamiento mediante procesos en los cuales los residuos recuperados, dadas sus características, son reincorporados en el ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio del reciclaje, reutilización, compostaje, incineración con fines de generación de energía, o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos.

Art. 74. Del tratamiento.- [...] Los Gobiernos Autónomos Descentralizados deberán proponer alternativas de tratamiento de residuos orgánicos, para así reducir el volumen de disposición final de los mismos. Además, deberán proponer tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de residuos para generación de energía, mismas que deberán contar con la viabilidad técnica previo su implementación.

Art. 75. De la disposición final.- Es la acción de depósito permanente de los residuos sólidos no peligrosos en rellenos sanitarios u otra alternativa técnica aprobada por la Autoridad Ambiental Nacional; éstos deberán cumplir con condiciones técnicas de diseño de construcción y operación.

Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS Ecuador

Desde el año 2002 hasta el 2010 la situación en el país indicaba que de un total de 221 municipios 160 disponían sus desechos en botaderos a cielo abierto, perjudicando y contaminando los recursos naturales. Los restantes 61 municipios presentaban un manejo de sus desechos con insuficientes criterios técnicos, en sitios de disposición final parcialmente controlados.

Bajo este contexto, el Gobierno Nacional a través del Ministerio del Ambiente, en abril del año 2010, crea el PROGRAMA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS (PNGIDS), con el objetivo primordial de impulsar la gestión de los residuos sólidos en los municipios del Ecuador, con un enfoque integral y sostenible; con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos e impulsando la conservación de los ecosistemas; a través de estrategias, planes y actividades de capacitación, sensibilización y estímulo a los diferentes actores relacionados. (Ministerio del Ambiente de Ecuador, s.f.)

Las metas iniciales definidas por el Programa contemplaban el que un 70% de la población del Ecuador disponga sus desechos en un relleno sanitario técnicamente manejado hasta el año 2017, año para el cual el objetivo es eliminar los botaderos a cielo abierto de todos los municipios del país. (Ministerio del Ambiente de Ecuador, s.f.)

Con el fin de cumplir con las metas establecidas para el año 2017, el PNGIDS desarrolla su gestión en dos áreas temáticas:

Modelos de Gestión Integral de Desechos Sólidos

Mediante el cual se pretende estandarizar el modelo de gestión de residuos sólidos de acuerdo a las características ambientales y sociales de cada cantón, fortaleciendo de esta manera la gestión de servicios de aseo, con el fin de precautelar el cuidado y preservación del ambiente.

Agregación de Valor

Se pretende impulsar procesos de valorización de los residuos sólidos urbanos que se generan en el país, ya que aproximadamente el 60% de los residuos que se producen diariamente corresponden a residuos orgánicos (transformación de metano a electricidad) y 20% a residuos sólidos inorgánicos son potencialmente reciclables, lo que significa un potencial mercado para comercialización y reutilización.

2.3. Semejanzas y Diferencias entre la legislación Española y Ecuatoriana

Tanto el programa nacional PNGIDS en el Ecuador como la ley 22/2011 en España, buscan una optimización de la gestión de residuos sólidos a nivel nacional y local, a través de estrategias y actividades de trabajo con los prestadores de servicio y los usuarios.

A partir del documento “*Comparación de la normativa Ecuatoriana sobre gestión integral de residuos sólidos urbanos con su equivalente española y análisis ambiental del estudio de GIRSU de la ciudad de Tena (Ecuador)*”, se verificó las semejanzas y diferencias de las normativas ecuatoriana y española sobre gestión de residuos sólidos, teniendo los siguientes resultados:

2.3.1. Comparación de definiciones entre las normativas ecuatoriana y española

Desecho:

Según la normativa ecuatoriana del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2011) denominación genérica de cualquier tipo de productos residuales, restos, residuos o basuras peligrosos o no peligrosas, originados por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que pueden ser sólidos o semisólidos, putrescibles o no putrescibles.

En la (Ley 22, 2011) de España se define como residuo a cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar.

Desecho solido domiciliario:

El que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a éstas (TULSMA, 2011).

Residuos domésticos: residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas (Ley 22, 2011).

Desechos de barrido de calles, limpieza de parques y jardines:

Son los originarios por el barrido y limpieza de las calles y comprende entre otras: basura domiciliarias, institucional, industrial y comercial, arrojadas clandestinamente a la vía pública, hojas, ramas, polvo, papeles, residuos de frutas, excremento humano y de animales, vidrios, cajas pequeñas, animales muertos, cartones, plásticos, así como de corte de césped y poda de árboles o arbustos ubicados en zonas públicas o privadas.

Desechos sólidos de hospitales, sanatorios y laboratorios de análisis e investigación

Son los generados por las actividades de curaciones, intervenciones quirúrgicas, laboratorios de análisis e investigación y desechos asimilables a los domésticos que no se pueda separar de lo anterior. A estos desechos se los considera como Desechos Patógenos y se les dará un tratamiento especial, tanto en su recolección como en el relleno sanitario, de acuerdo al Reglamento Interministerial de Desechos Hospitalarios y Sanitarios haciendo énfasis en el Art. 54¹ y Art.56 (TULSMA, 2011).

Desecho peligroso:

Según la normativa ecuatoriana del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2011) es todo aquel desecho, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas, infecciosas, irritantes, de patogenicidad, carcinogénicas representan un peligro para los seres vivos, el equilibrio ecológico o el ambiente.

¹ Art.54.- Los desechos sólidos de hospitales considerados infecciosos deberán ser sometidos a métodos de tratamiento de acuerdo al tipo de desecho previo a su disposición final tales como: desactivación mediante autoclave por calor húmedo, desactivación por calor seco, desactivación por radiación, desactivación por microondas, desactivación mediante el uso de gases, desactivación mediante equipos de arco voltaico, desactivación por incandescencia e incineración.

En la (Ley 22, 2011) de España se define como residuo peligroso a aquel residuo que presenta una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo III como explosivo, oxidante, inflamable, irritante, nocivo, tóxico, cancerígeno, corrosivo, infeccioso, mutagénico, sensibilizante y ecotóxico.

Desecho no Peligroso:

El Ministerio del Ambiente de Ecuador mediante el (TULSMA, 2011) cataloga como desecho sólido no peligrosos a los siguientes:

- Desechos domiciliarios
- Desechos sólidos comerciales de características y procedencia similar a la de los residuos domiciliarios.
- Desechos sólidos institucionales de características y procedencia similar a la de los residuos domiciliarios.
- Desechos sólidos industriales no peligrosos.
- Desechos sólidos del barrido de calles, limpieza de parques y jardines.
- Desechos sólidos de hospitales, sanatorios y laboratorios de análisis e investigación que no hayan sido catalogados como peligrosos.
- Residuos no peligrosos: los residuos que no estén incluidos en la definición del artículo 3 párrafo c) de la Ley 10 de 1988², de 21 de abril, de Residuos (RD 1481, 2001)

Desecho sólido especial:

Son todos aquellos desechos sólidos que por sus características, peso o volumen, requieren de un manejo diferenciado de los desechos sólidos domiciliarios (TULSMA, 2011). Son considerados desechos especiales:

- Los animales muertos, cuyo peso exceda de 40Kg.
- El estiércol producido en mataderos, cuarteles, parques y otros establecimientos.
- Restos de chatarras, metales, vidrios, muebles y enseres domésticos.
- Restos de poda de jardines y arboles que no puedan recolectarse mediante un sistema ordinario de recolección

² c) Residuos peligrosos: aquellos que figuren en la lista de residuos peligrosos aprobada en el Real Decreto 952/1997, así como los recipientes y envases que los hayan contenido. Los que hayan sido clasificados por la normativa comunitaria y los que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en convenios internacionales de los que España sea parte.

- Materiales de demolición y tierras de arrojado clandestino que no pueden recolectarse mediante un sistema ordinario de recolección.

Residuo inerte:

Aquellos residuos no peligrosos que no experimenten transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas (RD 1481, 2001).

El (TULSMA, 2011) no hace mención sobre este tipo de residuos, pudiéndose catalogar a estos dentro de los residuos especiales o dentro de los residuos no peligrosos, en función de composición y procedencia.

Lixiviado:

Líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos (TULSMA, 2011).

Cualquier líquido que percole a través de los residuos depositados y que rezume desde o esté contenido en un relleno (RD 1481, 2001).

Relleno Sanitario

Es una técnica para la disposición de los desechos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública (TULSMA, 2011).

Relleno: Instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en la superficie, por periodos de tiempo superiores a seis meses en el caso de residuos peligrosos, un año cuando el destino del residuo sea la eliminación y dos años cuando el destino del residuo sea la valorización (RD 1481, 2001).

Suelo Contaminado:

El Ministerio del Ambiente del Ecuador mediante el (TULSMA, 2011) describe como suelo contaminado a todo aquel cuyas características físicas, químicas y biológicas naturales, han sido alteradas debido a actividades antropogénicas y representa un riesgo para la salud humana o el medio ambiente en general.

El Gobierno de España en la (Ley 22, 2011) distingue como suelo contaminado a todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente.

2.3.2. Comparación de las normativas ecuatoriana y española referente a la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos

De las responsabilidades en el manejo de desechos sólidos:

En Ecuador el manejo de los desechos sólidos en todo el país será responsabilidad de las municipalidades, de acuerdo a la Ley de Régimen Municipal y el Código de Salud. Las municipalidades o personas responsables del servicio de aseo, de conformidad con las normas administrativas correspondientes podrán contratar o conceder a otras entidades las actividades de servicio. La contratación o prestación del servicio a que hace referencia este artículo, no libera a las municipalidades de su responsabilidad.

La (Ley 22, 2011) del Gobierno de España establece que las Entidades Locales en el marco de sus competencias, podrán elaborar programas de gestión de residuos de conformidad y en coordinación con el Plan Nacional marco y con los planes autonómicos de gestión de residuos.

De las prohibiciones en el manejo de desechos sólidos:

Se prohíbe en el relleno sanitario y sus alrededores la quema de desechos sólidos. Se prohíbe dentro del área del relleno sanitario la crianza de cualquier tipo de animal doméstico.

Se prohíbe la disposición de desechos radiactivos en los rellenos sanitarios para desechos sólidos no peligrosos.

Se prohíbe la disposición de envases de medicinas, restos de medicamentos caducados, generados por farmacias, centros hospitalarios, laboratorios clínicos, centros veterinarios, etc, en el relleno sanitario de residuos no peligrosos, estos serán devueltos a la empresa distribuidora o proveedora, quién se encargará de su eliminación, aplicando el procedimiento de incineración, el cual será normado por los municipios.

Se prohíbe la disposición de desechos industriales peligrosos provenientes de plantas de tratamiento o de los desechos sólidos generados del proceso de producción, en rellenos sanitarios para desechos sólidos no peligrosos.

Se prohíbe mezclar desechos sólidos peligrosos con desechos sólidos no peligrosos (TULSMA, 2011).

Está prohibido mezclar y diluir los residuos peligrosos con otras categorías de residuos peligrosos ni con otros residuos (Ley 22, 2011).

Queda prohibido admitir en ninguna clase de relleno residuos líquidos (RD 1481, 2001).

Normas para el almacenamiento de desechos sólidos no peligrosos:

Las áreas destinadas para almacenamiento colectivo de desechos sólidos no peligrosos en las edificaciones, deben cumplir por lo menos con los siguientes requisitos:

- a) Ubicados en áreas designadas por la entidad de aseo.
- b) Los acabados serán lisos, para permitir su fácil limpieza e impedir la formación de ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos en general.
- c) Tendrán sistemas de ventilación, de suministros de agua, de drenaje y de prevención y control de incendios.
- d) Serán construidas de manera que se prevenga el acceso de insectos, roedores y otras clases de animales.
- e) Además las áreas deberán ser aseadas, fumigadas, desinfectadas y desinfestadas con la regularidad que exige la naturaleza de la actividad que en ellas se desarrolle.

Para la recolección de desechos reciclables, tales como: papeles y plásticos limpios, envases de: vidrios enteros, metales como latas de cerveza, de gaseosas, de alimentos y otros, se empleará una funda plástica celeste.

Para la recolección de desechos sólidos no reciclables, tales como: desechos sólidos orgánicos, frutas, carnes, verduras, papel higiénico, papel carbón, pañales desechables y otros, se utilizará una funda plástica oscura o negra.

El espacio y los contenedores destinados al almacenamiento de los desechos sólidos deben mantenerse en perfectas condiciones de higiene y limpieza (TULSMA, 2011). Mantener los residuos almacenados en condiciones adecuadas de higiene y seguridad mientras se encuentren en su poder.

La duración del almacenamiento de los residuos no peligrosos en el lugar de producción será inferior a dos años cuando se destinen a valorización y a un año cuando se destinen a eliminación (Ley 22, 2011).

Normas para la recolección y transporte de desechos sólidos no peligrosos:

El Ministerio del Ambiente de Ecuador establece en el (TULSMA, 2011) las normas para recolección y transporte de desechos sólidos no peligrosos donde se indica que: Las entidades encargadas del servicio de aseo, deben establecer la frecuencia óptima para la recolección y transporte, por sectores, de tal forma que los desechos sólidos no se alteren o propicien condiciones adversas a la salud tanto en domicilios como en los sitios de recolección.

La recolección y transporte de desechos sólidos no peligrosos debe ser efectuada por los operarios designados por la entidad de aseo, de acuerdo con las rutas y las frecuencias establecidas para tal fin.

Los usuarios deben sacar a la vía sus recipientes o fundas con los desechos sólidos, solo en el momento en que pase el vehículo recolector, salvo el caso de que se posea cestas metálicas donde colocar las fundas.

Normas para el tratamiento de desechos sólidos no peligrosos:

Los desechos sólidos cuando luego del análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental no puedan ser reciclados o reutilizados, deberán ser tratados por el

generador de los desechos, con la finalidad de mejorar sus condiciones para su disposición final o eliminación, por ello los fines del tratamiento son:

- a) Reducción del volumen.
- b) Reducción del peso
- c) Homogeneización de componentes
- d) Reducción del tamaño.
- e) Uniformización del tamaño.

En el funcionamiento de los incineradores de desechos sólidos, deberá darse cumplimiento a las disposiciones contempladas en la presente Norma para la Prevención y Control de la contaminación del aire (TULSMA, 2011).

Los gestores de residuos están obligados a llevar a cabo el tratamiento de los residuos entregados conforme a lo previsto en su autorización y acreditarlo documentalmente (Ley 22, 2011).

Los residuos deberán ser sometidos a tratamiento previo a su eliminación salvo que el tratamiento de los mismos no sea técnicamente viable o quede justificado por razones de protección de la salud humana y del medio ambiente (Ley 22, 2011).

Normas para la recuperación de desechos sólidos no peligrosos:

El (TULSMA, 2011) del Ecuador en el Libro VI Anexo 6 norma que:

Los municipios deberán realizar estudios que indiquen la factibilidad técnico-económico y ambiental de la implementación de un sistema de reciclaje.

Los municipios deberán estudiar la localización de posibles sitios o elementos de acopio de materiales reciclables como vidrio, papel o plástico.

Todos los empaques, envases y similares deben ser de materiales tales que permitan, posteriormente el uso o consumo del respectivo producto, su reciclaje, recuperación o reuso o en su defecto, que sean biodegradables.

La operación de bodegas y de planta de recuperación de desechos sólidos deberá desarrollarse bajo las siguientes condiciones:

- a) Cumplir con las disposiciones de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial, control de contaminación del aire, agua y suelo, expedidas para el efecto.

- b) Mantener las instalaciones de fachada y acera limpias de todo desecho sólido.
- c) Asegurar aislamiento con el exterior, para evitar problemas de estética, proliferación de vectores y olores molestos.
- d) Realizar operaciones de carga y descarga y manejo de materiales recuperables, en el interior de sus instalaciones.
- e) Desinfectar y desodorizar con la frecuencia que garantice condiciones sanitarias.

Con el objeto de cumplir los objetivos de la (Ley 22, 2011) y de avanzar hacia una sociedad del reciclado con un alto nivel de eficiencia de los recursos, el Gobierno de España y las autoridades competentes deberán adoptar las medidas necesarias a través de los planes y programas de gestión de residuos garantizar que antes del 2020 la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y reciclado de las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, bioresiduos u otras fracciones reciclables alcancen como mínimo el 50% en peso de los producidos.

Normas para la disposición de desechos sólidos no peligrosos

Ubicación:

Para la ubicación de un relleno deberán tomarse en consideración los requisitos siguientes:

- a) Las distancias entre el límite del relleno y las zonas residenciales y recreativas, vías fluviales, masas de agua y otras zonas agrícolas o urbanas.
- b) La existencia de aguas subterráneas, aguas costeras o reservas naturales en la zona.
- c) Las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona.
- d) El riesgo de inundaciones, hundimientos, corrimientos de tierras o aludes en el emplazamiento del relleno.
- e) La protección del patrimonio natural o cultural de la zona.

El relleno solo podrá ser autorizado si las características del emplazamiento con respecto a los requisitos mencionados, o las medidas correctoras que se tomen, indican que aquel no planteará ningún riesgo grave para el medio ambiente.

Control de aguas y gestión de lixiviados:

Se tomarán las medidas oportunas con respecto a las características del relleno y a las condiciones meteorológicas, con objeto de: controlar el agua de las precipitaciones que penetre en el vaso del relleno ; impedir que las aguas superficiales o subterráneas penetren en los residuos vertidos; recoger y controlar las aguas contaminadas y los lixiviados; tratar las aguas contaminadas y los lixiviados recogidos del relleno de forma que se cumpla la norma adecuada requerida para su vertido, o de forma que se evite su vertido, aplicando técnicas adecuadas para ello.

Protección del suelo y de las aguas:

- a) Todo relleno deberá ser situado y diseñado de forma que cumpla las condiciones necesarias para impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas o de las aguas superficiales y garantizar la recogida eficaz de los lixiviados en las condiciones establecidas en el apartado 4.7.2 anterior. La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales durante la fase activa o de explotación del relleno se conseguirá mediante la combinación de una barrera geológica y de un revestimiento artificial estanco bajo la masa de los residuos.
- b) Existe barrera geológica cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y en las inmediaciones de un relleno tienen la capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas.

La base y los lados del relleno dispondrán de una capa mineral con sus condiciones de permeabilidad y espesor cuyo efecto combinado en materia de protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales sea por lo menos equivalente a $k \leq 1.0 \times 10^{-9}$ m/s y el espesor ≥ 1 m. Cuando la barrera geológica natural no cumpla las condiciones antes mencionadas, podrá complementarse mediante una barrera geológica artificial, que consistirá en una capa mineral de un espesor no inferior a 0.5 m.

- c) Además de las barreras geológicas anteriormente descritas, deberá añadirse un revestimiento artificial impermeable bajo la masa de residuos y, con el fin de mantener en un mínimo la acumulación de lixiviados en la base del relleno, un

sistema de recogida de lixiviados mediante una capa de drenaje de espesor mayor o igual a 0.5m.

Para facilitar la interpretación de los apartados b) y c) del numeral 4.7.3 se muestra la Figura 1:



Fuente: (RD 1481, 2001)

(*) Se dispondrá un geotextil protector encima del geosintético de refuerzo.

Figura 1. Protección del suelo y de las aguas para rellenos de residuos no peligrosos

Control de gases:

Se tomarán las medidas adecuadas para controlar la acumulación y emisión de gases del relleno.

En todos los rellenos que reciban residuos biodegradables se recogerán los gases del relleno, se tratarán y se aprovecharán. Si el gas recogido no puede aprovecharse para producir energía, se deberá quemar.

La recogida, tratamiento y aprovechamiento de gases del relleno se llevará a cabo de forma tal que se reduzca al mínimo el daño o deterioro del medio ambiente y el riesgo para la salud humana.

Molestias y riesgos:

Se tomarán las medidas para reducir al mínimo inevitable las molestias y riesgos procedentes del relleno debido a: emisión de olores y polvo, materiales transportados

por el viento, ruido y tráfico, aves, parásitos e insectos, formación de aerosoles, incendios.

El relleno deberá estar equipado para evitar que la suciedad originada en la instalación se disperse en la vía pública y en las tierras circundantes.

Estabilidad:

La colocación de los residuos en el relleno se hará de manera tal que garantice la estabilidad de la masa de residuos y estructuras asociadas, en particular para evitar los deslizamientos. Cuando se instale una barrera artificial, deberá comprobarse que el sustrato geológico, teniendo en cuenta la morfología del relleno, es suficientemente estable para evitar asentamientos que puedan ocasionar daños a la barrera.

Cerramientos:

El relleno deberá disponer de medidas de seguridad que impidan el libre acceso a las instalaciones.

Las entradas estarán cerradas fuera de las horas de servicio. El sistema de control de acceso deberá incluir un programa de medidas para detectar y disuadir el vertido ilegal en la instalación.

Fase de Vigilancia y Control:

Dentro de la legislación vigente en el real decreto 1481/2001 y el libro VI del TULSMA, describen la necesidad de contar con un programa de clausura y post clausura para cumplir con los requerimientos ambientales mínimos una vez se comience el proceso de cierre técnico del relleno sanitario.

La clausura y post clausura incluirá costos de las actividades las cuales permitan al sitio de emplazamiento lograr su integración al paisaje circundante y su aprovechamiento para fines recreativos u otros, para lo cual se necesita mantener un control periódico de los gases y lixiviados producidos por el relleno, para de esta manera evitar contaminación ambiental y eventuales trabajos de saneamiento.

Dentro de las tareas o actividades mínimas para el programa post clausura tenemos la revisión de los siguientes elementos:

- Cunetas y bajantes
- Red de lixiviados
- Control de gases
- Taludes
- Sellado superior
- Plantaciones
- Señalización
- Cerramiento

La frecuencia de control y monitoreo varían de parámetro a parámetro, en este caso la recomendada en el real decreto 1481/2001 para cunetas, lixiviados y gases es la mostrada en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Frecuencia de Monitoreo en Rellenos de Residuos no Peligrosos

Factor	Acción	Frecuencia
		Fase Postclausura
Datos Meteorológicos	Medida del Volumen de precipitación	Valor diario y estadísticos mensuales
	Temperatura	Medias mensuales
	Evaporación	Valor diario y estadísticos mensuales
	Humedad atmosférica	Medias mensuales
Control de aguas superficiales y subterráneas	Medida del caudal de aguas superficiales	Semestral
	Cuantificación del volumen de lixiviado	Semestral
	Nivel de aguas subterráneas o niveles freáticos	Semestral
	Composición de aguas subterráneas, superficiales y lixiviados	Semestral
Emisión de Gases	Determinación de la composición para residuos no peligrosos biodegradables	Semestral

Fuente: Real decreto 1481/2001

2.4. Conclusiones legales

La normativa española y ecuatoriana no difiere como se hubiera esperado, teniendo solo ciertas variaciones en conceptos y en la clasificación de los residuos sólidos.

En la legislación ecuatoriana se hace necesaria la inclusión de un documento que brinde lineamientos técnicos para el dimensionamiento, diseño y operación de un relleno sanitario, mediante una normativa adecuada a la realidad del país.

En cuanto a la legislación española, a pesar de contar con un documento técnico que abarca los aspectos de diseño de operación, estos solo sirven como recomendaciones más no tiene el carácter de normativa, la cual deba ser usada obligatoriamente, dejando a voluntad de los consultores el criterio a utilizar para el diseño, operación y mantenimiento de rellenos sanitarios.

3. APLICACIÓN PRÁCTICA. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1. Antecedentes

En el año 2012 el GADM de Ambato, mediante ordenanza municipal crea la empresa pública para la gestión integral de los desechos sólidos en el cantón Ambato (EP-GIDSA), la cual sería la encargada de presentar un nuevo modelo de gestión así como también hacerse cargo de las operaciones de todo lo que involucre el manejo de desechos.

El modelo aplicado por la EP-GIDSA, se encuentra dentro de los lineamientos del PNGIDS, el cual indica que los sitios de disposición final deben tener una vida útil de por lo menos 10 años, por lo cual en el año 2016 se iniciaron los estudios para la localización de un nuevo sitio para la implantación del relleno sanitario para el cantón Ambato, ya que el actual relleno que sirve a la ciudad está próximo a cumplir su vida útil.

En el presente estudio se brinda una opción emergente a la problemática presentada específicamente en la zona alta del cantón Ambato, para que de esta manera se pueda alargar la vida útil del actual relleno, y, además se pueda dar una correcta gestión a los residuos generados, sirviendo de modelo para que pueda ser aplicado a gran escala en el resto del cantón.

En la problemática presentada en la zona de estudio, se evidencia una falta de opciones para el aprovechamiento de los desechos generados por la población, en especial los orgánicos que son los que más se producen en la zona; por esta razón se abordará el problema teniendo en cuenta las falencias del actual modelo en la zona para así poder brindar una solución en función de la problemática real de las parroquias rurales.

En cuanto a los datos de partida como son la determinación de la producción percapita en la zona alta del cantón Ambato, la caracterización de los residuos y la selección del sitio para la implantación, estos se obtuvieron mediante el estudio "*Evaluación técnico ambiental para la selección del sitio de un relleno sanitario para la zona alta del cantón Ambato*", en el cual se hace un estudio integral de la zona teniendo en cuenta las necesidades de la población así como también los lineamientos ambientales necesarios para la implantación de un relleno sanitario.

3.2. Metodología actual de recolección y disposición final

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) del cantón Ambato, a través de la Empresa Pública Gestora de los Residuos Sólidos del cantón Ambato (EP-GIDSA) es el encargado del manejo de residuos sólidos en toda la jurisdicción del cantón Ambato, desde su etapa inicial de recolección y transporte hasta la disposición final en el lugar destinado a esta actividad.

Actualmente el lugar para la disposición final de residuos es el relleno sanitario municipal, el cual está ubicado en el límite nororiental del cantón.

La metodología utilizada para el manejo de desechos en el cantón consta de las siguientes fases:

- Recogida y transporte
- Disposición de los residuos en el relleno municipal.
- Recolección y tratamiento de lixiviados
- Recolección y quema de biogás producido en el interior del relleno.

3.2.1. Recogida y transporte

Se recolecta los desechos urbanos, tanto domiciliarios como comerciales en camiones compactadores con capacidad de 11 Ton (Foto Nro. 1), los cuales son de propiedad municipal y operados por la EP-GIDSA.



Foto N° 1. Camión recolector

Fuente: <http://www.ambato.gob.ec/>

Los horarios de recolección varían de zona a zona dentro de la cabecera cantonal, mientras que para las parroquias ubicadas en la periferia los horarios de recolección son los días martes, jueves y sábado.

Estos desechos son trasladados hasta el relleno sanitario municipal ubicado en la vía Píllaro Km. 10, en el cual se reciben aproximadamente 250 toneladas diarias de desechos sólidos urbanos, comerciales e industriales de todo el cantón Ambato. En la tabla nro. 1, se puede observar la distancia desde las diferentes parroquias en estudio hasta el relleno municipal.

Tabla 1. Distancia de recorrido al actual relleno

Distancia hasta relleno sanitario	
Parroquia	Dist. (Km)
Sta. Rosa	21.2
JBV	25.4
Pilahuín	34.3

3.2.2. Disposición de residuos en el relleno municipal

En el relleno se realizan esporádicamente trabajos manuales de reciclaje de material inorgánico como cartón, plástico, vidrio y metales, previo a ser depositado en el mismo.

Por otro lado el material orgánico que no sea retenido en fuente para ser usado como comida de animales o para manufactura de compost, es destinado directamente al relleno sin ningún tipo de valorización, es decir en el relleno los residuos orgánicos no son aprovechados de ninguna manera.

El actual relleno municipal tiene una vida útil restante de 2 años, por lo cual es de suma importancia buscar alternativas de gestión y nuevas alternativas de sitios de emplazamiento para el futuro relleno que servirá a la ciudad. En la foto nro. 2 se puede observar el predio en el cual se ubica el actual relleno municipal.



Foto N° 2. Relleno Municipal

3.2.3. Recolección y tratamiento de lixiviados

Se recolecta el líquido lixiviado producido en el relleno mediante una red de tubería de fondo (espina de pescado), la cual conduce el lixiviado hasta el área de tratamiento para posteriormente ser agenciada por el gestor calificado para la actividad. En la foto nro. 3 se puede observar el método constructivo de la tubería de drenaje.



Foto N° 3. Tubería de Recolección de lixiviados

Fuente: <http://www.aqualimpia.com>

3.2.4. Recolección y quema de biogás producido en el interior del relleno

De igual manera el biogás es captado mediante chimeneas ubicadas a lo largo de todo el relleno sanitario, el cual es quemado mediante un mechero encendido ubicado en el tope de las chimeneas (foto nro. 4).

Al momento existen estudios para el aprovechamiento de biogás producido en el relleno para generación de electricidad la cual será usada para el propio sitio, pero a la fecha no ha sido posible ponerlo en marcha.



Foto N° 4. Quemadores de biogás

Fuente: <http://www.elheraldo.com.ec>

3.3. Diseño del sistema

3.3.1. Datos de partida

La zona alta del cantón Ambato está constituida por 3 parroquias rurales que son Santa Rosa, Juan Benigno Vela y Pilahuín, actualmente en la zona ya existen iniciativas de ciertos hogares para desarrollar planes de reciclaje y reutilización de residuos orgánicos, ya que al ser una zona altamente agrícola la mayoría de los residuos orgánicos están destinados a ser comida de animales y en algunos casos a mejorar el suelo utilizado para cultivos. La ubicación de la zona de Estudio se muestra en la imagen 01. En la imagen 02 su muestra la zona en mayor detalle.



Imagen 1. Ubicación de la zona de estudio



Imagen 2. Detalle zona de estudio

Según el censo realizado por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Censos (INEC) se pudo observar que la proyección para el año 2016 en la zona alta del cantón Ambato, cuenta con una población combinada de 52.217 habitantes, la cual se desglosa en la tabla nro. 2:

Tabla 2. Población por parroquia

Parroquia	Poblacion (Hab)
Sta. Rosa	30392
JBV	8377
Pilahuin	13448
Total	52217

Fuente: INEC

En el estudio de caracterización de residuos realizado en la zona se obtuvo que la producción per cápita de residuos sólidos es de 0.63 kg/hab/día.(Nicola, 2013)

A partir de estos datos de población y producción per capita podemos determinar la cantidad de residuos producidos diariamente, mensualmente y anualmente, para de esta manera tener un panorama más claro acerca de la realidad de la zona en cuanto a la producción de desechos y para la elaboración de un modelo de gestión que se ajuste a la realidad regional y zonal; Así mismo con la meta de seguir los lineamientos emitidos por el ministerio del ambiente mediante el proyecto nacional de gestión de desechos sólidos (PNGIDS), se busca mantener la producción per cápita estable en el tiempo mediante talleres y seminarios ambientales en la zona, con los cuales se busca socializar y promover la reducción y reutilización de residuos soólidos.

Teniendo en cuenta la filosofía del PNGIDS se proyectó la producción anual de residuos a un horizonte de 10 años de obteniendo los siguientes datos presentados en la tabla nro. 3:

Tabla 3. Producción de Residuos Sólidos

Parámetros	Año		Unidad
	2016	2026	
Población	52.217	70.366	habitantes
PPC	0,63	0,63	kg/hab/día
Generación	11.842,82	15.959	Ton/año

3.3.2. Caracterización de Desechos sólidos

En el estudio llevado a cabo en la zona para la determinación de un sitio de implantación para un relleno sanitario, entre otros, se realizó la caracterización de residuos en cada parroquia (Foto Nro. 5), en la cual se pudo evidenciar los grupos de desechos predominantes obteniendo los siguientes resultados expresados en el gráfico nro. 1 y en la tabla nro. 4:



Foto N° 5. Pesaje de Basura utilizando una balanza de mano

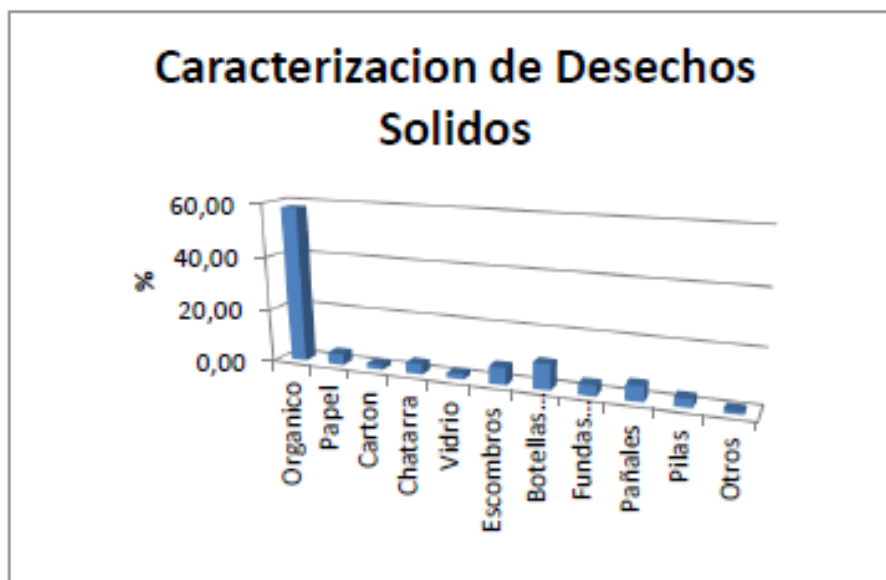


Gráfico 1. Caracterización de Residuos Sólidos

Fuente: (Nicola, 2013)

Tabla 4. Caracterización de residuos solidos

Tipo	%
Orgánico	56.7
Papel	5
Cartón	3
Chatarra	4
Vidrio	3
Escombros	5
Botellas	9
Fundas plásticas	3.5
Pañales	5.5
Pilas	3.1
Otros	2.2
Total	100

Fuente: (Nicola, 2013)

A partir de estos resultados se puede observar que el grupo de desechos orgánicos es el predominante con el 56.7%, mientras que los residuos inorgánicos se reparten un 43.3%, lo cual concuerda con la realidad de la zona al tratarse de parroquias rurales.

Dichos datos servirán para elaborar un modelo de gestión adecuado para este caso de estudio en particular, de manera que se pueda optimizar la valoración de residuos y la minimizar el área del sitio en el cual será emplazado el relleno sanitario.

3.3.3. Ubicación de Sitio

En el estudio de campo realizado previamente se identificaron diferentes áreas de propiedad municipal y privada que podrían servir como sitio para la ubicación de un nuevo relleno.

Por lo cual luego de realizado el estudio técnico ambiental de los sitios potenciales, se calificó en base a una serie de parámetros técnicos, ambientales, sociales y económicos, seleccionando al sitio ubicado en el sector "Casigana" (foto nro. 9 y 10) que cuenta con un área de 3 Ha, como el más adecuado por sus características y por su ubicación, dicho predio se encuentra localizado en las siguientes coordenadas: 761108E, 9859471S. (Nicola, 2013)

El sitio en cuestión se encuentra en zona montañosa en la ladera del monte casigana como se muestra en la imagen nro. 3, dada su ubicación y topografía (imagen 4), se presenta como una alternativa viable para la implantación de un relleno sanitario.



Foto N° 6. Tipo de suelo predio Casigana



Foto N° 7. Vías de acceso al sitio



Imagen 3. Predio Casigana

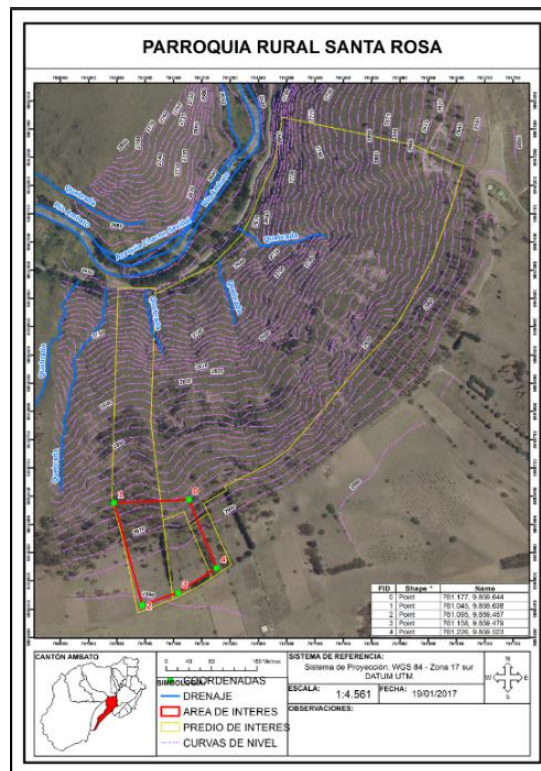


Imagen 4. Topografía sitio de interes

Fuente: GADM Ambato

3.3.4. Sistema de recogida: Rutas y horarios

Se plantea el siguiente servicio de recolección, el cual se realizará con la siguiente frecuencia para cada una de las parroquias.

Santa Rosa

Los días lunes, miércoles y viernes se prestará el servicio de recolección con una cobertura aproximadamente del 100% del casco urbano rural de la parroquia.

El recorrido iniciará a partir de las 7 am y los residuos serán recogidos al final de cada una de las cuadras de los domicilios.

Juan Benigno Vela

La recolección será realizada los días martes y jueves cubriendo el 50% de la población debido a que existen zonas más lejanas e inaccesibles para cualquier tipo de vehículo destinado a esta actividad, razón por la cual se deberá crear puntos estratégicos en los cuales los residuos sean depositados para cada una de estas zonas.

El inicio del recorrido será a partir de las 7 am y recorrerá todo el casco urbano rural.

Pilahuín

En esta parroquia se presenta un caso similar a la parroquia de Juan Benigno Vela debido a que cuenta con zonas pobladas lejanas e inaccesibles para un vehículo de recolección, por lo que se deberán crear de igual manera puntos estratégicos para que la población no abastecida por este servicio deposite sus residuos.

Los días de recolección serán los días martes y jueves, con un inicio de actividades a partir de las 7 am.

El sitio escogido se encuentra en una zona en la cual, dado la cercanía con las parroquias en estudio, haría del recorrido de los camiones recolectores mucho más corto, como muestra en la tabla nro. 5.

Tabla 5. Distancia de recorrido a alternativa para relleno

Dist. Hasta alternativa	
Parroquia	Dist. (Km)
Sta Rosa	2.3
JBV	6.6
Pilahuin	15.5
RS actual	21.2

3.3.5. Sistema de Valorización, Compost.

Con los datos obtenidos en el muestreo realizado se observa que debido a la alta cantidad de residuos orgánicos (56%), es viable la implementación de una planta de compostaje, el cual será utilizado para mejorar los suelos utilizados para cultivo, por lo cual es necesario un diseño óptimo de la planta para que sea utilizada de manera adecuada por la comunidad, para esto sería necesario instaurar un programa de inscripciones en el cual la población interesada podrá adquirir el compostaje necesario para sus tierras; Además se debe dirigir un porcentaje del compostaje producido a zonas en proceso de desertificación de tal manera que pueda ser regenerada, esto solo será posible si se trabaja a nivel institucional siendo el municipio o el consejo provincial los encargados de llegar a las zonas afectadas.

Además se puede utilizar un porcentaje de los residuos orgánicos como comida para animales domésticos, en especial para los cerdos que es el animal que más consume los desechos orgánicos domiciliarios en la zona.

Para el caso de las parroquias Santa Rosa, Juan Benigno Vela y Pilahuín cuya principal actividad económica es la agricultura, la producción de abono mediante el compostaje ayudará a un mejor desarrollo de sus cultivos.

En función de la actividad económica que presentan las parroquias Santa Rosa, Juan Benigno Vela y Pilahuín, el compostaje aerobio mediante la conformación de pilas es la mejor alternativa para la producción de compost, ya que dicho proceso es de fácil implementación y no necesita de una alta inversión (figura nro. 1).

Para la elaboración del compostaje hay que tener ciertos parámetros en cuenta para su correcto manejo, los cuales se indican a continuación (Roben 2002):

Contenido de humedad:

Para la producción de compost la humedad óptima es del 50 al 60%, el exceso de humedad, es decir por encima de este rango, ocasiona que le agua colme los espacios vacíos existentes entre partículas causando así falta de oxigenación y por lo tanto putrefacción y lixiviados; por el contrario si la humedad se encuentra por debajo del 20% la actividad de los microorganismos disminuye retardando el proceso.

pH:

El rango en el cual el pH debe mantenerse durante el proceso de compostaje es de 7 a 7,5. Se debe tomar en cuenta que durante el principio de elaboración de compost este se encontrará alrededor de 5 debido a la creación de ácidos orgánicos, los mismos que se consumirán posteriormente elevando el pH al rango indicado con anterioridad.

Temperatura:

Es uno de los parámetros a tener mayor consideración ya que de este depende también la humedad, durante el inicio del proceso se encontrará alrededor de los 30°C, mientras que en el final de la etapa debe bordear los 50°C.

Oxígeno:

Si el compostaje es aerobio, la oxigenación es indispensable para que el proceso se desarrolle con éxito. Debe existir entre el 15 y 20% de oxígeno en volumen para que los microorganismos realicen normalmente la degradación de la materia, si el oxígeno existente es menor al 10% en volumen el compostaje se inhibe.

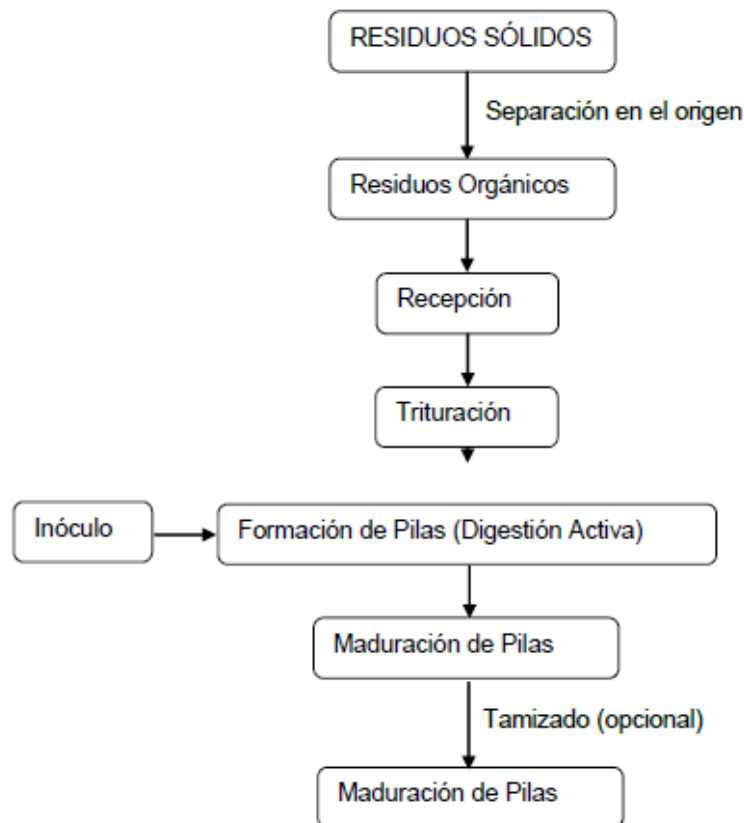
Relación C/N

Es la relación entre carbono (fuente de energía) y nitrógeno (fuente de nutrientes), la misma que en el principio del proceso debe ser menor a 30, durante el mismo menor a 20, mientras que al final del compostaje debe estar por debajo de 15, garantizando así la síntesis de las células.

Tamaño de partícula

El tamaño de las partículas de materia orgánica debe ser menor a 10 mm. Por lo general los residuos orgánicos deben pasar primeramente por un triturador para obtener el tamaño deseado debido a la variedad de tamaño y forma que estos presentan.

Figura 2. Proceso de compostaje aerobio



Diseño de planta de compost

Se pretende construir una planta de compostaje para que dé servicio a una población de 52.217 habitantes.

Debido a que no existe características específicas de los residuos recogidos se ha estimado aproximadamente los valores de humedad en los diferentes componentes de los desechos por cada 100 kg recogidos. Dichos valores se muestran en la tabla nro. 6.

Tabla 6. Composición de Residuos

Componentes	Humedad (%)	Peso (kg)
Orgánicos	70%	56.7
Papel	20%	5
Cartón	20%	3
Chatarra	0%	4
Vidrio	0%	3
Escombros	0%	5
Botellas plásticas	5%	9
Fundas plásticas	5%	3.5
Pañales	10%	5.5
Pilas	0%	3.1
Otros	30%	2.2
TOTAL		100

Como primer paso del proceso se determina el balance de masa, identificando de forma concreta cada uno de los siguientes aspectos:

- Los residuos procesados en la línea de tratamiento de materia orgánica por compostaje.
- Los residuos procesados en la línea de rechazos.
- Determinar además los elementos que van a ser recuperados para su posterior reciclaje.
- Calcular la cantidad de residuos obtenidos como rechazo primario en la planta

Una vez determinadas las cantidades de materia orgánica y rechazos se procede a dimensionar las áreas de fermentación y maduración suponiendo que el tipo de proceso de compostaje es el tradicional en hileras y volteos periódicos.

Cálculo de la producción diaria de compost.

Como dato de partida para el cálculo de la producción de compost se necesita conocer el contenido de humedad de los residuos; para fines prácticos y debido a que no se cuenta con datos de humedad de los residuos de la zona se estimará valores de humedad en los diferentes grupos de residuos.

Tabla 7. Características de los RSU de entrada a la planta

Tipo	Humedad (%)	Peso (kg)	Peso seco (kg)	Peso agua (kg)
Orgánico	70.00%	56.7	17.01	39.69
Papel	20.00%	5	4	1
Cartón	20.00%	3	2.4	0.6
chatarra	0.00%	4	4	0
vidrio	0.00%	3	3	0
escombros	0.00%	5	5	0
botellas	5.00%	9	8.55	0.45
fundas	5.00%	3.5	3.325	0.175
pañales	10.00%	5.5	4.95	0.55
pilas	0.00%	3.1	3.1	0
Otros	30.00%	2.2	1.54	0.66
Total		100	57	43

De la tabla nro. 7 se evidencia que la humedad de los RSU es igual a 43 %.

A la entrada de los RSU a la planta, el 2% en peso de ellos son residuos voluminosos (monstruos) que no deben incorporarse a la línea de tratamiento. El 98% restante es el que se procesa realmente en la planta de compostaje.

Además, se dará como válidos la siguiente distribución de residuos entre las dos líneas de tratamiento existente en la planta (habrá que comprobar posteriormente que estas suposiciones son ciertas). Dicha distribución se muestra en la tabla nro. 8.

Tabla 8. Porcentaje de residuos por cada línea de tratamiento

Línea de M.O.	Componentes	Línea de rechazos
95%	Orgánico	5%
30%	Papel	70%
30%	Cartón	70%
5%	Chatarra	95%
5%	Vidrio	95%
5%	Escombros	95%
5%	Botellas	95%
10%	Fundas	30%
70%	Pañales	30%
0%	Pilas	100%
30%	Otros	70%

Los residuos incluidos en la línea de materia orgánica son los que van a ser procesados para la obtención posterior del compost.

Los residuos incluidos en la línea de rechazos van a ser procesados para obtener subproductos que posteriormente se reciclan.

El rechazo de ambas líneas debe ser gestionado mediante depósito en relleno controlado.

Considerar además los siguientes rendimientos en la línea de rechazos:

- Un 50% del papel-cartón
- Un 50% de los plásticos
- Un 50% del vidrio
- Un 30% de los metales

Por tanto, podemos calcular el peso de cada componente en cada una de las líneas:

Residuos procesados en la línea de tratamiento de materia orgánica por compostaje:

Tabla 9. LÍNEA DE MATERIA ORGÁNICA (COMPOST VERDE)

Línea de M.O.	Componentes	Peso inicial de RSU que entran en planta (kg)	Peso línea de M.O. (kg)	Peso seco (kg)	Peso agua (kg)
95%	Orgánico	56.7	53.87	16.16	37.71
30%	Papel	5	1.50	1.20	0.30
30%	carton	3	0.90	0.72	0.18
5%	chatarra	4	0.20	0.20	0.00
5%	vidrio	3	0.15	0.15	0.00
5%	escombros	5	0.25	0.25	0.00
5%	botellas	9	0.45	0.43	0.02
10%	fundas	3.5	0.35	0.33	0.02
70%	pañales	5.5	3.85	3.47	0.39
0%	pilas	3.1	0.00	0.00	0.00
30%	Otros	2.2	0.66	0.46	0.20
		100	62.18	23.4	38.81

De la tabla nro. 9, se obtiene que, por cada 100 kg de RSU que entran en la planta, el peso total de los residuos procesados en la línea de M.O. es de 63.2 kg, de los cuales 23,4 kg son materia seca y 38,81 kg son peso de agua.

La humedad de la fracción de la línea de materia orgánica es:

$$\text{Humedad línea de M.O.} = 38.81/62.18 = \mathbf{62,4\%}$$

Residuos procesados en la línea de rechazos

Tabla 10. LÍNEA DE RECHAZOS

Línea de rechazos	Componentes	Peso inicial de RSU que entran en planta (kg)	Peso línea de rechazos	Peso seco (kg)	Peso agua (kg)
5%	Orgánico	56.70	2.84	0.85	1.98
70%	Papel	5.00	3.50	2.80	0.70
70%	carton	3.00	2.10	1.68	0.42
95%	chatarra	4.00	3.80	3.80	0.00
95%	vidrio	3.00	2.85	2.85	0.00
95%	escombros	5.00	4.75	4.75	0.00
95%	botellas	9.00	8.55	8.12	0.43
90%	fundas	3.50	3.15	2.99	0.16
30%	pañales	5.50	1.65	1.49	0.17
100%	pilas	3.10	3.10	3.10	0.00
70%	Otros	2.20	1.54	1.08	0.46
		100	37.8	33.51	4.32

De la tabla nro. 10, se muestra que por cada 100 kg de RSU que entran en la planta, el peso total de los residuos procesados en la línea de rechazos es de 37,8 kg, de los cuales 33,51 son materia seca y 4.32 son peso de agua.

La humedad de la fracción procesada en la línea de rechazos es:

$$\text{Humedad línea de rechazos} = 4.32 / 37,8 = 11.4\%$$

Elementos que van a ser recuperados para su posterior reciclaje

Los elementos recuperados proceden de la línea de rechazos con los porcentajes definidos anteriormente:

- | | |
|----------------------|------------------------------|
| • Un 50% del papel | $3.5 \times 0,5 = 1.75 \%$ |
| • Un 50% del cartón | $2.1 \times 0,5 = 1.05 \%$ |
| • Un 50% de plástico | $11.70 \times 0,5 = 5,85 \%$ |
| • Un 50% del vidrio | $2.9 \times 0,5 = 1.43\%$ |
| • Un 30% de chatarra | $3.8 \times 0,3 = 1.14\%$ |

Por tanto: Total de subproductos recuperados = $1.75 + 1.35 + 5.85 + 1.43 + 1.14 = 11,22\%$ en peso.

Cantidad de residuos obtenidos como rechazo primario en la planta

El rechazo primario es la diferencia entre la totalidad de los residuos que son tratados en la línea de rechazos y los subproductos recuperados.

$$\text{Total rechazo primario} = 36,3 - 11,22 = 26,6 \%$$

Dimensionamiento de las áreas de fermentación y maduración suponiendo que el tipo de sistema de compostaje es el tradicional en hileras y con volteos periódicos.

El proceso de compostaje mediante el método tradicional en hileras con volteos periódicos dura tres meses, incluyendo las fases de fermentación y de maduración.

Se realiza los cálculos de la necesidad de superficie para gestionar los residuos producidos en un mes.

El proceso desarrollado en la planta una vez se ha separado la línea de materia orgánica (compost verde) de la línea de rechazos es el siguiente:

1. Recepción
2. Separación
3. Tratamiento de la fracción orgánica de los residuos por separado
4. Fermentación
5. Maduración
6. Afino

ANÁLISIS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en el balance de masas (Tabla 3), el peso seco de las distintas componentes de la fracción orgánica BIODEGRADABLES:

- Orgánico (16.16 kg)
- Papel (1.2 kg)
- Cartón (0,72 kg)
- Pañales (3.47 kg)

Sumando todas las componentes, se tiene el peso total de la fracción orgánica biodegradable es 21,5 kg

Las restantes componentes de la línea de materia orgánica son la fracción NO BIODEGRADABLE, que será eliminada en el proceso de afino del compost maduro, cuyo peso seco es el siguiente (Tabla 3):

- chatarra (0.2 kg)
- Vidrio (0,15 kg)
- Escombros (0,25 kg)
- Fundas (0.3 kg)
- Botellas (0.4 kg)
- Pilas (0 kg)
- Otros (0,46 kg)

Sumando todas las componentes, se tiene el peso total de la fracción NO BIODEGRADABLE de la línea de tratamiento de M.O. es 1.82 kg

Por tanto, las características del COMPOST VERDE se muestran en el cuadro nro. 2:

Cuadro 2. Características del Compost Verde

- El compost verde supone el 62,2% en peso y tiene un 62,42% de humedad
- Peso seco compost verde = 23,7 kg
- Peso agua en compost verde = 38,81 kg
- Peso seco de la fracción orgánica biodegradable = 21,54 kg

Durante el proceso de fermentación se producen una pérdida de agua por evaporación y pérdidas de materia seca por transformación biológica de los Sólidos Totales de la fracción orgánica biodegradable. Estas pérdidas las podemos estimar del siguiente modo:

- Pérdidas de agua por evaporación = 40% de vapor de agua en peso
- Pérdidas por transformación biológica de los ST = 30% de ST Biodegradables (secos)

Por tanto, podemos evaluar de estas pérdidas del siguiente modo:

- Pérdidas de agua por evaporación = $0,4 \times 38,81 = 15,52$ kg agua
- Pérdidas por transformación biológica = $0,3 \times 21,1 = 6,46$ kg materia seca
- Pérdidas totales = $15,52 + 6,46 = 21,99$ kg

Por tanto, restando a las características del compost verde las pérdidas anteriores, podemos escribir las características del COMPOST FERMENTADO en el cuadro nro.

3:

Cuadro 3. Características del Compost Fermentado

- Peso seco compost fermentado = $23,7 - 6,46 = 16,9$ kg
- Peso agua en compost fermentado = $38,81 - 15,52 = 23,29$ kg
- Peso total del compost fermentado = $16,9 + 23,29 = 40,19$ kg

En consecuencia, la producción de compost fermentado supone el 40,19% de la entrada total de RSU a la planta.

DISEÑO DEL ÁREA DE COMPOSTAJE

Para dimensionar el área de compostaje, se admitir lo siguiente:

- Producción de RSU = 0,63 kg/hab/día
- Población = 52.217 habitantes
- Producción mensual de RSU = $30 \times 52.217 \times 0,63 = 986.901$ kg/mes
- Producción mensual de RSU = 986 t/mes

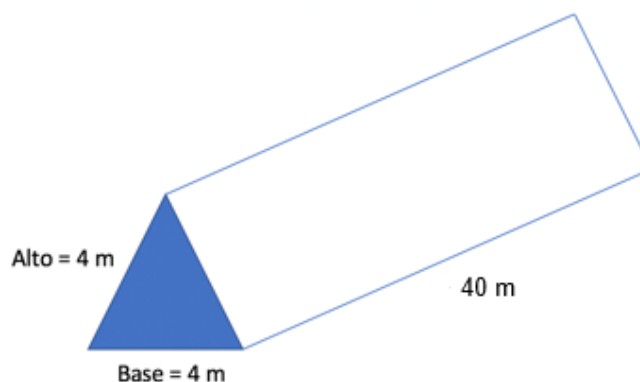
De esta producción total de RSU, hemos visto que la producción de compost verde (compost bruto) es del 62,18 % y el 40,19% de Compost Fermentado. Por tanto:

- Producción mensual de compost bruto = $986,9 \times 0,6218 = 613,6$ t/mes
- Producción mensual de compost fermentado = $986,9 \times 0,4019 = 396,6$ t/mes
- Producción mensual de compost media = $0,5 \times (613,6 + 396,6) = 505,1$ t/mes

Para diseñar el área de compostaje, se considera los parámetros de diseño descritos en el cuadro nro. 4:

Cuadro 4. Parámetros de diseño del área de compostaje

- Densidad del compost = $0,5 \text{ t/m}^3$
- Ancho de las hileras = 4 m
- Alto de las hileras = 4 m
- Sección de las hileras triangular
- Separación entre hileras = 2 m
- Longitud de las hileras = 40 m



A partir del volumen medio de compost producido, se calcula la superficie necesaria del modo siguiente:

Volumen de compost mensual = $505,1 \text{ t/mes} \rightarrow 505,1/0,5 = 1010,2 \text{ m}^3/\text{mes}$

Volumen almacenado en cada hilera = $0,5 \times 4 \times 4 \times 40 = 320 \text{ m}^3/\text{hilera}$

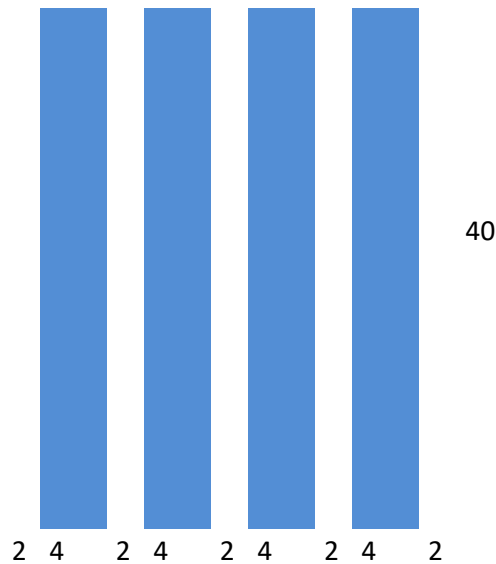
Numero de hileras necesario al mes = $1010,2 \text{ m}^3 / 320 \text{ m}^3 = 3,16 \rightarrow 4 \text{ hileras}$

Tiempo de desarrollo del proceso de compostaje = 3 meses

Añadiremos una hilera extra que permita actuar de pulmón para la carga y descarga del compost.

Nº total de hileras + 1 de respiro = 4 hileras

Superficie del grupo de hileras = $40 \times 26 = 1.040 \text{ m}^2$



En la ilustración nro. 1 se muestra como estarían distribuidas las hileras de compost.



Ilustración 1. Pilas de Compostaje

Fuente: <http://inta.gob.ar/noticias/uso-de-tecnologias>

Calcular la producción diaria de compost.

Una vez se ha desarrollado la fermentación, se realiza la fase de maduración.

En el proceso de maduración, se pierde la siguiente masa:

- 10% de pérdidas de agua por evaporación en el compost fermentado
- 10% de Sólidos Totales de la fracción biodegradable en el compost fermentado.

Además, finalizado el proceso de maduración, se eliminar los sólidos NO BIODEGRADABLES en el proceso de AFINO.

Podemos calcular el compost maduro a partir de los datos del compost fermentado:

- Peso seco compost fermentado = 16,9 kg
- Peso agua en compost fermentado = 23,29 kg
- Peso seco fracción NO BIODEGRADABLE = 1.82kg (calculado anteriormente)

Por tanto, podemos realizar los cálculos de la producción de compost maduro y afinado:

Peso seco compost maduro tras afino = $(16,9 - 1.82) \times 0,9 = 13,6$ kg

Peso agua en compost maduro y afinado = $23,29 \times 0,9 = 21$ kg

Peso total compost maduro afinado = $13,6 + 21 = 35$ compost/100 kg RSU

En consecuencia, la producción diaria de compost maduro y afinado es la siguiente:

Producción de compost diaria = $32,9 \text{ t RSU/día} \times 0,35 \text{ t compost/t RSU} = 11 \text{ t compost/día}$

Y considerando la densidad $0,5 \text{ t/m}^3 \rightarrow$ **Producción diaria de compost = $23 \text{ m}^3/\text{día}$**

Como se puede observar el área requerida para el manejo de compostaje es de 1.040 m^2 , el cual deberá ser considerado al momento de verificar si el área de la alternativa escogida es suficiente para implantar el área de volteo de pilas.

3.3.6. Reciclaje

Al momento de realizar el estudio técnico ambiental para la elección del sitio, se realizó la encuesta a la población donde se pudo verificar que no existe un mercado de reciclaje de residuos inorgánicos en la zona, razón por la cual se ha optado por el no aprovechamiento de los mismos, es decir estos serán recogidos y se hará la separación en la planta de compostaje para su previa disposición al relleno.(Nicola, 2013).

La falta de asociaciones o cooperativas de reciclaje no permiten el aprovechamiento de este tipo de desechos, por esto la inversión en infraestructura para la recuperación sería infructuosa; sin embargo se propone la reducción de compra de botellas desechables y se recomienda el aumento del consumo de bebidas en botellas retornables, de esta manera se reducirá la cantidad de plásticos no reciclables al relleno municipal.

3.3.7. Diseño de Relleno Sanitario

Para el emplazamiento del relleno sanitario se debe tener en cuenta si la capacidad del predio escogido obedece a las necesidades de eliminación de los residuos producidos en la zona; además complementariamente se debe realizar el diseño de los sistemas de recolección y drenaje de aguas lluvia y lixiviados y de recolección y quema de biogás, esto para la correcta operación y mantenimiento del relleno.

Como primer paso se utiliza los datos de partida que son la población futura, la producción per cápita, la capacidad de compactación de relleno, material de cobertura y capa de sellado, con lo cual se procede al diseño del relleno:

Datos iniciales:

Población: 52.217 hab.

PPC: 0.63kg/hab/día

Densidad de relleno sanitario: 0.8 Ton/m³

Material de cobertura: 10%

Capa de impermeabilización (arcilla) = 0.5 m

Capa de sellado superior:

- Capa de sellado formado por arcilla: 50cm
- Capa de sellado formado por capa vegetal: 0.80cm
- Superficie disponible: 15.000 m²

Estudio de Suelos

A partir de los estudios realizados para la implantación de una planta de tratamiento de agua en la parroquia de Santa Rosa, se pudo obtener los datos geológicos y el perfil estratigráfico de zona, como se muestra en los cuadros nro. 5, 6 y 7.

Cuadro 5. Datos geológicos de la zona de estudio

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Esfuerzo admisible del suelo	Σ_{adm}	5.9	kg/cm ²
densidad del suelo	γ	1.7	kg/cm ³
módulo de elasticidad	E	320	tn/cm ³
Kv		1000	kg/m ² /m
Kh		750	g/m ² /m
Asentamiento máximo permisible	S	25	mm
ángulo de rozamiento	Φ	36	°
esfuerzo admisible del suelo	Σ_{adm}	59	tn/m ²

Fuente: Estudio mecánica de suelos, planta de tratamiento Apatug

Cuadro 6. Perfil estratigráfico

Perfil Estratigráfico	
Profundidad	Tipo
-2	limo arenoso negruzco ML
-6.5	limo arenoso amarillento ML

Fuente: Estudio mecánica de suelos , planta de tratamiento Apatug

Cuadro 7. Coeficiente de permeabilidad k

Terreno	k (cm/s)
grava	$10^{-1} < k < 10^2$
arena	$10^{-3} < k < 10^{-1}$
limo y arena arcillosa	$10^{-7} < k < 10^{-3}$
arcilla	$10^{-11} < k < 10^{-7}$
rocas	$10^{-10} < k < 10^{-8}$

Fuente: J. Costet, curso práctico de mecánica de suelos

Como se puede observar a partir de los datos del perfil estratigráfico se tiene un tipo de terreno limo arenoso, lo cual nos indica que se tiene un coeficiente de permeabilidad “k” entre 10^{-7} y 10^{-3} cm/seg; adicionalmente se indica que de acuerdo a la legislación vigente se recomienda que el coeficiente de permeabilidad sea igual o menor que 10^{-7} cm/s, por lo que se concluye que en este caso en particular no es necesario otras alternativas de emplazamiento.

Dado el tipo topografía del terreno escogido (pendiente mayor al 10%), se optó por el método de trinchera o zanja, el cual es probablemente el más práctico y de operación más sencilla.

Este método consiste en la excavación de una zanja o zanjas periódicas mediante retroexcavadora, en la cual se deposita la basura, que debe ser compactada para luego ser cubierta con el material previamente extraído; adicionalmente se indica que el relleno debe contar con un sistema de recolección de lixiviados, aguas lluvias y biogás para su correcto funcionamiento.

3.3.7.1. Cálculo

A partir de los datos de producción percapita y población, se obtiene la producción anual de residuos sólidos:

$$\text{Producción anual de RSU} = \text{Pob} * \text{PPC}$$

$$\text{Producción anual de RSU} = 52.217\text{hab} * \frac{0.63\text{kg}}{\text{hab}} * \text{día} * 30\text{días} * 12 \text{ meses}$$

$$\text{Producción anual de RSU} = 11.842.815\text{kg/año} = 11.842\text{ton/año}$$

Para este caso en particular se ha tomado una vida útil del relleno igual a 10 años, teniendo lo siguiente:

$$\text{Producción en 10 años} = 10\text{años} * 11.842\text{ton/año} = 118.428\text{ton}$$

$$\text{Vol. RSU} = \frac{118.428}{0.8 * 0.9} = 164.483\text{m}^3$$

$$\text{Vol. capa impermeabilización} = 15.000\text{m}^2 * 0.5\text{m} = 7.500 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. capa de sellado} = 15.000\text{m}^2 * 1.3\text{m} = 19.500 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. total (sellado + impermeabilización)} = 27.000\text{m}^3$$

$$Vol. total = Vol. RSU + Vol(sellado + imper.)$$

$$Vol. total = 164.483m^3 + 27.000m^3 = 191.483m^3$$

Después de realizado el cálculo, se pudo determinar que se requiere de un volumen de 191.483m³ para que el relleno tenga una vida útil de por lo menos 10 años, por lo cual podemos determinar que el sitio escogido tiene la capacidad necesaria para funcionar como sitio de disposición final de residuos.

En las ilustraciones nro. 1, 2, 3, 4, 5 y 6, se puede observar el proceso de construcción, explotación, colmatación y cierre técnico. Además en la ilustración nro. 7 se observa la posible distribución del relleno sanitario, zona de compost y demás infraestructura propia del sitio de relleno sanitario.

Estado inicial



Ilustración 2. Perfil Longitudinal de terreno

Movimiento de tierras

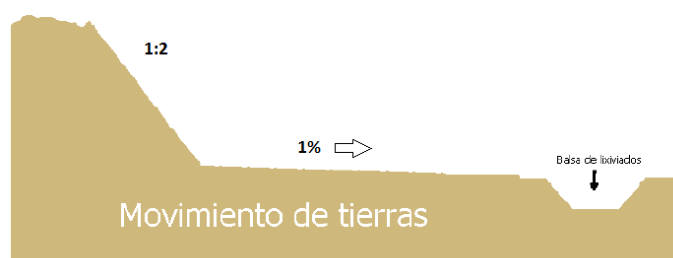


Ilustración 3. Perfil Longitudinal de Proyecto

Construcción

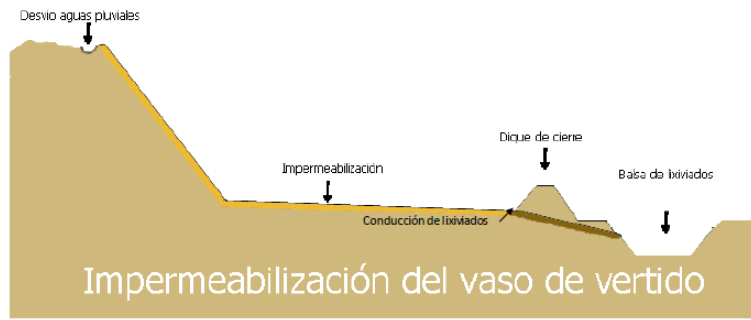


Ilustración 4. Proceso Constructivo

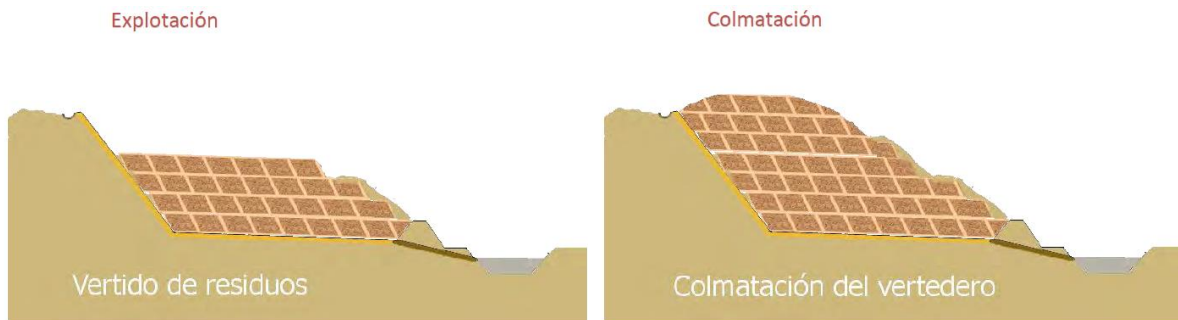


Ilustración 5. Explotación y colmatación



Ilustración 6. Cierre técnico y mantenimiento

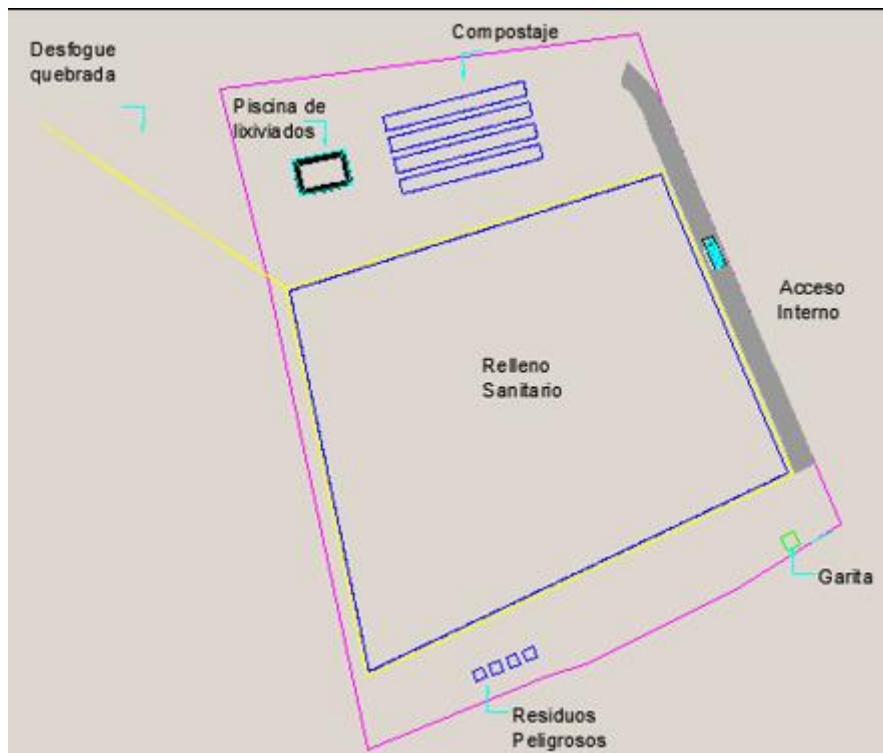


Ilustración 7. Vista en Planta del Relleno Sanitario

3.3.8. Modelación de la producción de biogás.

Como parte importante dentro de la gestión del relleno, se encuentra el manejo del biogás, que de no ser tratado adecuadamente puede traer problemas ambientales, así como también de operación y mantenimiento del relleno.

Dentro del estudio se establece un modelo de predicción de la cantidad de biogás a producirse en el relleno, para esto se utilizó el modelo mexicano de la Environmental Protection Agency - EPA (Imagen nro. 5), el cual desarrolló una versión para ser usada por el Ministerio de Ambiente en el Ecuador.

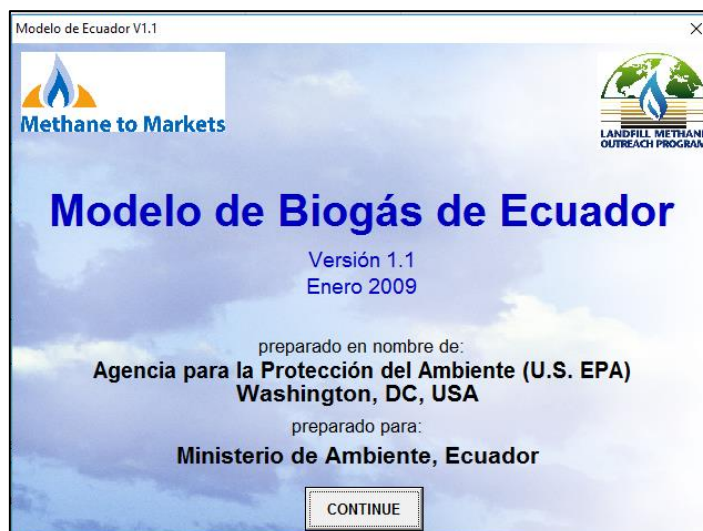


Imagen 5. Software Utilizado para cálculo de biogas

Este modelo utiliza una ecuación de descomposición de primer orden y asume un periodo de retorno de un año donde no se genera biogás (Q_m); luego la generación disminuye exponencialmente a medida que los residuos son consumidos.

$$Q_m = \sum_{i=1}^n 2 * k * L_o * M * e^{-kt}$$

Este modelo utiliza la tasa de generación de metano k en función de las precipitaciones medias del lugar de disposición final, asumiendo valores específicos. Este modelo permite estimar la eficiencia del sistema de captura según una guía relacionada con las características del sitio y el contenido medio de residuos orgánicos.

Para la utilización de este modelo es necesario ingresar los siguientes datos:

- Cantidad anual de residuos destinados al relleno sanitario (M).
- Precipitación promedio anual de la zona en la cual se construirá el relleno.
- Determinar el índice de generación de metano (k), en función de la precipitación media y la cantidad de residuos orgánicos presentes en el relleno.
- Determinar la generación potencial de metano (L_o), en función de la precipitación media y la cantidad de residuos orgánicos presentes en el relleno.
- Determinar la eficiencia de recolección de biogás en función del sistema de recolección y el tipo de suelo.

Tabla 11. Cálculo de valores de k y Lo.

Cálculo de Valores k y Lo				
Precipitación (mm/año)	k	k	Lo	Lo
	Contenido medio de residuos de comida o alimenticios =<50%	Alto contenido de residuos de comida o alimenticios =>60%	(m3/tonelada), contenido medio de residuos de comida o alimenticios =<50%	(m3/tonelada), alto contenido de residuos de comida o alimenticios =>60%
0-249	0.04	0.043	60	62
250-499	0.05	0.053	80	83
500-999	0.065	0.69	84	87
1000-1999 o Saturado	0.08	0.085	84	87
2000 o Saturado	0.08	0.085	84	87

Fuente: EPA

Tabla 12. Cálculo de Eficiencia de sistema de recolección de gases.

Tabla de Entrada del Modelo		
Eficiencia del Sistema de Recolección		
Sistema de Recolección	Arcilla saturada / Geomembrana	Arcilla no saturada
Pozos verticales de gas perforados o Colectores horizontales	80%	70%
Pozos de venteo pasivos convertidos / Modificados (existentes)	60%	40%

Fuente: EPA

A partir de las tablas nro. 11 y 12 proporcionadas por la EPA, introducimos los datos de la siguiente manera:

Precipitación media (mm/año): 850, dato obtenido a través de los anuarios meteorológicos del INAMHI.

Cantidad de materia orgánica: 56.7%, dato obtenido a través de la caracterización de desechos.

k: 0.052, dato obtenido a partir de la tabla Nro. 11.

Lo: 82, dato obtenido a partir de la tabla Nro. 11.

Eficiencia de recolección: 80%, dato obtenido a partir de la tabla Nro. 12.

Obteniendo los siguientes resultados, expresados en la tabla nro. 13:

Tabla 13. Proyección de generación y recuperación de biogás

PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS								
RELLENO SANITARIO ZONA ALTA CANTON AMBATO								
Indice de Disposición (toneladas métricas/año)	Toneladas Acumuladas (toneladas métricas)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
		(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(mmBTU/año)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(mmBTU/año)
7,789	7,789	0.0	0	0	80%	0.0	0	0
8,137	15,926	0.1	8	1,188	80%	0.1	6	951
8,497	24,423	0.3	15	2,369	80%	0.2	12	1,896
8,870	33,293	0.4	23	3,546	80%	0.3	18	2,837
9,257	42,550	0.5	30	4,719	80%	0.4	24	3,775
9,659	52,209	0.6	38	5,892	80%	0.5	30	4,714
10,076	62,285	0.8	45	7,067	80%	0.6	36	5,654
10,508	72,793	0.9	53	8,247	80%	0.7	42	6,597
10,957	83,750	1.0	60	9,432	80%	0.8	48	7,545
11,422	95,173	1.1	68	10,626	80%	0.9	54	8,500
11,905	107,078	1.3	76	11,830	80%	1.0	60	9,464

Fuente: Software EPA

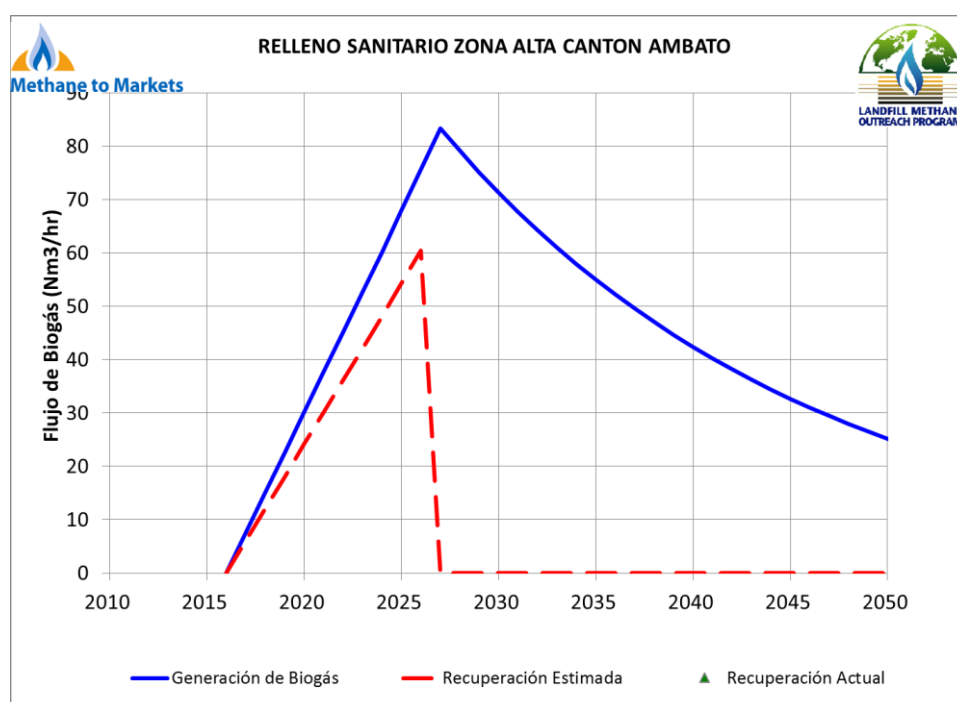


Imagen 6. Biogás Generado

Fuente: Software EPA

De la imagen nro. 6 se observa que se recupera un máximo de 60 Nm³/hr de biogás en el periodo de operación del relleno.

La recolección del biogás se lo realizará mediante chimeneas, las cuales tendrán un mechero en el tope para quemar el gas generado en el relleno. En la imagen nro. 7 se puede observar un esquema de chimenea de recolección de biogás.

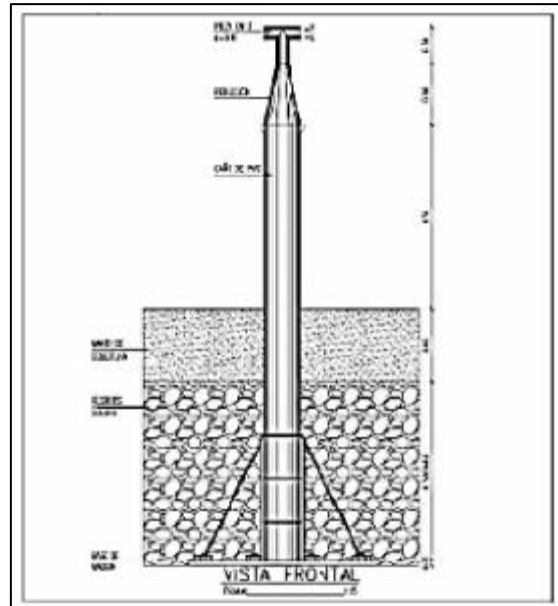


Imagen 7. Esquema de chimenea de recolección

3.3.9. Modelación matemática de la producción de lixiviados

Para este parámetro básico y dada su importancia, se han aplicado tres métodos de cálculo, de los cuales para el diseño se ha adoptado el valor más crítico con el fin de dimensionar las unidades para la condición más desfavorable, para esto se parte de los datos siguientes:

Precipitación: 850 mm/año

Área total del relleno: 15.000 m².

Operación: Relleno sanitario semimecanizado.

Los datos de precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica Pilahuin, la cual tiene las siguientes características, mostradas en la tabla nro. 14:

Tabla 14. Estación Meteorológica Pilahuin

Cantón	Ambato
Elevación	3.314 msnm
Fecha de Instalación	16/07/1964
Latitud	O11806S
Longitud	784356QW
Parroquia	Pilahuín
Código	M376
Nombre	Pilahuín
Tipo	PV
Provincia	Tungurahua

Fuente: Anuarios Meteorológicos INAMHI

Para el presente estudio se considero los siguientes modelos para el cálculo del volumen de lixiviados producidos en el relleno sanitario:

- Método Suizo.
- Cuadro de generación en base a la precipitación y forma de operación.
- Balance hídrico.

3.3.9.1. El método Suizo

En este método se considera que un cierto porcentaje de la precipitación que atraviesa los residuos llega al fondo impermeabilizado del vaso y debe ser recogido y tratado. Esta cantidad depende de la cantidad de precipitación y del grado de compactación de los residuos.

El método suizo permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado mediante la ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} P \times A \times K ,$$

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviado (l/seg)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31.536.000)

K = Coeficiente que representa la proporción de precipitación que se convierte en lixiviado y depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno

Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno. (Castillo, 2014)

El cálculo de la cantidad de lixiviados, muestra los siguientes valores en la tabla nro. 15:

Tabla 15. Cálculo del caudal de lixiviados por el método Suizo

Precipitación (mm)	Superficie (m ²)	k	t (seg/año)	Q (l/s)	Q (m ³ /día)	Q (m ³ /mes)
850	800	0.2	31536000	0.004	0.37	11.4
850	5400	0.2	31536000	0.029	2.52	75.5
850	15000	0.2	31536000	0.081	6.99	209.6

3.3.9.2. Método del cuadro de generación en base a la precipitación y forma de operación:

Este método tiene en cuenta que la generación de lixiviados de un relleno depende de distintos parámetros.

- Precipitación
- Área del relleno
- El modo de operación (relleno manual o compactado con maquinaria, sistema de compactación, sobre todo este último)
- Tipo de basura

Tabla 16. Producción de lixiviados por tipo de relleno

Tipo de relleno	% de la precipitación para la producción de lixiviados	Producción de lixiviados (m ³ /ha.día)		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Relleno Manual	60	11.51	24.66	49.32
Relleno compactado con máquina liviana	40	7.67	16.44	32.88
Relleno compactado con máquina pesada	25	4.79	10.27	20.55

Fuente: (Castillo, 2014)

En base a los datos meteorológicos, y considerando la opción de un manejo semi mecanizado, correspondiente a un relleno compactado con maquinaria liviana, se tienen los siguientes resultados en la tabla nro. 17:

Tabla 17. Cálculo del caudal de lixiviados

Cantón	Precipitación (mm)	Superficie (Ha)	Producción de lixiviados (m ³ /ha.día)	Q (m ³ /día)	Q (m ³ /mes)
Ambato	850	0.08	9.3	0.75	22.5
	850	0.54	9.3	5.05	151.5
	850	1.5	9.3	14.02	420.6

3.3.9.3. Método del balance hídrico simplificado:

Con este método se estima la cantidad de lixiviados como la cantidad de líquidos que será necesario controlar a partir de la evaluación de pérdidas y ganancias de agua que la masa de residuos tendrá por efecto, principalmente, de la precipitación pluvial y la temperatura ambiente relacionada con la evaporación.

Las variaciones de disponibilidad del agua en el suelo, debido a los aportes, movimiento y salida de agua en una zona determinada, constituye la esencia del balance hídrico, todo lo anterior se puede sintetizar en la siguiente ecuación:

$$Q = P + E - Ev$$

Donde:

Q: Caudal de agua que atraviesa y se forma en lixiviado.

P: precipitación.

E: Escorrentía

Ev: Evaporación.

La escorrentía, será controlada mediante cunetas perimetrales que eviten el ingreso hacia el relleno, teniéndose solamente como fuente de generación de lixiviados en este método simplificado a la precipitación.

El balance hídrico, por tanto permite definir las épocas o estaciones en el año, donde se produce déficit y exceso de agua en el suelo. Por tanto para el presente caso, el exceso de agua que no podría ser retenido en el suelo, presenta la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración del suelo y por tanto será el principal factor de aporte en la generación de lixiviados. (Castillo, 2014).

Tabla 18. Cálculo del exceso o déficit de agua

ITEM	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual	Promedio
Precipitación	37.8	71.6	43	143	98.6	66.9	63.4	56.9	43.3	29.7	80.6	116	850.8	70.9
Evaporación	82	34.6	77.6	45.1	38	30.3	13.4	40.6	33.2	105	78.3	21.3	599.4	50.0
Deficit de Agua	44.2	0	34.6	0	0	0	0	0	0	75.3	0	0	0	12.8
Exceso de Agua	0	37	0	97.9	60.6	36.6	50	16.3	10.1	0	2.3	94.7	251.4	33.8

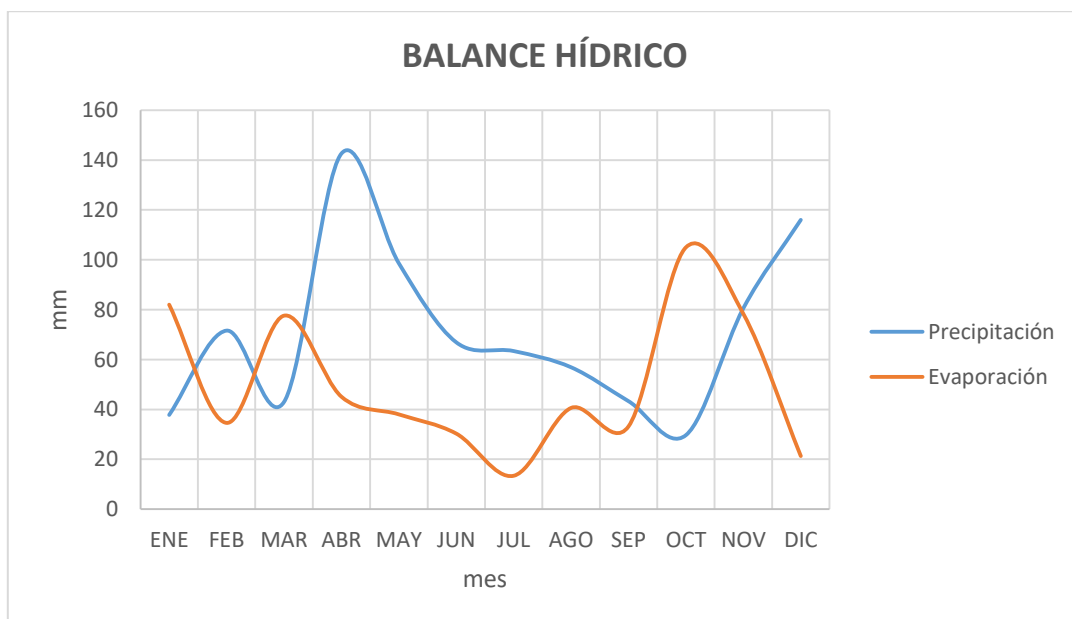


Gráfico 2. Balance hídrico

Como se observa en la tabla nro. 18 y el gráfico nro. 2, el exceso de agua sería del orden de 251 mm/año, por lo que al distribuir esta precipitación en el área del relleno se tendría los siguientes resultados expresados en la tabla nro. 19:

Tabla 19. Calculo de lixiviados por el método de balance hídrico

Cantón	Exceso de Agua (mm)	Superficie (Ha)	Producción de lixiviados (m ³ /año)	Q (m ³ /día)	Q (m ³ /mes)
Ambato	251	0.08	200.8	0.55	16.5
	251	0.54	1355.4	3.71	111.4
	251	1.50	3765	10.32	309.45

Tabla 20. Resumen Calculo de lixiviados por diferentes métodos

ETAPA	Superficie	Metodo Suizo	Precipitación y Operación	Balance Hídrico	Promedio
	m ²	m ³ /día	m ³ /día	m ³ /día	m ³ /día
1	800	0.37	0.75	0.55	0.56
2	5400	2.52	5.05	3.71	3.76
3	15000	6.99	14.02	10.32	10.44

Como se observa en la tabla nro. 20, los valores obtenidos por diferentes métodos difieren entre sí, por lo cual por motivos de seguridad se adoptará para los diseños el valor más crítico obtenido, siendo este el valor obtenido por el método de precipitación y operación.

3.3.10. Control de agua superficial y subterránea

Se tomarán las medidas oportunas con respecto a las características del relleno y a las condiciones meteorológicas, con objeto de: controlar el agua de las precipitaciones que penetre en el vaso del relleno; impedir que las aguas superficiales o subterráneas penetren en los residuos vertidos; recoger y controlar las aguas contaminadas y los lixiviados; tratar las aguas contaminadas y los lixiviados recogidos del relleno de forma que se cumpla la norma adecuada requerida para su vertido, o de forma que se evite su vertido, aplicando técnicas adecuadas para ello. (Real Decreto 1481_2001).

3.3.10.1. Agua superficial:

Al momento de implantar el relleno, es necesaria la construcción de infraestructura la cual se usará para desviar las aguas de escorrentía fuera del relleno, por lo cual para este caso en particular se optó por la construcción de cunetones periféricos, los cuales

desviarán las aguas de escorrentía hacia el desagüe más cercano, el cual está ubicado en la desembocadura de la quebrada.

Se realizó el cálculo hidráulico del cunetón a partir de datos hidrológicos obtenidos del INAMHI, utilizando el anexo de zonificación de intensidades expedido por el ex-IEOS para obtener la ecuación de las curvas IDF, y de esta manera determinar el caudal que servirá para el diseño del canal:

Datos Hidrológicos:

A=1.22 Ha

S= 0.1 m/m

c=0.2 (pastizales)

Tc= 5 minutos

I_{dTR} = 1.5 (obtenido del anexo Nro. 5 del mapa de isocurvas de intensidad con un TR de 10 años).

TR=10 años

Ecuación de intensidad la estación Ambato, zona 33:

$$I_{tr} = 170.39 * t_c^{-0.5052}$$

$$I_{tr} = 133.4 \text{ mm/h}$$

Se aplica como cálculo de caudal el método racional, debido a las características de la cuenca, obteniendo los siguientes resultados:

$$Q = c * I * A$$

$$Q = 0.2 * 133.4 * 1.22$$

$$Q = 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

Una vez obtenido el caudal se procede al cálculo del canal que servirá como cuerpo receptor de las aguas provenientes de la escorrentía, para el cálculo se utilizó el software Hcanales: (Imagen nro. 7).

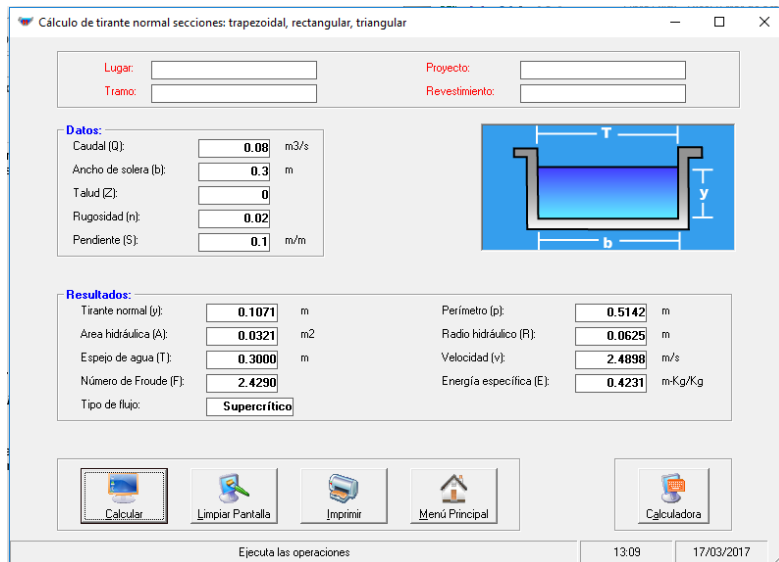


Imagen 8. Cálculo de cunetón con Hcanales

De lo cual se obtuvo las siguientes dimensiones de diseño:

$B=0.3\text{m}$

$H=0.25\text{m}$ (se optó este valor por facilidad constructiva)

Una vez obtenido las dimensiones del cunetón, como recomendación constructiva se recubre con geomembrana de 1mm de espesor, de manera que se evite futuras filtraciones al suelo que pueden generar problemas en el manejo del relleno sanitario.

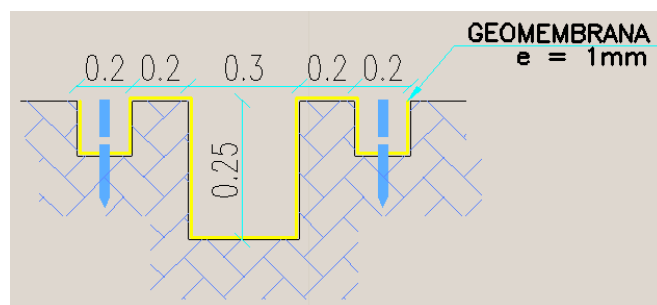


Ilustración 8. Corte de Cunetón para recolección de aguas lluvia

3.3.10.2. Agua subterránea:

Para la protección frente a agua subterránea, se ha optado por la implantación de un drenaje en la cota de fondo del relleno sanitario, con el cual se busca prevenir contaminación de posibles cuerpos de agua subterráneos a causa de filtración de los lixiviados, el drenaje está conformado por:

- Geomembrana
- Red de Tubería PVC perforada “Espina de pescado”
- Geotextil
- Capa de material fino*
- Capa de material rocoso (espesor de 20 cm)

Diseño tubería PVC de drenaje:

Para el cálculo de la tubería de fondo se toma como hipótesis flujo en régimen uniforme al 75% en calado de la sección llena, así utilizando la expresión de chezy se tiene:

$$Q = \frac{0.2842}{n} * D^{\frac{8}{3}} * I^{1/2}$$

Donde:

n: 0.011 (materiales plásticos)

I: 1%

Qlixiviados: 0.00016 m³/s

$$0.00016 = \frac{0.2842}{0.011} * D^{\frac{8}{3}} * 0.001^{1/2}$$

$$D = 0.04 \text{ m}$$

Luego de realizado el cálculo, se puede observar que debido a la escasa producción de lixiviado el diámetro de la tubería de fondo no cumple con el mínimo diámetro de construcción requerido, por lo cual se opta por un diámetro de construcción de 200mm, que es el recomendado en este tipo de obras, de manera que se evite taponamientos en la tubería, mientras que para la tubería secundaria se opta por el mínimo recomendado que será de 110mm.

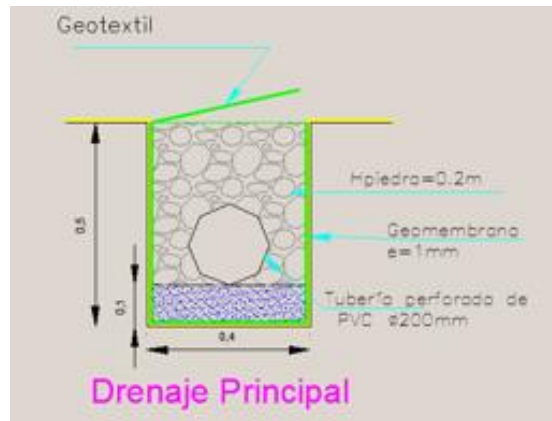


Ilustración 9. Tubería principal de fondo para recolección de lixiviados

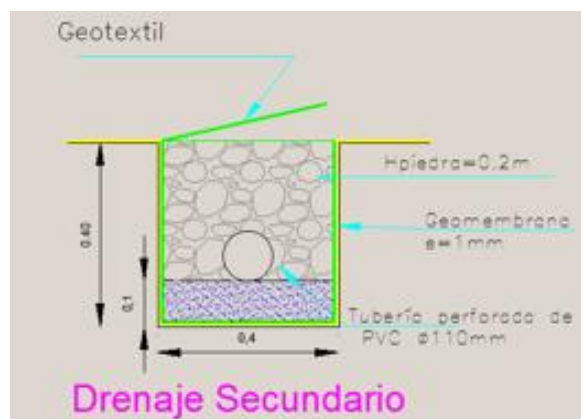


Ilustración 10. Tubería secundaria de fondo para recolección de lixiviados

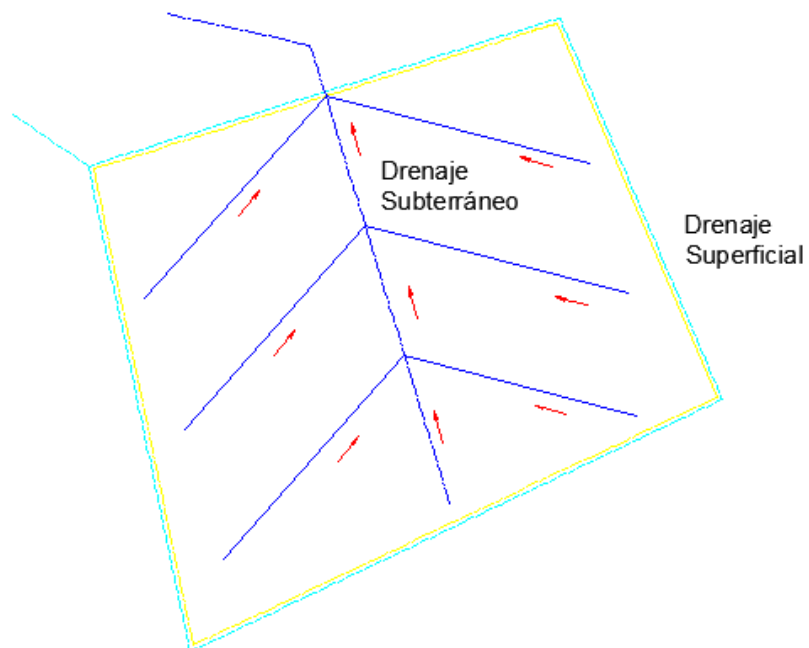


Ilustración 11. Vista en planta Drenaje superficial y subterráneo

4. MEMORIA ECONÓMICA

4.1. Inversión Inicial

Dentro del análisis económico se tomó en cuenta la infraestructura antes indicada, la cual está compuesta por:

- Galpón
- Relleno Sanitario
- Oficina administrativa
- Garita de guardia
- Vías de acceso
- Cierre técnico

Después de realizado el análisis de precios unitarios de los diferentes rubros, se determinó el presupuesto de construcción del relleno sanitario, obras complementarias y cierre técnico, el cual se estima en un valor de USD. 1.471.896,83. (Anexo 1)

4.2. Determinación de los costes de operación y mantenimiento

En esta etapa del estudio económico se establece el número de gente que va a trabajar en el relleno sanitario, con su respectivo sueldo y horario de trabajo, así como también de la maquinaria y herramienta menor necesaria para la operación del relleno. En este caso se ha establecido un horario de 8h00 a 17h00 de lunes a sábado, teniendo personal de planta indicado a continuación y el personal rotativo que de ser necesario se lo requerirá para la actividad destinada.

El personal necesario para la operación consta de 5 personas:

- Un Ingeniero Civil o Ambiental que verificara y supervisara el correcto funcionamiento del relleno sanitario.
- Dos peones, que manipularan los desechos con ayuda de la maquinaria.
- Un guardia, que será el encargado de vigilar el área.
- Un supervisor, que será el encargado de verificar el peso de los carros recolectores antes y después de su ingreso al relleno sanitario, llevando su respectivo registro.

Tabla 21. Costo mensual personal

Costo personal de operación y mantenimiento	
Personal	Sueldo USD/mes.
Ingeniero	1000
Supervisor	400
Peón	370
Peón	370
Guardia	370
Total	2510

Tabla 22. Costo mensual de herramientas y maquinaria

Costo herramientas y alquiler de maquinaria	
Descripción	USD/mes
Herramientas y EPP	80
Alquiler Oruga	5600
Total	5680

Tabla 23. Costo mensual de herramientas y maquinaria

Costo gestor de lixiviados		
Volumen m3/mes	Precio USD/m3	Total USD/mes
311	60	18660

4.3. Recuperación de capital

Dentro del estudio económico está la recuperación de capital, en este punto es necesario establecer un tiempo de recuperación que por lo general está entre los 8 y 15 años, para nuestro caso se ha escogido un tiempo de 10 años, con un interés del 20%, que puede ir variando con el tiempo, por lo cual sería necesario un nuevo cálculo de la tasa a ser cobrada a la comunidad.

$$Cc = Ct(FRC) = Ct \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}$$

Dónde:

Cc= Costo de Capital (\$/año)

Ct= Costo Total (\$)

I= Interés anual del préstamo

n= Vida útil del relleno en años

$$Cc = 1.471.896,83 \frac{0.2}{1 - \frac{1}{(1+0.2)^{10}}}$$

$$Cc = 352.650 \text{ USD/año}$$

Tabla 24. Rendimiento diario, mensual y anual

Días laborales	312
ton/día	43.07
ton/mes	1.292.1
ton/año	13.437.84

Se realiza el cálculo del costo unitario de recuperación de capital (Cu):

$$Cu = \frac{Cc}{\text{ton/año}}$$

$$Cu = \frac{352650}{13437} = 26,24 \text{ USD/ton}$$

Tabla 25. Costo unitario de operación y mantenimiento

Mano de obra	USD
costo directo	21.110
costo indirecto	12.000
Total	33.110

Donde:

El costo directo consta del sueldo anual del personal más los beneficios de ley.

El costo indirecto consta del sueldo anual del ingeniero.

Tabla 26. Gastos operativos anuales

Gastos Operativos	
Descripción	USD/año
Herramientas	960
Alquiler Equipo	67.200
Gestión Lixiviado	223.920
Total	292.080

Se realiza el cálculo del total de gastos de operación y mantenimiento (Cao):

$$Cao = \textit{mano de obra} + \textit{gastos operativos}$$

$$Cao = 549.110 \text{ USD}$$

$$Cuo = \frac{Cao}{\textit{ton/año}}$$

$$Cuo = \frac{549.110}{13.437}$$

$$Cuo = 67.11 \text{ USD/ton}$$

Entonces el Costo Unitario Total (Cut) será:

$$Cut = Cu + Cuo$$

$$Cut = 26,24 + 40.86$$

$$Cut = 67.11 \text{ USD/ton}$$

4.4. Calculo de Tasa

Recuperación de capital más costos de operación y mantenimiento:

$$Cut = 67.11 \text{ USD/ton}$$

Tenemos una producción de: 1.292,1 ton/mes, con lo cual se obtiene el costo mensual:

$$\text{Costo mensual por disposicion final} = 86.707,7 \text{ USD/mes}$$

Teniendo un promedio de 4 personas por vivienda tendríamos alrededor de 17.592 usuarios, teniendo así:

$$\text{tasa mensual por usuario} = \frac{86.707,7}{17.592} = 4.92 \text{ USD/mes}$$

Se obtiene una tasa de 4.92 USD/mes, la cual será utilizada para cubrir los costos de operación y mantenimiento de la gestión de residuos de la zona alta.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó una recopilación de los artículos más relevantes en lo que a residuos sólidos se refiere, tanto en la legislación española como en la ecuatoriana, con lo cual se pudo analizar sus semejanzas y diferencias las cuales sirvieron de base para el desarrollo de este trabajo.
- Se pudo evidenciar que dentro de la legislación ecuatoriana existen falencias en lo referente a lineamientos técnicos para el diseño y operación de un relleno sanitario, en cuanto a la legislación española se pudo evidenciar que si cuenta con un documento normativo que es el real decreto 1481/2001, que cuenta con ciertos criterios para el correcto diseño, emplazamiento y operación de un relleno sanitario.
- En el presente trabajo luego de realizar un análisis del sitio de interés y teniendo en cuenta las particularidades tanto técnicas como sociales, se optó por el siguiente sistema de gestión de residuos sólidos urbanos:
 - ✓ Dentro del sistema de transporte y recogida se optó por la recolección no diferenciada en camiones recolectores de 11 Ton., con una frecuencia de 3 días a la semana.
 - ✓ En cuanto al sistema de valorización se optó por una planta de compostaje, la cual producirá alrededor de 690m³ de compost al mes. Se necesitará de una superficie de 1.040m² para la maduración de las pilas de compost.
 - ✓ El sistema de eliminación será mediante relleno sanitario el cual tendrá una capacidad de 118.428 Ton., con una vida útil de 11 años.
 - ✓ El sistema de recolección de biogás se lo hará mediante chimeneas con un mechero para quema de gas; se producirá alrededor de 60m³/hora de biogás en el relleno.
 - ✓ El sistema de recolección de lixiviados se lo realizará mediante una tubería de fondo de PVC, la cual recogerá alrededor de 14m³/día de líquidos lixiviados. La contratación de un gestor de lixiviados será necesaria para su tratamiento previo a su vertido en un cauce público, acorde a criterios legales vigentes en el Ecuador.
 - ✓ El sistema de recolección de agua lluvia se lo realizará mediante cunetones periféricos los cuales tendrán una capacidad de alrededor

de 7m³/día de aguas lluvia, estos estarán revertidos de una geomembrana para evitar filtraciones hacia el relleno.

- Al revisar los datos geotécnicos se determina que el valor del coeficiente de permeabilidad del lugar es de 10^{-7} , lo cual está en cumplimiento con lo recomendado en la normativa vigente para diseño de rellenos, por lo tanto el emplazamiento del relleno sanitario es adecuado y recomendado.
- Ante la falta de datos de caracterización geotécnica detallada de los residuos, no se ha realizado un cálculo de la estabilidad estructural del talud de residuos, admitiéndose que el talud 3:1 proporciona suficiente seguridad, tal cual es habitual en los relleno de RSU. Esta es la recomendación habitualmente utilizada por la administración responsable.
- El costo de inversión inicial es de USD. 1.471.896,83, y se determinó la tasa por servicio a ser cobrada a los usuarios en USD. 4,92.

A partir de las conclusiones obtenidas se brinda las siguientes recomendaciones:

- Implementar una normativa técnica la cual contenga criterios en cuanto al diseño y operación de rellenos sanitarios se refiere, de manera que se pueda seguir un documento de guía oficial el cual tendrá en cuenta la realidad nacional en lo referente al manejo de rellenos.
- Realizar una actualización en los estudios de caracterización de residuos tomando en cuenta tanto su composición física como química, para de esta manera contar con datos más reales acorde a la realidad, los cuales servirá para un diseño mas apegado a la situación de la zona.
- Desarrollar una iniciativa que fomente la diferenciación de residuos en fuente, el reciclaje efectivo, y el desarrollo de la cultura ambiental en la población de la zona alta del cantón Ambato, esto mediante campañas de concientización a corto y mediano plazo. Las ventajas de lograr una cultura ambiental adecuada en la zona logrará que se pueda optimizar los tiempos de recogida y transporte, reducir la producción de residuos por familia, lo que por consiguiente generará el aumento de la vida útil del relleno sanitario y un posible cambio en el modelo de gestión recomendado.

- Debido a la falta de gestores de lixiviados a nivel nacional, se haría necesaria la implantación de una planta de tratamiento de lixiviados in situ, para de esta manera cumplir con lo establecido en la legislación ambiental en cuanto a lo que se refiere a vertidos en cauces públicos.

6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.

- Garcés C., Nicola G. (2013). Evaluación Técnico Ambiental Para La Selección Del Sitio De Un Relleno Sanitario Para La Zona Alta Del Cantón Ambato. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Flores C. (2017). Comparación de la normativa ecuatoriana sobre gestión integral de residuos sólidos urbanos con su equivalente española y análisis ambiental del estudio de GIRSU de la ciudad de Tena (Ecuador). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Castillo M. (2014) Estudio Y Diseños Definitivos Para La Gestión Integral De Los Desechos Sólidos De La Mancomunidad El Guabo – Ponce Enríquez. Quito: Asociación de Municipalidades del Ecuador (AME).
- Corena M. Sistemas De Tratamiento Para Lixiviados Generados En Rellenos Sanitarios. Colombia: Universidad de Sucre.
- Garzón I. Análisis De La Funcionalidad De Los Sistemas De Tratamiento De Lixiviados Provenientes De Rellenos Mediante Evaporación Natural, Para Los Municipios De Ecuador. Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Roben E., Manual de compostaje para municipios. Loja: GADM Loja.
- Instituto Nacional Ecuatoriano de Censos (INEC). Censo 2010 de población y vivienda. <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction>
- Curso de Autoaprendizaje. Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad5.html
- Universidad Nacional del centro de la provincia de Buenos Aires. Modelado De La Generación De Biogás En Rellenos Sanitarios. https://www.researchgate.net/publication/263651684_Modelado_de_la_generacion_de_biogas_en_rellenos_sanitarios
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Anuarios Meteorológicos. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>
- España. Real Decreto 1481/2001, 27 de diciembre, de regulación para la eliminación de residuos mediante depósito en rellenos. BOE, 29 de enero de 2002.

- España. Ley 22/2011, 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. BOE, 29 de julio de 2011.
- Ecuador. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), 31 de marzo de 2003, Acuerdo Nro. 061. Registro Oficial, de 4 de mayo de 2015, que reforma el Libro IV del TULSMA 2011.
- Ecuador. Constitución de la República de Ecuador, 20 de octubre de 2008.

7. ANEXOS

7.1. Anexo 1, presupuesto de inversión inicial

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
COL. 1	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
	GALPON COMPOST				
	CA01 MOVIMIENTO DE TIERRAS				
1	DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	500.00	3.91	1,955.00
2	EXCAVACION ZANJA A MANO H=0.00-2.75m (EN TIERRA)	m3	300.00	12.78	3,834.00
	CA02 MADERA				0.00
3	ENCOFRADO/DESENCOFRADO MADERA MONTE CEPILLADA	m2	70.00	11.98	838.60
	CA03 ACERO				0.00
4	ACERO REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm2 (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	kg	1,900.00	2.51	4,769.00
5	PLACAS 750X475X12 MM N = 10	kg	330.00	3.10	1,023.00
6	PERNOS F1 20 MM L = 700	U	330.00	10.97	3,620.10
	CA04 HORMIGONES Y MORTEROS				0.00
7	HORMIGON SIMPLE $f'c=140$ kg/cm2	m3	5.10	138.77	707.73
8	HORMIGON SIMPLE $f'c=210$ kg/cm2	m3	110.00	186.00	20,460.00
9	MEJORAMIENTO SUB BASE CLASE III	m3	50.00	20.78	1,039.00
10	GROUT CEMENTICIO	lt	80.00	6.55	524.00
	CA05 OTROS				0.00
11	ENROCADO	m2	45.00	27.97	1,258.65
12	CORDON PRINCIPAL ARMADURA COLUMNA	KG	860.00	0.76	653.60
13	TEJIDO INTERIOR COLUMNA	KG	700.00	3.10	2,170.00
14	CORDÓN PRINCIPAL ARMADURA VIGA	KG	3,400.00	0.76	2,584.00
15	TEJIDO INTERIOR VIGA	KG	2,600.00	3.10	8,060.00
16	CORTA PANDEOS	KG	90.00	3.10	279.00
17	CORREAS L = 26	KG	2,750.00	3.10	8,525.00
18	SEPARADORES CORREAS	KG	120.00	3.10	372.00
19	APOYOS CORREAS	KG	250.00	3.10	775.00
20	PLACA UNIÓN CORREA SEPARADOR 40X40X3 MM	KG	3.00	3.10	9.30
21	CUBIERTA PANEL METÁLICO (TECHADO)	M2	540.00	35.02	18,910.80
22	REPLANTEO Y NIVELACION	m	45.00	0.46	20.70
	ADMINISTRATIVO				
	CA01 MOVIMIENTO DE TIERRAS				
23	DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	16.00	3.91	62.56
24	EXCAVACION ZANJA A MANO H=0.00-2.75m (EN TIERRA)	m3	1.00	12.78	12.78
	CA02 MADERA				0.00
25	ENCOFRADO/DESENCOFRADO MADERA MONTE CEPILLADA	m2	6.00	11.98	71.88
	CA04 HORMIGONES Y MORTEROS				0.00
26	HORMIGON SIMPLE $f'c=210$ kg/cm2	m3	6.00	186.00	1,116.00
27	ENLUCIDO VERTICAL LISO	m2	40.00	8.39	335.60

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
COL. 1	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
	OTROS				0.00
28	ENROCADO	m2	16.00	27.97	447.52
29	MAMPOSTERIA BLOQUE ALIVIANADO 10 CM	m2	40.00	13.64	545.60
30	PLÁSTICO PARA CONTRAPISO	m2	20.00	0.91	18.20
31	VENTANAS	U	2.00	72.97	145.94
32	CERÁMICA	m2	1.95	24.60	47.97
33	INODORO	U	1.00	154.55	154.55
34	LAVAMANOS	U	1.00	96.22	96.22
35	CANCELES	U	1.00	160.43	160.43
36	PUERTAS de madera 2,10*0,7	U	1.00	168.49	168.49
37	CERRADURA PARA PUERTAS	U	1.00	24.73	24.73
38	TUBERIA PVC 1/2" A PRESIÓN	m	4.00	4.84	19.36
39	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO PVC D = 75 mm	m	5.00	15.22	76.10
40	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO PVC D = 110 mm	m	5.00	11.82	59.10
41	CODO A 45° UNION TUBERIA ALCANTARILLADO PVC D = 75 MM	U	15.00	4.21	63.15
42	REDUCTOR PARA TUBERIA DE 110 MM A 75 MM	U	8.00	34.46	275.68
43	PARA TUBERÍA DE D = 75 MM	U	1.00	15.22	15.22
44	SIFÓN	U	2.00	5.47	10.94
45	VÁLVULA CHECK	U	1.00	24.13	24.13
46	VÁLVULA DE PASO	U	1.00	17.39	17.39
47	REPLANTEO Y NIVELACION	m	8.00	0.46	3.68
48	SEÑALIZACIÓN	U	2.00	140.52	281.04
49	PUERTA DE ACCESO	U	1.00	217.67	217.67
50	CERRAMIENTO DE ALAMBRE DE PUAS 5 FILAS	M	700.00	17.29	12,103.00
	FOSA SEPTICA OFICINA				
51	DESBROCE Y LIMPIEZA	M2	2.20	3.91	8.60
52	REPLANTEO Y NIVELACION	M	5.00	0.46	2.30
53	EXCAVACIÓN A MANO EN SUELO SIN CLASIFICAR, 0 A 2M	M3	3.74	7.08	26.48
54	RASANTEO A MANO	M2	2.20	1.10	2.42
55	ENCOFRADO/DESENCOFRADO MADERA MONTE CEPILLADA	M3	19.72	11.98	236.25
56	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2	M3	0.30	142.07	42.62
57	HORMIGON SIMPLE f'c=210kg/cm2	M3	1.80	186.00	334.80
58	ACERO REFUERZO fy=4200 kg/cm2 (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	KG	169.23	2.51	424.77
59	CODO DE 90° DE CEMENTO φ 150MM	U	1.00	3.92	3.92
60	TEE φ 150MM DE CEMENTO O BARRO VITRIFICADO	U	1.00	14.62	14.62
	CISTERNA				
61	DESBROCE Y LIMPIEZA	M2	10.89	3.91	42.58
62	REPLANTEO Y NIVELACION	M	5.00	0.46	2.30
63	EXCAVACIÓN A MANO EN SUELO SIN CLASIFICAR, 0 A 2M	M3	35.94	7.08	254.46
64	RASANTEO A MANO	M2	11.00	1.10	12.10
65	ENCOFRADO/DESENCOFRADO MADERA MONTE CEPILLADA	M3	83.16	11.98	996.26
66	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2	M3	0.60	142.07	85.24

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
COL. 1	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
67	HORMIGON SIMPLE f'c=210kg/cm2	M3	1.90	186.00	353.40
68	ACERO REFUERZO fy=4200 kg/cm2 (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	KG	401.55	2.51	1,007.89
69	valvula de compuerta	U	1.00	170.00	170.00
70	flotador	U	1.00	97.31	97.31
	CASETA DE BOMBA AGUA POTABLE				
71	Tanque hidroneumatico 20 gal, h=32'' d=15''	U	1.00	137.32	137.32
72	BOMBA 1 HP	U	1.00	210.00	210.00
73	TUBERIA ϕ 1/2'	M	1.00	9.64	9.64
74	VALVULA DE CIERRE ϕ 1/2'	U	3.00	24.13	72.39
75	VALVULA CHECK ϕ 1/2'	U	1.00	24.13	24.13
76	TUBERIA DE SUCCION ϕ 3/4'	M	2.00	4.51	9.02
77	CODO 90 ° ϕ 3/4'	U	1.00	1.06	1.06
	RELLENO SANITARIO CUBETO				
78	DESBROCE Y LIMPIEZA	M2	11,100.00	3.91	43,401.00
79	REPLANTEO Y NIVELACION	M	345.00	0.46	158.70
80	EXCAVACION A MAQUINA CIELO ABIERTO (EN TIERRA)	M3	144,300.00	6.00	865,800.00
81	RELLENO COMPACTADO	M3	2,295.00	10.90	25,015.50
82	GEOMEMBRANA POLIETILENO 1.00mm	M2	22,950.00	7.30	167,535.00
83	GEOTEXTIL	M2	1,635.00	3.06	5,003.10
	DRENAJE				
84	EXCAVACIÓN A MANO EN SUELO SIN CLASIFICAR, 0 A 2M	M3	215.10	7.08	1,522.91
85	TUBERIA PERFORADA PVC UE ALCANTARILLADO D.N.I. 200MM (MAT.TRAN.INST)	M	255.00	80.00	20,400.00
86	TUBERIA PERFORADA PVC UE ALCANTARILLADO D.N.I. 110MM (MAT.TRAN.INST)	M	540.00	38.00	20,520.00
87	CAMA DE ARENA e = 10 cm	M3	39.45	7.70	303.77
88	SUM. Y COLOCACIÓN GRAVA PARA DREN	M3	78.90	22.58	1,781.56
89	CODO 45° CAMPANA CAMPANA 110mm	U	18.00	80.12	1,442.16
90	SILLAS TEE KIT S8 110MM	U	9.00	6.37	57.33
91	TEE 110MM	U	9.00	49.86	448.74
92	ADAPATADORES ESPIGO CAMPANA 200MM	U	9.00	19.73	177.57
	CHIMENEAS				
93	CONSTRUCCIÓN DE DUCTOS DE GASES	U	24.00	196.87	4,724.88
	CELDA PELIGROSOS				
94	GEOMEMBRANA 1MM	M2	52.00	7.30	379.60
95	PINGOS	M	18.00	7.42	133.56
96	CUBIERTA METÁLICA 5X5	U	1.00	35.02	35.02
	PISCINAS DE CAPTACIÓN				
	PISCINA 1				
97	DESBROCE Y LIMPIEZA	M2	150.00	3.91	586.50
98	REPLANTEO Y NIVELACION	M	50.00	0.46	23.00
99	EXCAVACION A MAQUINA CIELO ABIERTO (EN TIERRA)	M3	300.00	6.00	1,800.00
100	GEOMEMBRANA 1MM	M2	190.00	7.30	1,387.00
101	CAJAS DE REVISION DE HORMIGON DE 0,8X0,8	U	1.00	169.01	169.01

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
COL. 1	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
102	VALVULAS DE COMPUERTA ϕ 3'	U	2.00	170.00	340.00
	VIA DE ACCESO LATERAL RELLENO SANITARIO				
103	DESBROCE Y LIMPIEZA	M2	1,020.00	3.91	3,988.20
104	REPLANTEO Y NIVELACION	M	274.00	0.46	126.04
105	EXCAVACION A MAQUINA CIELO ABIERTO (EN TIERRA)	M3	100.00	6.00	600.00
106	BASE GRANULAR BG_A e = 25cm (BASE)	M3	60.00	17.02	1,021.20
107	SUBBASE GRANULAR S BG_A e = 20cm	M3	2.00	16.10	32.20
108	CAPA DE RODADURA GRAVA e = 6cm	M2	200.00	22.01	4,402.00
	CUNETAS				
109	EXCAVACIÓN A MANO EN SUELO SIN CLASIFICAR, 0 A 2M	M3	93.60	7.08	662.69
110	HORMIGON SIMPLE $f'c=210\text{kg/cm}^2$	m3	84.00	186.00	15,624.00
111	malla electro soldada 5*10	m	510.00	5.50	2,805.00
	CIERRE TECNICO				
112	REPLANTEO Y NIVELACION	M	400.00	0.46	184.00
113	ARCILLA COMPACTADA 20 CM	M3	1,484.00	11.68	17,333.12
114	GEOMEMBRANA POLIETILENO 1.00mm	M2	7,420.00	7.30	54,166.00
115	GEOTEXTIL	M2	14,840.00	3.06	45,410.40
116	CAPA DRENANTE 10 CM	M3	742.00	15.00	11,130.00
117	CAPA VEGETAL	M3	2,968.00	16.00	47,488.00
118	ARBORIZACION	U	10.00	23.28	232.80
		TOTAL:			1,471,896.8