

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*



**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN PER CÁPITA DE  
RESIDUOS SÓLIDOS Y DIMENSIONAMIENTO DEL RELLENO  
SANITARIO EN EL CANTÓN ARENILLAS CON UNA  
PROYECCIÓN DE 20 AÑOS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: ALDAIR ANDRÉS CUEVA HURTADO**

**DIRECTOR: ING. AUGUSTO POLIBIO MARTÍNEZ VEGA**

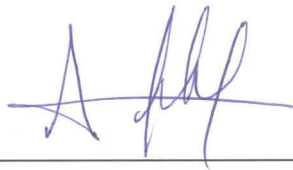
**CUENCA**

**2020**

## DECLARACIÓN

Yo, Aldair Andrés Cueva Hurtado, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



---

**Aldair Andrés Cueva Hurtado**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Aldair Andrés Cueva Hurtado, bajo mi supervisión.



---

**Ing. Augusto Polibio Martínez Vega Mgs.**

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis Padres quienes siempre me brindaron su apoyo y amor en todo momento, a mi novia que día a día estuvo conmigo brindándome su apoyo moral de igual manera a mis hermanos quienes con sus consejos supieron guiarme por un mejor camino.

Agradezco a mi tutor Ing. Polibio Martínez Vega por sus enseñanzas, paciencia y amistad que me ha brindado, no solo como tutor, sino también como docente durante el transcurso de mi carrera universitaria.

Así mismo a la Ing. Diana Macancela por estar siempre allí cumpliendo su mejor labor en beneficio de los alumnos desempeñándose como directora de carrera.

Agradezco a la Universidad Católica de Cuenca y a cada uno de sus docentes por brindarme los conocimientos necesarios dentro de mi formación como profesional.

## DEDICATORIA

A Dios por darme fuerzas para seguir siempre adelante para poder cumplir este objetivo muy especial.

A mi padre Lucio, a mi madre Itsmenia, quienes amo con mi vida entera y han sido el pilar fundamental para llegar hasta donde me encuentro ahora, cumpliendo una de mis metas y objetivos, mismos quienes con sus constantes llamadas me daban consejos muy importantes los cuales he puesto en práctica siempre, puedo mencionar que además me han hecho un mejor hijo y con ello un buen profesional con buenos principios.

A mis hermanos Edin, Kelly, Edwin y Dilber los cuales fueron un gran ejemplo como personas de bien y su dedicación hacia mí en todo momento.

A mi novia Coraima por el amor incondicional que me brindó y apoyo desde el primer día que inicié esta nueva etapa de mi vida que es mi preparación profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	VIII
LISTA DE ANEXOS.....	IX
RESUMEN .....	X
ABSTRACT .....	XI
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Residuos Sólidos .....	4
2.1.1 Definición.....	4
2.1.2 Tipo de residuo sólidos.....	4
2.1.3 Clasificación.....	4
2.1.4 Composición física de los residuos sólidos.....	5
2.2 Caracterización física de residuos sólidos.....	5
2.2.1 Generación per cápita.....	5
2.3 Relleno Sanitario.....	5
2.3.1 Definición.....	5
2.3.2 Tipos.....	6
2.3.3 Métodos de construcción.....	7
2.3.4 Reacciones que se originan en un relleno sanitario.....	9
2.3.5 Generación de líquidos y gases.....	10
2.4 Dimensionamiento de relleno sanitarios.....	11
2.5 Vida útil de relleno sanitario .....	11
CAPÍTULO III.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1. Metodología .....	13

3.1.1 Descripción de la zona de estudio.....	13
3.1.2 Caracterización física de residuos sólidos.....	15
3.1.3 Diseño del relleno sanitario.....	24
3.2. Desarrollo metodológico.....	36
3.2.1 Cálculo de la población.....	36
3.2.2 Cálculo de la muestra.....	37
3.2.3 Cálculo de la generación per cápita.....	38
3.2.4 Cálculo para el diseño del relleno sanitario.....	38
CAPÍTULO IV.....	50
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1 Caracterización física de residuos sólidos urbanos.....	50
4.1.1 Porcentaje de residuos orgánicos e inorgánicos generados.....	52
4.1.2 Densidad de los residuos.....	54
4.2 Determinación de la generación per cápita.....	55
4.3 Diseño del relleno sanitario con una vida útil de 20 años.....	56
4.3.1 Área necesaria la construcción del relleno sanitario.....	56
4.3.2 Dimensionamiento de la celda diaria.....	60
4.3.3 Dimensionamiento del tanque de lixiviados.....	61
CAPITULO V.....	63
5. CONCLUSIONES.....	63
CAPITULO VI.....	64
6. RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
Bibliografía.....	65
ANEXOS.....	67
Anexo 1. Figuras.....	67
Anexo 2. Tablas de registro de pesos.....	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Maquinaria en relleno sanitario mecanizado _____	- 6 -
Figura 2: Formación de trincheras o zanjas _____	- 8 -
Figura 3: Mapa del cantón Arenillas _____	- 13 -
Figura 4: Código establecido por vivienda _____	- 17 -
Figura 5: Colocación de código domiciliario _____	- 17 -
Figura 6: Hoja de empadronamiento _____	- 18 -
Figura 7: Recipiente para la determinación de la densidad _____	- 20 -
Figura 8: Recipiente con residuos sólidos _____	- 21 -
Figura 9: Método de cuarteo _____	- 22 -
Figura 10: Clasificación de los diferentes componentes _____	- 22 -
Figura 11: Fundas con los residuos clasificados _____	- 23 -
Figura 12: Porcentajes de componentes clasificados _____	- 50 -
Figura 13: Porcentajes de componentes clasificados en la Isla Trinitaria, Guayaquil _____	- 51 -
Figura 14: Porcentajes de residuos orgánicos e inorgánicos _____	- 52 -
Figura 15: Caracterización de residuos orgánicos e inorgánicos por región en el Ecuador ____	- 53 -

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del metano _____	- 11 -
Tabla 2: Temperatura del cantón Arenillas _____	- 14 -
Tabla 3: Porcentajes de componentes clasificados en el cantón Tisaleo, Tungurahua _____	- 51 -
Tabla 4: Densidad de los residuos sólidos en el cantón Arenillas _____	- 54 -
Tabla 5: Densidad de los residuos sólidos municipales del Distrito Catacaos _____	- 55 -
Tabla 6: Generación per cápita de residuos sólidos urbanos _____	- 55 -
Tabla 7: Determinación del área necesaria del relleno con una compactación del 0,5 tm/m <sup>3</sup> __	- 57 -
Tabla 8: Determinación del área necesaria del relleno con una compactación del 0,8 tm/m <sup>3</sup> __	- 59 -
Tabla 9: Características de la celda diaria con una compactación del 0,5 tm/m <sup>3</sup> _____	- 60 -
Tabla 10: Características de la celda diaria con una compactación del 0,8 tm/m <sup>3</sup> _____	- 60 -
Tabla 11: Características del tanque de Lixiviados _____	- 62 -

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Pesaje de los residuos sólidos _____	- 71 -
Anexo 2: Actual botadero de residuos sólidos del cantón Arenillas _____	- 72 -
Anexo 3: Recolección de residuos sólidos _____	- 72 -
Anexo 4: Residuos biopeligrosos recolectados _____	- 73 -
Anexo 5: Separación de residuos sólidos _____	- 73 -
Anexo 6: Hoja de registro de pesos del primer día de caracterización (1) _____	- 74 -
Anexo 7: Hoja de registro de pesos del primer día de caracterización (2) _____	- 75 -
Anexo 8: Hoja de registro de pesos del primer día de caracterización (3) _____	- 76 -
Anexo 9: Hoja de registro de pesos del primer día de caracterización (4) _____	- 77 -

## RESUMEN

En el Ecuador el 70% de los municipios no disponen de un relleno sanitario, por ello el presente documento contiene una propuesta para el dimensionamiento del relleno sanitario del cantón Arenillas de la Provincial de el Oro con una vida útil de 20 años. Esta propuesta parte de la obtención de la generación per – cápita, que se obtuvo mediante la caracterización física de residuos sólidos realizada en el casco urbano del cantón y enfocada a los generadores domiciliarios, con lo cual se obtuvo las características físicas de los residuos sólidos para luego realizar el dimensionamiento del área necesaria para la construcción del relleno sanitario en el cual se incluye las obras civiles y zonas de amortiguamiento, las dimensiones de la celda diaria, y las dimensiones del tanque para lixiviados.

Se planteó dos escenarios para el dimensionamiento del relleno sanitario los cuales se relacionan directamente con el área necesaria del relleno sanitario, estos escenarios dependen del tipo de maquinaria que adquieran en el relleno para la compactación de los residuos puesto que estos escenarios cuentan con una compactación de  $0,5 \text{ tm/m}^3$  y  $0,8 \text{ tm/ m}^3$  lo cual realizando el cálculo se obtiene un proyección del área de 15,54 ha y 9,69 ha respectivamente.

**Palabras claves:** RESIDUOS SOLIDOS, GENERACION PER – CAPITA, RESIDUOS ORGANICOS, RESIDUOS INORGANICOS, LIXIVIADOS

## **ABSTRACT**

In Ecuador, 70% of the municipalities are not equipped with a waste a landfill.

Therefore, the following document describes a proposal for the layout of a 20-year waste landfill in the canton of Arenillas in the Province of El Oro. This proposal is based on per capita emissions, which were obtained through the classification of solid waste in the urban area of the canton, and focused on domestic waste, obtaining the physical properties of the solid waste and subsequently determining the size of the urban area required for the new waste landfill including civil construction and damping zones, daily cell volumes, and leachate tank capacities.

Two scenarios were considered for the size of the landfill, which are closely linked to the required area, depending on the type of machinery acquired in the waste compaction landfill since these scenarios have a compacting of  $0,5 \text{ tn/m}^3$  and  $0,8 \text{ tn/m}^3$  which, when calculated, results in a projected area of 15.54 and 9.69 hectares for each.

**KEYWORDS: SOLID WASTE, PER – CAPITA EMISSIONS, ORGANIC WASTE, INORGANIC WASTE, LEACHATE**

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

En el mundo, los residuos sólidos son causantes de una gran cantidad de impactos ambientales afectando al agua, suelo y aire, por una mala gestión, puesto que en muchos países realizan un mal tratamiento de los residuos sólidos e incluso no cuentan ni siquiera con una disposición final (Baptista, Concepción, Barrios, & González, 2014).

La región de América Latina y el Caribe al encontrarse mayormente urbanizada, con un porcentaje del 79 por ciento de su población asentada en ciudades, genera un aumento de la demanda de productos, creando un gran movimiento de la industria, comercio y el mismo hecho del resultado de la concentración masiva de la población, genera un crecimiento descontrolado de residuos sólidos y con ello dificultan las actividades de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de forma segura y sostenible, a fin de salvaguardar la salud de la población y el medio ambiente (Espinoza, Arce, Daza, Faure, & Terraza, 2010).

Centrándose en el Ecuador, el manejo de los residuos sólidos tiene una deficiencia muy grande, por lo que no se le ha dado la importancia del caso ya que según el INEC, en el país el 39% de los municipios disponen sus residuos sólidos en rellenos sanitarios, el 26% en botaderos controlados, el 23% en botaderos a cielo abierto y el 12% en celdas emergentes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2017).

Según (Ávila, Nieto, Jiménez, & Osorio, 2011) El incremento constante de la población mundial está relacionado directamente con el aumento de los residuos y los hábitos de consumo adquiridos por las personas, por ello es imprescindible la tecnificación del manejo de éstos y la aplicación de nuevas tecnologías en la gestión de los residuos sólidos urbanos por parte de las instituciones competentes.

De acuerdo al COOTAD, Art. 55.- Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal.- Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley; d) Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (CODIGO ORGÁNICO ORGANIZACIONAL TERRITORIAL AUTONOMÍA DESCENTRALIZACIÓN , 2010, pág. 28).

Por lo cual el GADM de Arenillas se ha puesto a disposición para realizar el presente estudio brindando su apoyo económico con la finalidad mejorar el manejo integral de residuos sólidos del cantón progresivamente durante la actual administración.

El cantón Arenillas al contar con una población de 32057 habitantes según la proyección realizada hasta el año 2019 a partir de los datos obtenidos por el INEC (2010), podría llegar a generar una cantidad alta de residuos sólidos medidos en kg/día. Por lo cual es importante la obtención de la generación per – cápita de residuos sólidos, puesto que el cantón no dispone de un estudio de caracterización física de residuos sólidos, por lo que a partir de este valor se realiza un correcto manejo integral de residuos sólidos del cual el cantón no dispone, lo cual ocasiona que no cuenten con un relleno sanitario debidamente tecnificado, con las dimensiones adecuadas para la población del cantón, así mismo mantiene un tratamiento poco profesional, lo cual da como resultado varias problemáticas.

Según (Röben, 2002), Los residuos sólidos urbanos al estar directamente relacionado con el crecimiento poblacional representan una problemática la cual no ha sido puesto en tema de estudio general y con la importancia que debería tener para generar una solución a dicho problema.

Problemas como la falta de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, por lo que es necesario partir de la obtención de datos de la generación per cápita de residuos sólidos medidos en kilogramo por habitante diariamente, valor necesario para el dimensionamiento del relleno sanitario del cantón.

Es necesario contar con un diseño de un relleno sanitario con el dimensionamiento adecuado y adelanto tecnológico, por lo cual se debe realizar una proyección de no menos de 20 años, puesto que si existe un crecimiento poblacional los residuos sólidos están sujetos a aumentar (Collazos, 2013).

El dimensionamiento de un relleno sanitario es el punto de partida para contar con un adecuado manejo de los residuos sólidos en su disposición final, lo cual debería ser complementado con un plan de acción, con el cual podrán reducir considerablemente impactos ambientales en el suelo, aire y agua, evitando afectaciones en la salud de aquellos habitantes que viven cerca al emplazamiento donde se llevará a cabo el relleno sanitario.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General.**

- Determinar la generación per cápita de residuos sólidos urbanos y dimensionar un relleno sanitario para el cantón Arenillas de la Provincia de El Oro.

### **1.1.2 Objetivos Específicos.**

- Realizar la caracterización física de residuos sólidos urbanos del cantón Arenillas.
- Diseñar el relleno sanitario con una vida útil de 20 años.
- Dimensionar el tanque para la recolección de lixiviados del relleno sanitario.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Residuos Sólidos

##### 2.1.1 Definición.

Los desechos sólidos son todos aquellos que proceden de actividades humanas y de animales que son normalmente sólidos y que se desechan como inútiles o indeseados. El cual abarca las masas heterogéneas de comunidades urbanas lo mismo que acumulaciones más homogéneas de desechos agrícolas, industriales y minerales (Tchobanoglous, Theissen, & Rolf, 1982).

##### 2.1.2 Tipo de residuo sólidos.

###### 2.1.2.1 Domiciliario.

Son aquellos residuos sólidos que provienen de las distintas actividades realizadas en los domicilios o establecimientos de iguales características y que no se encuentran involucrados con actividades que generen remuneraciones (Aristizabal & SÁCHICA, 2001).

##### 2.1.3 Clasificación.

Los residuos sólidos se clasifican según su composición, para la presente investigación se tomarán en cuenta la clasificación por su común manejo dentro de los residuos domiciliarios.

###### 2.1.3.1 Orgánico.

Se denominan residuos orgánicos aquellos que tienen una procedencia biológica por naturaleza, es decir que en algún momento dado formaron parte de un ser biótico, tales como un árbol, hojas, cáscaras, desechos comestibles no sintéticos (Montalvo, 2017).

###### 2.1.3.2 Inorgánico.

Son aquellos residuos que tienen una procedencia no biológica, es decir provienen de actividades industriales los cuales han sufrido algún tipo de transformación causado por acciones antropogénicas como son el vidrio, dinero, etc. (Montalvo, 2017).

#### **2.1.4 Composición Física de los Residuos Sólidos.**

Los componentes de los residuos, es una información muy importante para el control de la generación de gases y lixiviados e incluso en la recuperación de los mismos. La clasificación más utilizada en Colombia es la siguiente según (Collazos, 2013).

Desechos de alimentos, papel y cartón, plásticos, madera, vidrio, textiles, caucho, metales ferrosos y no ferrosos, huesos, podrá de áreas verdes y otros.

#### **2.2 Caracterización física de residuos sólidos**

Es una técnica la cual facilita información básica sobre los residuos sólidos como lo son su generación, la densidad y tipos, que se pueden generar dentro de un sector o establecimiento el cual se requiere saber las características físicas de los residuos generados en la zona de estudio (ECO Consultorías e Ingeniería SAC, 2013).

##### **2.2.1 Generación per cápita.**

La generación per cápita, es uno de los resultados de la caracterización física de residuos sólidos, ya que es el valor de la cantidad de residuos que son generados por cada habitante en el lapso de un día medido en (Kg/hab/día) (Programa Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIDS), 2017).

#### **2.3 Relleno Sanitario**

##### **2.3.1 Definición.**

Es un método que tiene como finalidad la mitigación de impactos ambientales ocasionados al agua, aire y suelo, mejorando la disposición final de los residuos sólidos, el cual consiste en el confinamiento de los residuos en un lugar específico para así reducir lo más posible el espacio que ocuparían los residuos sólidos y luego son cubiertos por una capa de material de cobertura el cual tendrá el objetivo de impedir que ingresen líquidos al cuerpo de basura y evitar la salida de gases (Caicedo Carvajal & Delgado Cadena, 2018).

## 2.3.2 Tipos.

### 2.3.2.1 Relleno Sanitario Mecanizado.

Son aquellos que disponen de técnicas de compactación totalmente mecanizadas, utilizados por municipios medianos y grandes, los cuales generan grandes cantidades diarias de residuos, por lo que se hace imposible el uso de rellenos sanitarios manuales por la considerable cantidad diaria de residuos a ser compactados. Para disponer de este tipo de relleno sanitario es necesario contar con fondos apropiados y con ello la contratación de personal técnico con la suficiente experiencia en el manejo de rellenos sanitarios mecanizados. La maquinaria generalmente utilizada son las excavadoras. Aun cuando se es denominado relleno sanitario mecanizado es necesario la contratación de personal que realicen actividades como el mantenimiento de las maquinarias (Röben, 2002).



Fig. 1. Maquinaria en relleno sanitario mecanizado  
Fuente: Autoría propia

### 2.3.2.2 Relleno Sanitario Semi-mecanizado.

Un relleno sanitario semi-mecanizado es aquel que es utilizado cuando se pretende disponer en él, entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos sólidos, para esto es pertinente el uso de maquinaria pesada para facilitar el trabajo del personal que labora allí y realizar una compactación con la mayor eficiencia posible, y contar con terraplenes mejor estabilizados y con ello brindar una mayor vida útil al relleno. Para este tipo de rellenos, la maquinaria utilizada es un tractor agrícola adaptado con una cuchilla y con un cucharón o rodillo el cual es utilizado para la compactación de los residuos, la improvisación al

momento de acoplar este tipo de maquinaria podría ser una de las características de un relleno sanitario semimecanizado (Jaramillo, 2002).

### **2.3.2.3 Relleno Sanitario Manual.**

El relleno sanitario manual es una técnica que es utilizada en ocasiones cuando se dispone de mano de obra que podría realizar las actividades pertinentes con la misma simplicidad y velocidad que la maquinaria. La mano de obra que labora en el relleno sanitario manual realiza todas las actividades que se lleven a cabo en el con sus manos, como lo es descarga, colocación, compactación y aplicación del material de cobertura, así como actividades civiles como lo son mantenimiento de cunetas, construcción de chimeneas, drenajes y excavación de nuevos módulos (Röben, 2002).

Esta técnica cuenta con sus limitaciones. Una de ellas podría ser la poca eficiencia en la compactación del material, lo que da como efecto, un riesgo en la estabilización del cuerpo de basura por lo que es recomendado no llegar a alturas muy elevadas. Al suscitarse esto arrastra otros problemas como lo es la pérdida innecesaria de espacio en el relleno sanitario y también el aumento de lixiviados. Aunque si bien es cierto esto podría ser visto como un método obsoleto, en muchos casos es la mejor opción para aquellos municipios y comunidades pequeñas, incluso para aquellos municipios que no cuentan con fondos suficientes para un mejoramiento en su relleno sanitario (Röben, 2002).

### **2.3.3 Métodos de construcción.**

#### **2.3.3.1 Método de trinchera.**

Este método es utilizado para aquellos rellenos sanitarios que se encuentren en zonas planas, lo cual consiste en realizar zanjas de dos o tres metros de profundidad empleando maquinaria tipo orugas, aunque pueden existir excepciones, ya que se registran experiencias de zanjas con una profundidad de hasta 7 metros, no obstante esto podría valerse de la calidad de la compactación, así como también el tipo de suelo en el cual se esté trabajando, a su vez tomando en cuenta el nivel freático de la zona precautelando la pureza de posibles acuíferos que en la zona podrían existir. El material que se obtiene de la excavación serviría para el recubrimiento de los residuos sólidos que son dispuestos en la zanja. Es importante recalcar que en épocas de lluvia es necesario la construcción de

canales perimétricos que realicen la desviación del agua para evitar complicaciones en la compactación de los residuos (Jaramillo, 2002).

“La longitud de zanja utilizada cada día debe ser tal que la altura final del relleno se alcance al finalizar cada día de operación. La longitud también debe ser suficiente para evitar retrasos costosos para los vehículos de recolección” (Tchobanoglous, Theissen, & Rolf, 1982).

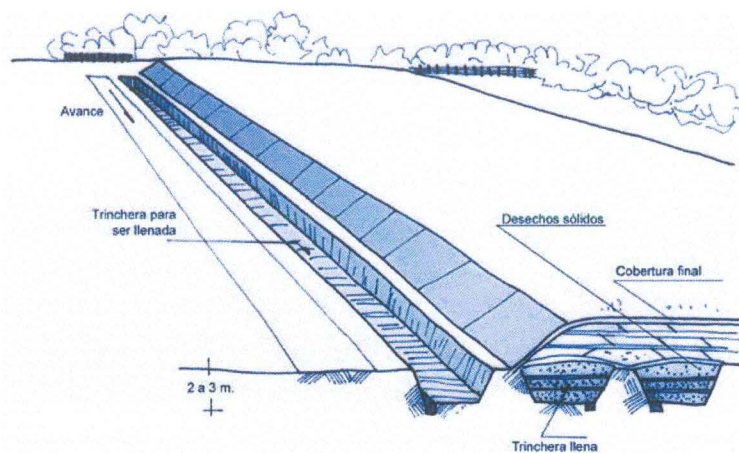


Fig. 2. Formación de trincheras o zanjas  
Fuente: (Jaramillo, 2002)

### 2.3.3.2 Método de Área.

Este método es utilizado para aquellas zonas donde la excavación no es posible, por lo cual se debe disponer los residuos sólidos directamente en el suelo, no sin antes haber impermeabilizado la zona donde se dispondrán los residuos, una vez ubicada la geomembrana se coloca los residuos elevándose por varios metros hasta donde se mantenga al margen de posibles riesgos. Es idóneo este método cuando existen depresiones naturales o canteras que se encuentren abandonadas, por lo que se podrían utilizar el material de cobertura de las mismas laderas cercanas, con ello reduciendo costos de operación del relleno, las construcciones de las celdas se las debe realizar en forma ascendente (Jaramillo, 2002).

Operacionalmente los desechos son descargados y extendidos en fajas largas y angostas sobre la superficie del suelo, en series de capas que varían en profundidad desde 16 hasta 30 pulgadas. (40 hasta 76 cm). Cada capa es compactada a medida que avanza el llenado durante el curso del

día hasta que el espesor de los desechos compactados llega a una altura que varía de 6 a 10 pies (1,80 a 3,30 m). A ese tiempo y al final de cada día de operación, se coloca una capa de material de recubrimiento de 6 a 12 pulgadas (15 a 30 cm) sobre el relleno terminado (Tchobanoglous, Theissen, & Rolf, 1982, p. 439).

Para la aplicación de este método es necesario contar con grandes extensiones de terreno, puesto que la altura de los terraplenes no puede ser muy grande.

#### **2.3.3.3 Método de rampa.**

El relleno sanitario tipo rampa, es aquel que está conformado por taludes en forma ascendente, el cual es utilizado en su mayoría cuando se dispone de terrenos con pendientes prominentes, del cual se realiza excavaciones para colocar los residuos y el material resultante de la excavación es utilizado como material de cobertura (Collazos, 2013).

### **2.3.4 Reacciones que se originan en un Relleno Sanitario.**

#### **2.3.4.1 Reacciones Físicas.**

Los cambios físicos más relevantes presentados en un relleno sanitario, se dan al momento de realizar la compactación de los residuos, ya que la expansión de los gases que se generan en los rellenos son causantes de alteraciones en el sistema, el biogás al encontrarse bajo presión y confinado podría ser causante de agrietamientos y fisuras de la cubierta, lo cual daría como resultado el libre ingreso de agua lluvia, misma que provocaría una mayor generación de gases y lixiviados, así como podrían aumentar las probabilidades de que ocurra hundimientos en la superficie y desestabilización en los terraplenes por la compresión de los residuos sólidos (Jaramillo, 2002).

#### **2.3.4.2 Reacciones Químicas.**

Las reacciones químicas que ocurren dentro del relleno sanitario e incluso en los botaderos de basura abarcan la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que se infiltran a través de la masa de residuos sólidos, la evaporación de compuestos químicos y agua, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y las reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y

sales metálicas. (La importancia de la descomposición de los productos orgánicos reside en que estos materiales pueden ser transportados fuera del relleno sanitario o del botadero de basura con los lixiviados.) (Jaramillo, 2002, p. 51).

#### **2.3.4.3 Reacciones Biológicas.**

Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son realizadas por los microorganismos aerobios y anaerobios, y están asociadas con la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos. El proceso de descomposición empieza con la presencia del oxígeno (fase aerobia); una vez que los residuos son cubiertos, el oxígeno empieza a ser consumido por la actividad biológica. Durante esta fase se genera principalmente dióxido de carbono. Una vez consumido el oxígeno, la descomposición se lleva a cabo sin él (fase anaerobia): aquí la materia orgánica se transforma en dióxido de carbono, metano y cantidades traza de amoníaco y ácido sulfhídrico (Jaramillo, 2002, p. 51).

### **2.3.5 Generación de Líquidos y Gases.**

#### **2.3.5.1 Lixiviado.**

Son aquellos líquidos que percolan entre los residuos sólidos que se encuentran en la etapa de estabilización, es decir, líquidos que vierten de un relleno sanitario o infiltran por acción de la gravedad hacia el terreno en la parte inferior del relleno sanitario, de manera que estos líquidos al entrar en contacto con los residuos arrastran compuestos que son formados por las reacciones que se dan paso en los procesos de degradación. Los lixiviados se encuentran relacionados directamente con el agua de lluvia ya que muchas de las veces de esto depende la cantidad de lixiviados que se vierten, así mismo la humedad que contienen los residuos derivan en lixiviados (Valles, 2013).

#### **2.3.5.2 Gases.**

Los gases que se producen en un relleno sanitario, son generados debido a la descomposición natural que sufren los residuos sólidos, esta descomposición natural de la materia orgánica es causada por los microorganismos que proliferan en el medio, aunque

para que exista esta descomposición se deben cumplir dos escenarios distintos el cual es según el medio en el que se encuentren, estos son aerobio y anaerobio (Jaramillo, 2002).

Según (Jaramillo, 2002) se le debe dar mayor interés al gas metano, ya que al no darle un tratamiento adecuado podría causar problemas en las instalaciones del relleno sanitario, por lo que este gas además de ser inodoro e incoloro es altamente explosivo y también al ser un gas puede acumularse prácticamente en cualquier espacio siendo un riesgo eminente para los trabajadores del relleno sanitario, esto ya que los residuos en descomposición alcanzan altas temperaturas lo cual podrían causar una explosión al estar en contacto con el gas metano.

Tabla 1. Composición química del metano

Componente	% Volumen
Metano	45 - 60
Dióxido de carbono	40 - 60
Nitrógeno	2 - 5
Oxígeno	0,1 - 1
Sulfuros, disulfuros	0 - 1
Ammonia	0,1 - 1
Hidrogeno	0 - 0,2
Monóxido de carbono	0 - 0,2
Trazas (acetonas, benceno, clorobenceno, cloroformo)	0,01 - 0,6

Fuente: (Mora, 2017)

## 2.4 Dimensionamiento de Relleno Sanitarios

Según (Röben, 2002), para realizar el dimensionamiento de un relleno sanitario se deben tomar en cuenta varios criterios técnicos tales como: tecnología adecuada, capacidad necesaria, selección de un sitio con características geológicas e hidrogeológicas adecuadas, diseño del cuerpo de basura considerando el tipo de basura (por ejemplo, con o sin desechos biodegradables) y de manejo técnico (manual o con equipo compactador), sistema eficiente para asegurar la impermeabilidad del suelo y de la superficie del cuerpo de basura, y protección del medio ambiente, drenaje y tratamiento de emisiones gaseosas y líquidas.

## 2.5 Vida útil de Relleno Sanitario

La estimación de la vida útil de un relleno sanitario depende de dos casos esenciales, uno de ellos es, el disponer con un sitio que contenga expansión de terreno sin limitaciones, mientras que el siguiente se basa en contar con un sitio con limitaciones en su expansión.

Cuando se dispone de un terreno suficientemente grande, no existe mayor problema ya que se podría expandir las dimensiones de un relleno sanitario para muchos años con respecto al crecimiento poblacional. El problema radica en que cuando no existe un sitio con un área de grandes dimensiones implica acoplar la cantidad de residuos sólidos hasta el punto que llegue a la capacidad máxima de dicho relleno sanitario, a su vez esto se realiza mediante la generación anual de residuos sólidos y la proyección de la población existente dentro de varios años, realizando el respectivo cálculo se puede calcular el año en que el relleno sanitario llega a su máximo de vida útil.

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Metodología

##### 3.1.1 Descripción de la Zona de Estudio.

##### 3.1.1.1 Cantón Arenillas.

El estudio se lo realizó en la parte sur-occidental del Ecuador, de la Provincia de El Oro, del Cantón Arenillas, el cual limita al norte con el archipiélago de Jambelí, al sur con el Cantón Las Lajas, al Este con los cantones Santa Rosa y Piñas, y al oeste con Perú (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Arenillas, 2014). El estudio se lo realizó en el sector Urbano donde se asienta el mayor número de habitantes.

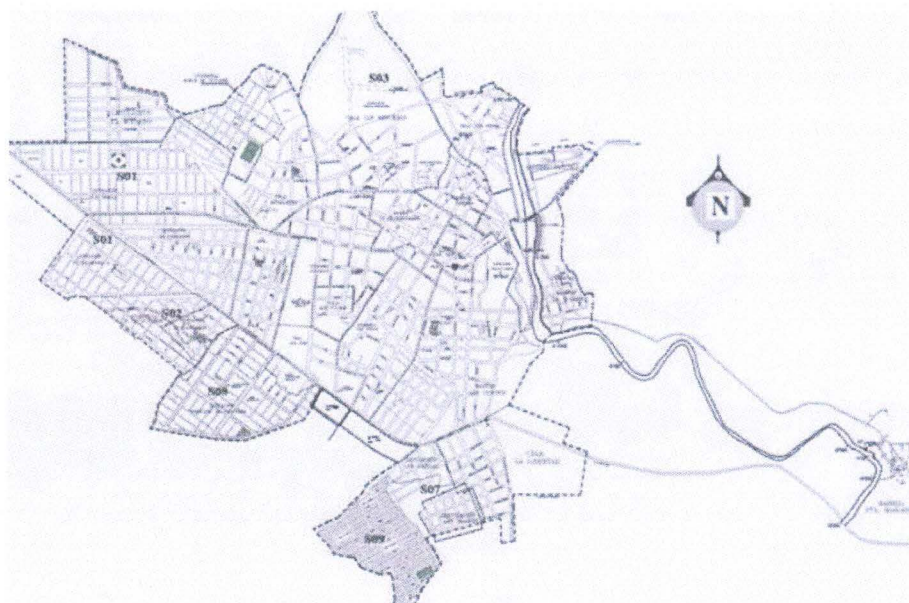


Fig. 3. Mapa del Cantón Arenillas

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Arenillas, 2014)

##### 3.1.1.2 Temperatura.

Tabla 2. Temperatura del cantón Arenillas

MES	TEMPERATURA (°C)
Enero	27,8

Febrero	27,5
Marzo	27,5
Abril	26,7
Mayo	26,3
Junio	25,8
Julio	25,3
Agosto	25,2
Septiembre	25
Octubre	24,3
Noviembre	24,4
Diciembre	24,6

Fuente: (Segarra, PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN ARENILLAS, 2013)

### 3.1.1.3 Precipitación.

“La Precipitación media anual es de 648 mm, sin embargo la distribución espacial de la lluvia en el territorio no es uniforme, ya que los valores máximos se producen en los meses de enero a junio con valores medios de 203,2 mm en febrero y los mínimos entre julio a diciembre con valores de 5,2 mm en agosto” (Segarra, Plan de Ordenación Territorial del Cantón Arenillas, 2013).

### 3.1.1.4 Población.

El cantón Arenillas, según el INEC se registra una población de 26.844 habitantes obtenido en el censo realizado en el año 2010, no obstante la población requerida para el presente estudio es la del año 2019, por lo cual se debe realizar la respectiva proyección hasta la fecha de interés.

Para realizar la proyección de la población que existe en el cantón hasta el 2019 se aplicará la metodología planteada por (Bejarano, 2005), que parte de la tasa de crecimiento poblacional, para ello se tomarán los censos del año 2001 y 2010 para obtener la tasa de crecimiento población, aplicando obtendremos lo siguiente:

$$r = \ln\left(\frac{pf}{pi}\right) * \left(\frac{1}{tf-ti}\right) \quad (1)$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento poblacional  
pf = Población final es decir del año 2010  
pi = Población inicial es decir del año 2001  
tf = Tiempo final (2010)  
ti = tiempo inicial (2001)

### **3.1.2 Caracterización física de residuos sólidos.**

La metodología que se aplicó en el presente estudio para la caracterización física de residuos sólidos fue tomada de los autores (Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho, 2005). Se utilizó la presente metodología ya que según (Runfolá & Gallardo, 2009) el uso de esta, es aplicable en países de América Latina y el Caribe, además en zonas que estén en vías de desarrollo la cual se presenta a continuación.

#### **3.1.2.1 Determinación de la muestra.**

##### 3.1.2.1.1 División por estratos.

La población que formó parte del estudio, fueron todas las viviendas que se encuentran dentro del perímetro urbano del cantón Arenillas.

La población fue dividida en tres estratos, enfocándose en los ingresos económicos o estatus social de cada vivienda, los estratos conformados fueron los siguientes:

- Zona residencial ( estrato 1 ): viviendas de ingresos altos
- Zona residencial ( estrato 2 ): viviendas de ingresos medios
- Zona residencial ( estrato 3 ): viviendas de ingresos bajos

Para identificar las viviendas de cada uno de los estratos fue necesario solicitar información al departamento de bienestar social del GADM del cantón Arenillas, los cuales manejan información de aquellas ciudadelas que se encuentran en estratos sociales bajo, medio y alto, tomando en cuenta las necesidades básicas insatisfechas. Las ciudadelas identificadas según su estrato son las siguientes:

Bajo: Los Jardines, San Francisco, Los Alamos, La Esperanza, Nueva Kennedy, San Jose, 1 de Noviembre, 25 de Diciembre, Progreso 2, Las Brisas, Colinas de Santa Fe, Franklin Jiménez, 9 de Octubre, y Lautaro Sánchez.

Medio: Libertad, San Vicente, Los Ceibos, Loma Quito, El Cisne, 11 de Noviembre, San Isidro, Miraflores, Progreso 1, y Las Mercedes.

Alto: Américas, Guayaquil, Barrio Central, y Barrio la Estación.

### 3.1.2.1.2 Muestra.

Al contar con una cantidad de 32052 habitantes, y al ser un valor finito se obtuvo el número de muestras mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N-1) + z^2 * p * q} \quad (2)$$

*Ecuación 1. Fórmula para la obtención del Número de la muestra*

Fuente: (Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho, 2005)

Donde:

z = Nivel de confianza

p = Probabilidad a favor

q = Probabilidad en contra

N= Población

e = Error de muestra

n = Muestra

### 3.1.2.2 Etiquetado.

Para la realización de la presente caracterización se realizó un etiquetado, con la finalidad de realizar el trabajo de campo lo más tecnificado posible y organizado, lo cual consistió en realizar etiquetas con sus respectivo código y colocarlos en cada una de las viviendas muestreadas en un lugar visible para así al momento de realizar las respectivas visitas durante los días de caracterización sea más fácil la identificación de cada casa y no alterar las fundas de residuos sólidos retirados de dichas casas.

#### 3.1.2.2.1 Etiqueta del Domicilio.

Se procedió a colocar etiquetas en cada domicilio seleccionado como parte de la muestra de estudio para facilitar la ubicación de la misma e identificación del domicilio, el modelo de etiqueta que se colocó fue el siguiente:

CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE RESIDUOS SÓLIDOS  
URBANOS EN EL CANTÓN ARENILLAS, PROVINCIA  
DE EL ORO

Código: 1 - V

Fig. 4. Código establecido por vivienda  
Fuente: Autoría propia



Fig. 5 Colocación de Código domiciliario  
Fuente: Autoría propia

#### 3.1.2.2.2 Empadronamiento.

El empadronamiento consistió en realizar un modelo de hojas de registro para hacer el levantamiento de información más relevante de cada domicilio, esta información se la obtuvo mediante entrevistas a los jefes de hogar y personas encargadas de cada domicilio seleccionado como parte de la muestra, el modelo de las hojas de empadronamiento es el siguiente:



- Se envió comunicaciones oficiales a los propietarios de las viviendas seleccionadas para dar a conocer el trabajo, su importancia y el personal involucrado.
- Se capacitó al personal encargado de la caracterización y se consideraron aspectos como su presentación ante los propietarios de las viviendas seleccionadas; el tipo de información a recabar; el trabajo con los residuos recolectados, entre otros que se detallan a continuación:
  - Se registró el nombre del responsable, la dirección y el número de habitantes por vivienda seleccionada.
  - Se entregó las bolsas vacías a los propietarios de cada una de las viviendas seleccionadas y se pidió que depositen en ellas los residuos generados en la vivienda y que procuren no cambiar sus costumbres o rutina diaria.
  - Se recogió las bolsas con los residuos al día siguiente y se entregó otras bolsas vacías. Se controló que esta actividad sea efectuada siempre en el mismo horario.
  - Se identificó las bolsas con una etiqueta en donde se especifique el número de la vivienda, el código de habitantes por vivienda, dirección y fecha.
  - Se llevaron las bolsas con los residuos al lugar donde se realizó la caracterización de dichos residuos y continuar con el procedimiento detallado en el siguiente punto.

#### 3.1.2.3.2 Determinación de la generación per cápita y el total de residuos sólidos.

- Se utilizó el total de los residuos recolectados por día de muestreo.
- Se pesó diariamente ( $w_i$ ) el total de bolsas recogidas durante los 8 días que se llevará a cabo el muestreo, no se consideraron los datos de los residuos recolectados el primer día de muestreo para el análisis. Este peso representa ( $W_t$ ) la cantidad total de basura diaria generada en todas las viviendas.

- En función de los datos recopilados sobre el número de personas por vivienda ( $n_i$ ) se determinó el número total de personas que han intervenido ( $N_t$ ) en el muestreo.
- Se dividió el peso total de las bolsas ( $W_t$ ) entre el número total de personas ( $N_t$ ) para obtener la generación per cápita diaria promedio de las viviendas muestreadas (kg/hab./día).

$$\text{Generación per cápita diaria de residuos} = \frac{\text{Peso total de residuos } (W_t)}{\text{Número total de personas } (N_t)} \quad (3)$$

*Ecuación 4. Fórmula para la obtención de la GPC*

Fuente: (Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho, 2005)

- Se multiplicó la generación per cápita por el número de habitantes de la localidad para determinar la generación total diaria.

$$\text{Generación total diaria de residuos} = gpc * N_t \left( \frac{kg}{día} \right) \quad (4)$$

#### 3.1.2.3.3 Determinación de la densidad de los residuos sólidos.

- Se preparó un recipiente de alrededor de 100 litros para que sirva como depósito estándar a fin de definir el volumen que ocupará el residuo; así mismo, se preparó una balanza de pie.



Fig. 7. Recipiente para la determinación de la densidad  
Fuente: Autoría Propia

- Se pesó el recipiente vacío ( $W_1$ ) y se determinó el volumen ( $V$ ).
- Se deposita, sin hacer presión el residuo que fue utilizado en el cuarteo, en el recipiente y se levantó el recipiente y luego se soltó de tal manera que los residuos ocupen los espacios vacíos de dicho recipiente. Para evitar cálculos adicionales, es conveniente que el recipiente se encuentre totalmente lleno de residuos.



Fig. 8. Recipiente con residuos sólidos  
Fuente: Autoría Propia

- Se pesó el recipiente lleno ( $W_2$ ) y por diferencia, se obtuvo el peso de la basura ( $W$ ).
- Se dividió el peso de la basura ( $W$ ) entre el volumen del recipiente ( $V$ ) para obtener la densidad de la basura.

$$\text{Densidad } D \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{Peso del residuo } W (kg)}{\text{Volumen de la Basura } V (m^3)} \quad (5)$$

#### 3.1.2.3.4 Determinación de la composición física de los residuos sólidos.

- Se utilizó la muestra de un día; los residuos se colocaron en una zona pavimentada sobre él un plástico grande con el fin de no agregar tierra a los residuos.

- Se rompió las bolsas y se colocó los residuos formando un montón. Con la finalidad de homogenizar la muestra, se trozó los residuos más voluminosos hasta conseguir un tamaño que resulte manipulable; puede ser de 15 centímetros o menos.
- Se dividió el montón de residuos en cuatro partes (método del cuarteo) y se escogió las dos partes opuestas, parte sombreada de la Figura 11, para posterior formar otro nuevo montón más pequeño. Se volvió a mezclar la muestra menor y se dividió en cuatro partes nuevamente, luego se escogió dos nuevas partes opuestas y se formó otra muestra más pequeña. Esta operación se repite hasta obtener una muestra de 50 kilogramos de basura o menos.

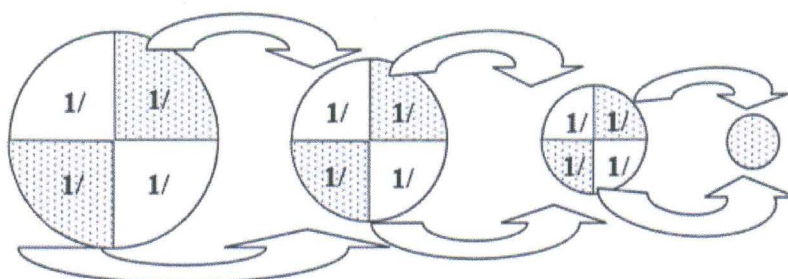


Fig.9. Método del cuarteo

Fuente: (Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho, 2005)

- Se separó los componentes del último montón y se realizó la clasificación de los siguientes componentes: papel y cartón, madera y residuos de madera, restos de alimentos, plásticos, metales, vidrio, y otros (caucho, cuero, tierra).

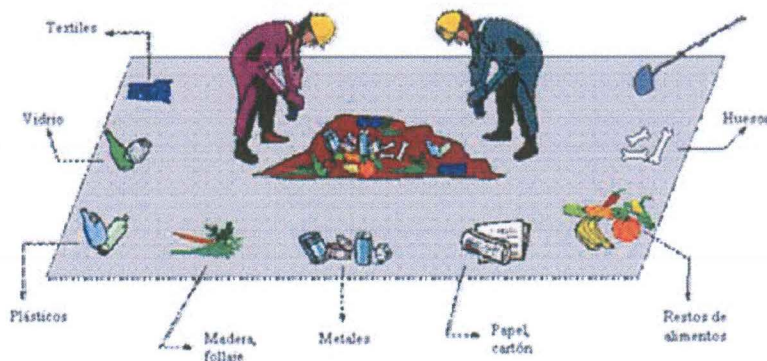


Fig.10. Clasificación de los diferentes componentes.

Fuente: (Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho, 2005)

- Luego se clasificaron los componentes en fundas de 50 litros.



Fig. 11. Fundas con los residuos clasificados  
Fuente: Autoría Propia

- Antes de realizar la clasificación se pesaron las fundas de 50 litros, con una balanza de hasta 10 kilogramos.
- Luego se pesó los recipientes con los diferentes componentes, una vez concluida la clasificación y por diferencia se determinó el peso de cada uno de los componentes.
- Se calculó el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día ( $W_t$ ) y el peso de cada componente ( $P_i$ ):

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{P_i}{W_t} * 100 \quad (6)$$

- Se repitió el procedimiento durante los siete días que duró el muestreo de los residuos. Hay que recordar que de los ocho días que duró el muestreo, se eliminó la muestra del primer día, por antiguas experiencias por parte del autor Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho (2005), se ha demostrado que la basura del primer día no resulta representativa, esto porque la muestra del primer día es entregada con demasiada cantidad de residuos o muy poca. Esto distorsionaría los promedios.

- Se calculó un promedio simple para determinar el porcentaje promedio de cada componente, es decir, se sumó los porcentajes de todos los días de cada componente y se dividió entre los días de la semana.

### **3.1.3 Diseño del relleno sanitario.**

La metodología utilizada para el diseño del relleno sanitario, fue la propuesta por (Collazos, 2013). La cual consiste en realizar un diseño del relleno sanitario partiendo del dato de la generación per- cápita, del cual obtiene la cantidad de residuos sólidos generada en el sitio de estudio realizando la respectiva proyección en años misma que será el tiempo de vida útil del relleno sanitario.

Para realizar un correcto diseño de un relleno sanitario se tomaron en cuenta varios parámetros necesarios, estos parámetros incluyen: Población que atenderá el relleno sanitario, datos generales sobre las características de la población que se atenderá con el relleno sanitario, cantidad de basura producida por la población atendida, producción futura de basura con un horizonte el cual será establecido por el diseñador, cantidad de basura recolectada, cobertura de servicio, composición física de la basura, peso volumétrico de la basura, producción de lixiviados, localización general del sitio, geomorfología del área donde se construirá el relleno sanitario, topografía del área, meteorología de la región, y posibilidad de material de cobertura.

Una vez obtenido cada uno de los parámetros necesarios se precedió a realizar el dimensionamiento del relleno sanitario partiendo de lo más general a lo más específico. En el presente proyecto para la obtención de los resultados se aplicó la metodología propuesta por (Collazos, 2013).

#### **3.1.3.1 Área necesaria para la Construcción del Relleno Sanitario.**

Es el área necesaria para la construcción de un relleno sanitario, en la cual estará incluidas cada una de las instalaciones que forman parte de un relleno sanitario como son las vías de acceso, casetas de registro, y zonas de amortiguamiento. El cálculo del área necesaria para el relleno sanitario conlleva a realizar algunos pasos específicos y la obtención de varios datos los cuales se detallan a continuación:

- Año

Se consideran los años de vida útil que tendrá el relleno sanitario a dimensionar, en este caso se lo realiza con una proyección de 20 años, puesto que (Collazos, 2013) considera que un relleno sanitario sustentable es necesario contar una vida útil mínima de 20 años, por ello el estudio parte desde el año 2019 hasta el año 2039.

- Población

Para obtener el área necesaria para la construcción del relleno sanitario en el Cantón Arenillas es necesario conocer la población anual del cantón tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional, es decir la población está en un constante crecimiento lo cual Arenillas no es la excepción, por ello se realizó un previo cálculo de la tasa de crecimiento población.

- Porcentaje de Cobertura (%)

Es importante considerar el porcentaje de cobertura de la recolección de residuos sólidos del cantón, puesto que mediante este porcentaje se conoce la cantidad de habitantes que disponen los residuos sólidos hacia el relleno sanitario. En el cantón Arenillas el porcentaje de cobertura es del 100%, eso es posible gracias a que el cantón se encuentra concentrado la mayoría de la población en una zona con una densidad muy alta y las vías de acceso son relativamente buenas lo cual facilita la recolección en todas las ciudadelas del cantón.

- Población con Servicio

Es el resultado de la población total con servicio de recolección, para el presente estudio se considerarán el total de la población, con su respectiva proyección y año.

- Generación Per Cápita (kg/hab/día)

Es el valor de residuos sólidos generados por habitante día, obtenido previamente mediante la caracterización física de residuos sólidos domiciliarios ya que según (Ramos Sanchez, 2016) estos representan el 80% de la generación total.

- Residuos de Mercados y Barridos (ton)

Los residuos generados por parte de los mercados y el barrido realizado en el cantón no se encuentran dentro del valor de la generación per cápita puesto que al realizar la caracterización física de residuos sólidos se consideró únicamente los residuos domiciliarios, por lo cual se procedió a tomar las consideraciones de (Collazos, 2013), el

cual propone que la cantidad de residuos de mercados y barrido es el 15% de los residuos sólidos determinados.

- Producción de Residuos Sólidos Anual (ton)

El cálculo para determinar la producción de residuos sólidos anuales se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$RSA = \left( (P * PC) * (GPC) * (RBM) \right) * 365 \quad (7)$$

Donde:

P = Población

PC = Porcentaje de Cobertura

GPC = Generación per Cápita

RBM = Residuos de Mercados y Barrido (15%)

- Volumen Anual (m<sup>3</sup>)

El cálculo para determinar el volumen anual se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$VA = \left( \frac{RSA}{0,5} \right) * 365 \quad (8)$$

Donde:

VA = Volumen Anual

RSA = Residuos Sólidos Anual

0,5 tm/m<sup>3</sup>= Compactación con tractor tipo gallineta

- Asentamiento (m)

El cálculo para determinar el asentamiento se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$A = (VA * 0,85) * 365 \quad (9)$$

Donde:

A = Asentamiento

VA = Volumen Anual

0,85 = Existe un 15% de asentamiento por ello se multiplica por 0,85 que es el 85% de volumen que se mantiene

- Porcentaje de material de cobertura anual (%)

El cálculo para determinar el material de cobertura anual se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$MCA = (VA * AMC) \quad (10)$$

Donde:

MCA = Porcentaje de material de cobertura anual

VA = Volumen anual

AMC = Altura de material de cobertura (0,158m)

- Acumulado (%)

Es la suma de cada uno de los resultados obtenidos del material de cobertura anual es decir se suma el resultado desde el 2019 hasta el resultado del 2039 obteniendo el total de material de cobertura necesaria para el manejo del relleno sanitario durante toda su vida útil.

- Volumen total (m<sup>3</sup>)

El cálculo para determinar el volumen total de residuos sólidos se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$VT = (A + MCA) \quad (11)$$

Donde:

VT = Volumen total

A = Asentamiento

MCA = Material de cobertura anual

- Volumen acumulado (m<sup>3</sup>)

Es la suma de cada uno de los resultados obtenidos del volumen total, es decir se suma el resultado desde el 2019 hasta el resultado del 2039 obteniendo el total de volumen necesario para colocar los residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario, y con ello poder obtener el área necesaria para la construcción del relleno sanitario.?

- Área total del Relleno Sanitario (m<sup>2</sup>)

El cálculo para determinar el área total del relleno sanitario se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$ARS = \left( \left( \left( \left( \frac{VAC}{ACu} \right) * 1,2 \right) * 2 \right) \right) \quad (12)$$

Donde:

ARS = Área total del Relleno Sanitario

VAC = Volumen acumulado

ACu = altura del cubeto (7m)

1,2 = Se considera un 20% de aumento para la colocación de básculas, oficinas, caseta de guardias y vías.

2 = Aumento del 100% del área determinada, para zonas de amortiguamiento.

### 3.1.3.2. Dimensionamiento de la celda diaria.

- Ángulo de inclinación (°)

Para realizar el diseño de la celda diaria es necesario establecer un ángulo de inclinación, para ello se tomó un ángulo con un valor de 33,69, mismo que está dentro de lo establecido por (Collazos, 2013).

- Altura de residuos (m)

La altura de los residuos que se tomaron en cuenta según la metodología establecida por (Collazos, 2013) es de 1,2 metros antes de la colocación del material de cobertura.

- Altura total (m)

La altura total incluye a los residuos sólidos y el material de cobertura en este caso el material de cobertura sería de 0,15 metros, por lo cual se obtendrá una altura total de 1,35 metros con lo cual se realizó el cálculo posterior.

- Altura del Cubeto (m)

La altura del cubeto considerada para el presente estudio es de 7 metros, lo cual se encuentra dentro del rango máximo recomendado por (Collazos, 2013).

- Residuos Sólidos recolectados (kg)

El valor de residuos sólidos recolectados que se tomó en cuenta es la cantidad de residuos sólidos que se dispondrán en el relleno sanitario en el año 2039, el cual consta en la ecuación para la determinación de la RSA (Producción de residuos sólidos anual).

- Densidad de Residuos Sólidos compactados ( $\text{tm}/\text{m}^3$ )

El presente valor depende mucho del tipo de compactación que se llevará dentro del relleno sanitario, para el presente estudio se consideraron dos escenarios uno realizando una compactación con un tractor tipo gallineta que sería una compactación de  $0,5 \text{ tm}/\text{m}^3$ , y otro escenario con una compactación con un tractor compactador con rodillo el cual brindaría una mejor compactación la cual sería de  $0,8 \text{ tm}/\text{m}^3$ .

- Volumen de los Residuos Sólidos ( $\text{m}^3$ )

El cálculo para determinar el volumen de los residuos sólidos se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$VRS = \left( \frac{RSR}{DRC} \right) \quad (13)$$

Donde:

VRS = Volumen de los residuos sólidos

RSR = Residuos sólidos recolectados

DRC = Densidad de los residuos compactados

- Área (m<sup>2</sup>)

El cálculo para determinar el área se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$AR = \left( \frac{VRS}{ARe * ACu} \right) \quad (14)$$

Donde:

AR = Área

VRS = Volumen de los residuos sólidos

ARe = Altura de residuos

ACu = Altura del cubeto (m)

- Z

El cálculo para determinar la z se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$Z = \left( \frac{MC}{\text{Sen}(AI)} \right) \quad (15)$$

Donde:

Z = Es el espacio que existe entre celdas

MC = Material de cobertura

AI = Ángulo de inclinación

- Volumen de material de cobertura (m<sup>3</sup>)

El cálculo para determinar el volumen de material de cobertura se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$VMC = \left( \frac{AR*MC + ARe*MC}{\frac{\text{Sen}(AI)}{180}} \right) * ACu \quad (16)$$

Donde:

VMC = Volumen de material de cobertura

AR = Área

MC = Material de cobertura

ARe = Altura de residuos

AI = Ángulo de inclinación

ACu = Altura del cubeto

- Porcentaje de material de cobertura (%)

El cálculo para determinar el porcentaje de material de cobertura se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$PMC = \left( \frac{VRS}{VMC} \right) * 100 \quad (17)$$

Donde:

PMC = Porcentaje de material de cobertura

VRS = Volumen de residuos sólidos

VMC = Volumen de material de cobertura

### 3.1.3.3. Dimensionamiento del tanque de lixiviados.

- Población

La población que se consideró para el diseño del tanque de lixiviados es la proyectada para el año 2039, puesto que es necesario la construcción de un tanque que tenga la misma vida útil del relleno sanitario, incluso según (Collazos, 2013) la generación de lixiviados continúan aun cuando se ha procedido a dar el cierre técnico de un relleno sanitario.

- Generación Per Cápita (kg/hab./día)

La generación per cápita utilizada para el diseño del tanque de lixiviado es la obtenida del resultado de la caracterización física de residuos sólidos en el cantón.

- Producción de residuos sólidos (kg)

El cálculo para determinar la producción de residuos sólidos se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$PRS = (P * GPC) \quad (18)$$

Donde:

PRS = Producción de residuos sólidos

P = Población

GPC = Generación per cápita

- Tipo de Relleno

Se detalla el tipo de relleno a diseñar, luego de la obtención de residuos sólidos generados diariamente, para determinar qué tipo de relleno sanitario se implementará se tomó en cuenta lo propuesto por (Jaramillo, 2002), el cual propone que para la construcción de un relleno sanitario semimecanizado es necesario se dispongan entre 16 y 40 toneladas de residuos sólidos al día, lo cual se cumple en el cantón Arenillas.

- Compostaje

Se detalla si se implementará un área de compostaje en el relleno sanitario, en el presente proyecto no se consideró un área determinada para realizar compostaje.

- Porcentaje de residuos compostados (%)

Al no considerarse una zona para realizar el compostaje, el porcentaje de residuos compostados se anula es decir sería cero.

- Cantidad de residuos compostados (kg)

De igual forma la cantidad de residuos compostados serían cero al no realizarse compost en el relleno sanitario.

- Cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario (kg)

El cálculo para determinar la cantidad de residuos sólidos se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$CRSD = (PRS - CRCs) \quad (19)$$

Donde:

CRSD = Cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario

PRS = Producción de residuos sólidos

CRCs = Cantidad de residuos sólidos compostados

- Volumen de los residuos sólidos ( $m^3$ )

El cálculo para determinar el volumen de los residuos sólidos se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$VRS = \left( \frac{CRSD}{DRS} \right) \quad (20)$$

Donde:

VRS = Volumen de los residuos sólidos

CRSD = Cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario

DRS = Densidad de los residuos sólidos

- Área de residuos sólidos ( $m^2$ )

El cálculo para determinar el área de residuos sólidos se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$AR = \left( \frac{VRS}{ACu} \right) \quad (21)$$

Donde:

AR = Área de residuos sólidos

VRS = Volumen de los residuos sólidos

ACu = altura del cubeto (7m)

- Precipitación anual (m)

La precipitación está directamente relacionada con la generación de lixiviados por lo cual es un valor de mucha importancia, para ello se obtuvo dicho valor del (INEC, 2010), se tomó en cuenta el mes de mayor porcentaje de precipitación, y con ello eliminando cualquier margen de error.

- Porcentaje de escorrentía (%)

El porcentaje de escorrentía que se generan en los rellenos sanitarios según la experiencia de (Röben, 2002), es del 60%, valor que será tomado en el presente estudio, puesto que dicho autor realizó su estudio en el Ecuador, en la ciudad de Loja.

- Volumen de agua sobre los residuos

El cálculo para determinar el volumen de agua que precipita sobre los residuos se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$MCA = (PA * AR) \quad (22)$$

Donde:

MCA = Volumen de agua que precipita sobre los residuos

PA = Precipitación anual

AR = Área de residuos sólidos

- Cantidad de lixiviados (m<sup>3</sup>/día)

El cálculo para determinar la cantidad de lixiviados se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$CL = (MCA * PE) \quad (23)$$

Donde:

CL = Cantidad de lixiviados

MCA = Volumen de agua que precipita sobre los residuos

PE = Porcentaje de escorrentía

- Área necesaria para el tanque (m<sup>2</sup>)

El cálculo para determinar el área necesaria para el tanque de lixiviados se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$ANT = \left( \frac{CL}{Acu} \right) \quad (24)$$

Donde:

ANT = Área necesaria para el tanque de lixiviados

CL = Cantidad de lixiviados

Acu = Altura del cubeto (7m)

- Área necesaria para el tanque con un tiempo de retención de 15 días (m<sup>2</sup>)

El cálculo para determinar el área necesaria para el tanque de lixiviados con un tiempo de retención de 15 días se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$ANT15 = (ANT * 15) \quad (25)$$

Donde:

ANT15 = Área necesaria para el tanque de lixiviados con un tiempo de retención de 15 días

ANT = Área necesaria para el tanque de lixiviados

15 = 15 días de retención de los lixiviados

## 3.2. Desarrollo Metodológico

### 3.2.1 Cálculo de la Población.

$$r = \ln\left(\frac{pf}{pi}\right) * \left(\frac{1}{tf-ti}\right) \quad (26)$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento poblacional

pf = Población final es decir del año 2010

pi = Población inicial es decir del año 2001

tf = Tiempo final (2010)

ti = tiempo inicial (2001)

Reemplazando:

$$r = \ln\left(\frac{26844}{22477}\right) * \left(\frac{1}{2010 - 2001}\right) = 0,01972$$

Una vez obtenida la tasa de crecimiento poblacional se puede hacer la respectiva proyección al año que sea necesario, en este caso se realizó la proyección hasta el año 2019, puesto que es la fecha en la cual se está realizando el presente estudio, y con la población actual que se trabajará. Los valores de las poblaciones del año 2001 y 2010 se obtuvieron del (INEC, 2010).

La proyección reemplazando la tasa de crecimiento es la siguiente:

$$PF = PI * (e)^{r*(tf-ti)} \quad (27)$$

Donde:

PF = Población final.

PI = Población inicial.

r = Tasa de crecimiento poblacional.

tf = Tiempo final (2019).

ti = Tiempo inicial (2010).

Reemplazando:

$$PF = 26844 * (e)^{0,01972*(2019-2010)} = 32057$$

La población obtenida luego de haber realizado la proyección hasta el año 2019 es de 32.057 habitantes en el cantón Arenillas.

### 3.2.2 Cálculo de la Muestra.

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N-1) + z^2 * p * q} \quad (28)$$

*Ecuación 1. Fórmula para la obtención del Número de la muestra*

Fuente: (Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho, 2005)

Donde:

z = Nivel de confianza

p = Probabilidad a favor

q = Probabilidad en contra

N= Población

e = Error de muestra

n = Muestra

Para el valor de z se obtendrá dando un porcentaje de confiabilidad del 95% y revisando en la tabla de valor z, obtenemos el valor de 1,96.

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5 * 32052 \text{ hab.}}{0,05^2(32052-1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = 380 \text{ Hab.}$$

*Ecuación 2 Aplicación de la fórmula para obtener el valor de la muestra*

Fuente: (Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho, 2005)

El número a muestrear es de 380 habitantes, en este caso para realizar la caracterización de residuos sólidos se obtuvo el número de casas a ser muestreadas, para ello se tomó del (INEC, 2010) el valor del promedio de habitantes que viven por casa, el cual es de 3,78 habitantes por casa, por lo que se realizó la respectiva división del número de habitantes para el promedio de habitantes por casa, para luego obtener el número de casas a ser muestreadas.

$$n = \frac{380 \text{ habitantes}}{3,78 \text{ habitantes/casa}} = 100,53 \approx 101 \text{ casas}$$

Ecuación 3. Obtención del número de casas a muestrear

El tipo de muestreo que se realizó, es el no probabilístico, ya que se utilizaran criterios distintos para la elección de la muestra, por lo que todos no tienen la misma probabilidad de ser elegidos.

### 3.2.3 Cálculo de la Generación per cápita.

$$\text{Generación per cápita diaria de residuos} = \frac{\text{Peso total de residuos (Wt)}}{\text{Número total de personas (Nt)}} \quad (29)$$

Ecuación 4. Fórmula para la obtención de la GPC  
Fuente: (Cantanhede, Monge, Sandoval, & Caycho, 2005)

$$\text{Generación per cápita diaria de residuos (gpc)} = \frac{263,237 \text{ kg}}{438 \text{ hab}} = 0,601 \frac{\text{Kg}}{\text{hab}}/\text{día}$$

### 3.2.4 Cálculo para el Diseño del Relleno Sanitario.

#### 3.2.4.1 Cálculo del área necesaria para la construcción del Relleno Sanitario.

- Cálculo de la producción anual de Residuos Sólidos

$$RSA = \left( (P * PC) * (GPC) * (RBM) \right) * 365 \quad (30)$$

Donde:

P = Población

PC = Porcentaje de Cobertura

GPC = Generación per Cápita

RBM = Residuos de Mercados y Barrido (15%)

Reemplazando:

$$RSA = \left( ((32057 * 100\%) * (0,601)) * (1,15) \right) * 365$$

$$RSA = 22,2 \text{ toneladas/día}$$

La producción de residuos sólidos que se muestra en la fórmula 30 es la del año 2019, puesto que el presente relleno sanitario tendría una vida útil de 20 años es necesario realizar dicho cálculo hasta el año 2039.

- Cálculo del Volumen anual

$$VA = \left( \frac{RSA}{0,5 \text{ tm}} \right) * 365 \quad (31)$$

Donde:

VA = Volumen Anual

RSA = Residuos Sólidos Anual

0,5 = Toneladas metros cúbicos de compactación con tractor tipo gallineta

Reemplazando:

$$VA = \left( \frac{22,2}{0,5 \text{ tm}} \right) * 365$$

$$VA = 16174 \text{ m}^3$$

- Cálculo del asentamiento

$$A = (VA * 0,85) * 365 \quad (32)$$

Donde:

A = Asentamiento

VA = Volumen Anual

0,85 = Existe un 15% de asentamiento por ello se multiplica por 0,85 que es el 85% de volumen que se mantiene

Reemplazando:

$$A = (16174 * 0,85) * 365$$

$$A = 13747,9 \text{ m}^3$$

- Cálculo del material de cobertura anual

$$MCA = (VA * 0,158 \text{ m}) \tag{33}$$

Donde:

MCA = Porcentaje de material de cobertura anual

VA = Volumen anual

AMC = Altura de material de cobertura (0,158m)

Reemplazando:

$$MCA = (16174 * 0,1588 \text{ m})$$

$$MCA = 2568,4 \text{ m}^3$$

- Cálculo del Volumen total

$$VT = (A + MCA) \tag{34}$$

Donde:

VT = Volumen total

A = Asentamiento

MCA = Material de cobertura anual

Reemplazando

$$VT = (13747,9 + 2568,4)$$

$$VT = 16316,3 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área total del Relleno Sanitario

$$ARS = \left( \left( \left( \left( \frac{VA}{10000} \right) * 1,2 \right) * 2 \right) \right) \quad (35)$$

Donde:

ARS = Área total del Relleno Sanitario

VAC = Volumen acumulado hasta el año 2039

Acu = altura del cubeto (7m)

1,2 = Se considera un 20% de aumento para la colocación de básculas, oficinas, caseta de guardias y vías.

2 = Se aumenta el 100% del área determinada para zonas de amortiguamiento.

Reemplazando:

$$ARS = \left( \left( \left( \frac{453354,5}{7} \right) * 1,2 \right) * 2 \right)$$

$$ARS = 15,54 \text{ hectáreas}$$

### 3.2.4.2 Cálculo del dimensionamiento de la celda diaria.

- Cálculo del Volumen de los Residuos Sólidos

$$VRS = \left( \frac{RSR}{DRC} \right) \tag{36}$$

Donde:

VRS = Volumen de los residuos sólidos

RSR = Residuos sólidos recolectados

DRC = Densidad de los residuos compactados

Reemplazando:

$$VRS = \left( \frac{37,8}{0,5} \right)$$

$$VRS = 75,6 \text{ m}^3$$

- Cálculo del Área

$$AR = \left( \frac{VRS}{ARe * AC} \right) \tag{37}$$

Donde:

AR = Área

VRS = Volumen de los residuos sólidos

ARe = Altura de residuos

ACu = Altura del cubeto (m)

Reemplazando:

$$AR = \left( \frac{75,6}{1,2 * 7} \right)$$

$$AR = 9 \text{ m}^2$$

- Cálculo de Z

$$Z = \left( \frac{MC}{\text{Sen}(AI)} \right) \tag{38}$$

Donde:

Z = Espacio existente entre celdas

MC = Material de cobertura

AI = Ángulo de inclinación

Reemplazando:

$$Z = \left( \frac{0,15}{\text{Sen}(33,69)} \right)$$

$$Z = 0,27 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del material de cobertura

$$VMC = \left( \frac{AR * MC + ARe * MC}{\frac{\text{Sen}(AI)}{180}} \right) * ACu \quad (39)$$

Donde:

VMC = Volumen de material de cobertura

AR = Área

MC = Material de cobertura

ARe = Altura de residuos

AI = Ángulo de inclinación

ACu = Altura del cubeto

Reemplazando:

$$VMC = \left( \frac{9 * 0,15 + 1,2 * 0,15}{\frac{\text{Sen}(33,69)}{180}} \right) * 7$$

$$VMC = 12 \text{ m}^3$$

- Cálculo del porcentaje de material de cobertura

$$PMC = \left( \frac{VRS}{VMC} \right) * 100 \quad (40)$$

Donde:

PMC = Porcentaje de material de cobertura

VRS = Volumen de residuos sólidos

VMC = Volumen de material de cobertura

Reemplazando:

$$PMC = \left( \frac{75,6}{12} \right) * 100$$

$$PMC = 15,9 \%$$

### 3.2.4.3 Cálculo del dimensionamiento del tanque de lixiviados.

- Cálculo de la producción de residuos sólidos

$$PRS = (P * GPC) \tag{41}$$

Donde:

PRS = Producción de residuos sólidos

P = Población al año 2039

GPC = Generación per cápita

Reemplazando:

$$PRS = (47556 * 0,601)$$

$$PRS = 28581,2 \text{ kg/año}$$

- Cálculo de la cantidad de residuos sólidos a disponer en el Relleno Sanitario

$$CRSD = (PRS - CRCs) \quad (42)$$

Donde:

CRSD = Cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario

PRS = Producción de residuos sólidos

CRCs = Cantidad de residuos sólidos compostados

Reemplazando:

$$CRSD = (28581,2 - 0)$$

$$CRSD = 28581,2 \text{ kg}$$

- Cálculo del volumen de los residuos sólidos

$$VRS = \left( \frac{CRSD}{DRS} \right) \quad (43)$$

Donde:

VRS = Volumen de los residuos sólidos

CRSD = Cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario

DRS = Densidad de los residuos sólidos

Reemplazando:

$$VRS = \left( \frac{2858,1}{0,8} \right)$$

$$VRS = 35726,4 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área de los residuos sólidos

$$AR = \left( \frac{VRS}{Acu} \right) \quad (44)$$

Donde:

AR = Área de residuos sólidos

VRS = Volumen de los residuos sólidos

Acu = Altura del cubeto (7m)

Reemplazando:

$$AR = \left( \frac{35726,4}{7} \right)$$

$$AR = 5103,8 \text{ m}^2$$

- Cálculo del volumen de agua sobre los residuos

$$MCA = (PA * AR) \quad (45)$$

Donde:

MCA = Metros cúbicos de agua sobre los residuos

PA = Precipitación anual

AR = Área de residuos sólidos

Reemplazando:

$$MCA = (180 * 5103,8)$$

$$MCA = 918,7 \text{ m}^3$$

- Cálculo de la cantidad de lixiviados

$$CL = (MCA * PE) \tag{46}$$

Donde:

CL = Cantidad de lixiviados

MCA = Metros cúbicos de agua sobre los residuos

PE = Porcentaje de escorrentía

Reemplazando:

$$CL = (918,7 * 60\%)$$

$$CL = 551,2 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área necesaria para el tanque de lixiviados

$$ANT = \left( \frac{CL}{ACu} \right) \tag{47}$$

Donde:

ANT = Área necesaria para el tanque de lixiviados

CL = Cantidad de lixiviados

Acu = Altura del cubeto (7m)

Reemplazando:

$$ANT = \left( \frac{551,2}{7} \right)$$

$$ANT = 78,74 \text{ m}^2$$

- Cálculo del área necesaria para el tanque de lixiviados con un tiempo de retención de 15 días

$$ANT_{15} = (ANT * 15) \tag{48}$$

Donde:

ANT<sub>15</sub> = Área necesaria para el tanque de lixiviados con un tiempo de retención de 15 días

ANT = Área necesaria para el tanque de lixiviados

15 = 15 días de retención de los lixiviados

Reemplazando:

$$ANT_{15} = (78,74 * 15)$$

$$ANT_{15} = 1181,16 \text{ m}^2$$

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caracterización física de residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos se encuentran conformados por varios componentes de los cuales fueron identificados por medio de la caracterización de los residuos, por lo cual se obtuvo cada uno de los porcentajes de los diferentes componentes identificados en los residuos sólidos muestreados.

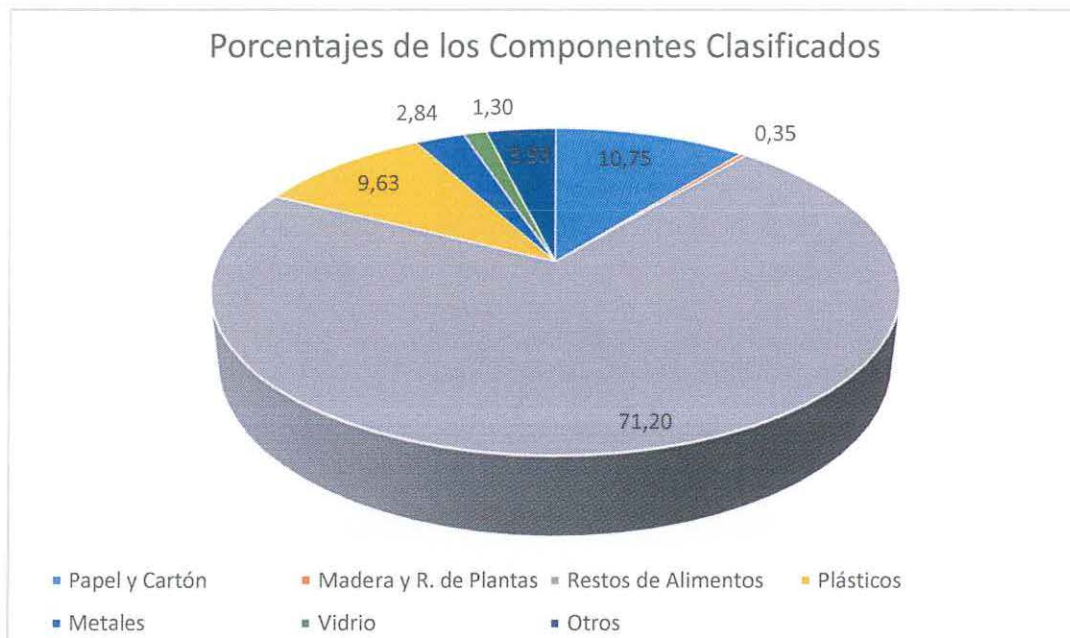


Fig. 12. Porcentajes de componentes clasificados.  
Fuente: Autoría Propia

A partir de la caracterización física de los residuos sólidos en el cantón Arenillas, se obtuvieron varios resultados, uno de ellos son los porcentajes de cada uno de los componentes tales como se muestran en la figura 12, destacando con gran mayoría los restos de alimentos con un 71,20% siendo el componente con mayor presencia entre los residuos generados en el cantón, aunque dichos datos tendrán similitud con los datos obtenidos por Borja & Tigua (2015) del cual la metodología aplicada en su estudio es similar a la del presente documento, del cual determinaron un porcentaje del 81,1% de residuos sólidos orgánicos tal como se muestra en la figura 13, aunque esta similitud podría estar relacionada a que las dos zonas de estudio son zonas costeras y mantienen estratos económicos semejantes, aun cuando la cantidad de habitantes es mucho mayor en la Isla trinitaria a la del cantón Arenillas, puesto que la cantidad de habitantes no tendría mayor

incidencia a los porcentajes de componentes generados en cada una de las zonas de estudios, ya que estos porcentajes siguen una tendencia.

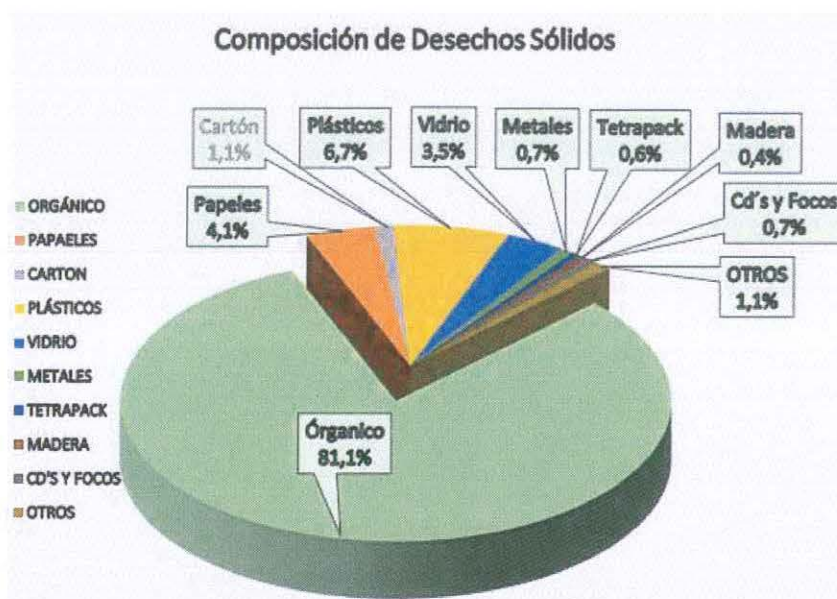


Fig. 13. Porcentajes de componentes clasificados en la Isla Trinitaria, Guayaquil.  
Fuente: (Borja & Tigua, 2015).

Por otro lado lo que sí genera un cambio en los porcentajes de los residuos sólidos es la cultura que se mantiene en la zona, esto podría cambiar quizás no tanto de una ciudad a otra del mismo país, pero sí en una ciudad de un país totalmente distinto, tales como los resultados generados por Mejía & Patarón (2014), los cuales obtuvieron un porcentaje del 18,4% de residuos sólidos orgánicos tal como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Porcentajes de componentes clasificados en el cantón Tisaleo, Tungurahua.

Tipo de residuo	Peso (kg)	Porcentaje en peso (%)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Orgánico	348,6	18,4	12,39
Plástico	458,6	24,2	16,29
Cuero	365,9	19,3	12,99
Cartón	284,9	15	10,10
Textil	265,4	14	9,43
Papel	156,9	8,3	5,59
Vidrio	12	0,6	0,40
Metal	2,2	0,1	0,07
<b>TOTAL</b>	<b>1894,5</b>	<b>100</b>	

Fuente: (Mejía & Patarón, 2014)

#### 4.1.1 Porcentaje de residuos Orgánicos e Inorgánicos generados.

Mediante la caracterización física, además de obtener los porcentajes de cada uno de los componentes, permitió identificar los porcentajes de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, tal como se observa a continuación en la figura 16, dando como resultado un 71,89% de residuos sólidos orgánicos y un 28,11% de residuos sólidos inorgánicos, lo cual podría permitir que exista la posibilidad de que se realice compostaje en el relleno sanitario por el alto porcentaje de residuos orgánicos, aunque si bien es cierto un gran reto en sí, sería la clasificación desde los hogares de los residuos para facilitar el tratamiento dentro del relleno sanitario.

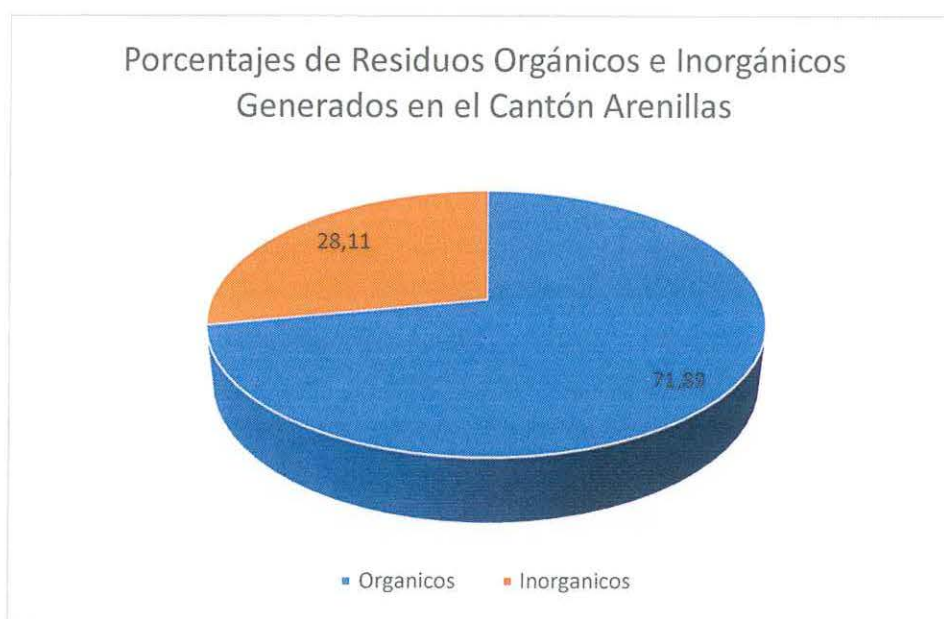


Fig. 14. Porcentajes de residuos orgánicos e inorgánicos.  
Fuente: Autoría propia.

El contar con un 71,89% de residuos orgánicos en el cantón Arenillas es un indicador para realizar una implementación de una planta de compostaje lo cual tendría como beneficio la reducción de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario con ello aumentar la vida útil del mismo, por otro lado, el actual botadero de residuos sólidos cuenta con personas que realizan actividades de reciclaje clandestinamente, por lo cual podrían contratarles y ejercer una actividad tecnificada en una posible planta de compostaje.

Esta generación de residuos orgánicos e inorgánicos mantiene semejanza a los porcentajes obtenidos en la región costa del Ecuador obtenidos por él (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2014), realizado dividiendo al Ecuador en regiones como se puede observar en la figura 17, lo cual muestra un 69,3% de residuos orgánicos y un 30,7%

de residuos sólidos inorgánicos esto tendría lógica ya que Arenillas es un cantón de la región costa por lo cual debería mantener ese sesgo que tiene la región completa hacia los residuos orgánicos, por otro lado los promedios obtenidos en las regiones sierra, oriente e Insular son muy distintos a los de la región costa, puesto que en la región Sierra y Oriente mantienen valores casi iguales entre los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos esto se podría dar a que la cultura de la población de la sierra y oriente son muy distinta a la cultura de la población de la región costa.

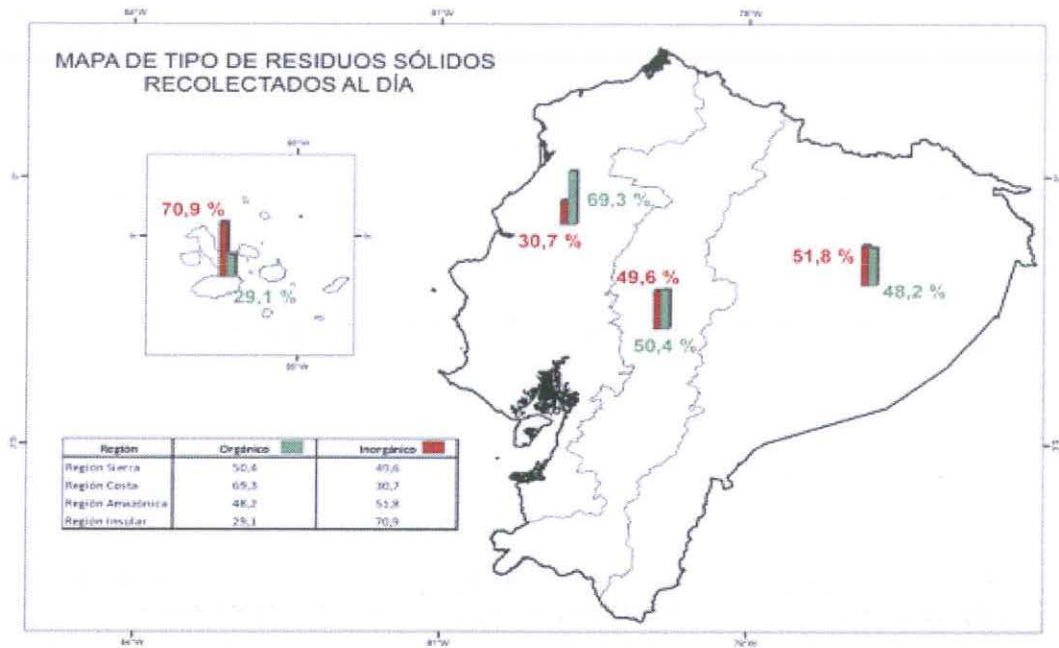


Fig. 15. Caracterización de residuos orgánicos e inorgánicos por región en el Ecuador.  
Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2014).

En cambio los porcentajes generados en la región insular es completamente distinta a la de las demás regiones esto podría darse a que en esta región están limitados a el consumo de varios productos envasados que son trasladados desde el Ecuador en sí ya que la región insular está conformados por islas que se encuentran a 1369 km, y además existen normativas muy estrictas sobre consumos y disposición final de varios productos en las islas de la región insular esto se debe a que son un lugar muy turístico, y precisamente por la gran cantidad de turistas es que es necesaria la creación de normativas que garanticen el cuidado ambiental de dichas islas.

#### 4.1.2 Densidad de los residuos.

La densidad de los residuos sólidos es un valor muy importante, puesto que gracias a este valor se puede estimar el volumen que ocupan por una masa de residuos, se puede saber a qué valor se apunta al momento de realizar la compactación de los residuos sólidos en el relleno sanitario.

Tabla 4. Densidad de los residuos sólidos en el cantón Arenillas.

FECHA	Peso del Tanque Vacío (Kg)	Peso del Tanque con Residuos (Kg)	Peso de Residuos (Kg)	Volumen del Tanque (m <sup>3</sup> )	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
24_09_2019	12,2	40,95	28,75	0,2219	129,56
25_09_2019	12,2	47,25	35,05	0,2219	157,95
26_09_2019	12,2	47,6	35,4	0,2219	159,53
27_09_2019	12,2	49,15	36,95	0,2219	166,52
28_09_2019	12,2	40,85	28,65	0,2219	129,11
29_09_2019	12,2	44,23	32,03	0,2219	144,34
30_09_2019	12,2	41,36	29,16	0,2219	131,41
Promedio					<b>145,49</b>

Fuente: Autoría propia

En la caracterización realizada en el cantón Arenillas se obtuvo distintas densidades diarias las cuales fueron promediadas tal como se muestra en la Tabla 4, la cual muestra un promedio de 145,49 kg/m<sup>3</sup> de densidad, valor distante al que establece el (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002), el cual determina un promedio de 200 kg/m<sup>3</sup> de densidad para los residuos sueltos en recipientes, por lo cual a primera vista se deduce que se debe aplicar mejor compactación en los residuos a disponer en el relleno sanitario del cantón Arenillas.

Por otro lado si bien es cierto los residuos sólidos pueden cambiar mucho su composición física de un lugar a otro es decir dependiendo de la zona de estudio, dado que en el estudio realizado por Solano & Ruesta (2017), en el distrito de Catacaos, Perú, la densidad determinada allí es de 194,62 kg/m<sup>3</sup> de densidad tal como se muestra a continuación en la Tabla 5, valor muy semejante al propuesto por el (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002), uno de los factores que inciden mayormente es el tipo de cultura que existe en la zona de estudio.

Tabla 5. Densidad de los residuos sólidos municipales del Distrito Catacaos

Densidad	Día 1 (kg/m <sup>3</sup> )	Día 2 (kg/m <sup>3</sup> )	Día 3 (kg/m <sup>3</sup> )	Día 4 (kg/m <sup>3</sup> )	Día 5 (kg/m <sup>3</sup> )	Día 6 (kg/m <sup>3</sup> )	Día 7 (kg/m <sup>3</sup> )	Total (kg/m <sup>3</sup> )
Kg/m <sup>3</sup>	168,18	195,94	168,16	222,97	158,48	178,17	269,48	<b>194,62</b>

Fuente: (Solano & Ruesta, 2017)

#### 4.2 Determinación de la Generación Per Cápita

El objetivo principal de la caracterización física de los residuos sólidos urbanos con un total de 101 muestras en el cantón Arenillas, es la obtención de la generación per cápita valor estrictamente necesario en la gestión integral de los residuos sólidos, como resultado del presente estudio se obtuvo una generación de 0,601 kg/hab/día, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Generación per cápita de residuos sólidos urbanos.

Generación Per Cápita en el Cantón Arenillas	
GPC	0,601 Kg/hab/día

Fuente: Autoría propia.

El resultado obtenido de la generación per cápita de residuos sólidos en el cantón Arenillas, resulta está por encima de la media de la generación per cápita del Ecuador la cual es de 0,58 kg/hab/día, según los datos obtenidos por (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016), sin embargo este valor es analizado con respecto a todo el país, aunque si se realiza una comparación tomando en cuenta el tamaño de la población de estudio, puesto que el (BID, AIDIS, & OPS, 2010) realizó un estudio determinando que aquellos municipios del Ecuador que cuenten con una población entre los 15.001 y 50.000, cuentan con una generación per cápita del 0,66 kg/hab/día, el cual está por encima de la generación determinada en el cantón Arenillas, lo cual se podría decir que se encuentra dentro del límite, aunque claro dicha variación puede estar relacionada con: diferencias del desarrollo económico, nivel de industrialización cantonal, hábitos y costumbres, y el clima de la zona.

A partir de la generación per cápita, el GADM de Arenillas realizo un estudio para la determinación de la tasa por el servicio de recolección, aseo, disposición final y educación ambiental, determinando los valores por habitante/mes, obteniendo una tarifa de \$2,58

USD, siendo este el valor a cobrar a cada habitante del cantón por el manejo integral de residuos sólidos realizado por el cantón, si bien es cierto es un costo bastante alto, en la actualidad están realizando estudios para proponer un subsidio a los sectores de estratos económicos bajos.

### **4.3 Diseño del Relleno Sanitario con una vida útil de 20 años**

Según Hidalgo (2012), es importante realizar una proyección entre 20-30 años, lo cual concuerda con la proyección que se propone para el presente trabajo, puesto que Collazos (2013), mantiene que un relleno sanitario sea auto sustentable debería tener una vida útil mínima de 20 años, puesto que de no ser así se estaría realizando una inversión económica en una obra que no lograra mantener la capacidad de carga de un sector o ciudad, tal como lo indican autores que mantienen una experiencia muy extensa en la construcción y manejo de relleno sanitarios.

Aunque el tiempo de vida útil de un relleno sanitario podría variar una vez realizado el diseño, puesto que según (Hernández-Barrios, Wehenpohl-Günther, & Sánchez-Gómez, 2003) La solución para ampliar la vida útil de los sitios de disposición final es controlar que solo ingresen aquellos residuos que sean biodegradables. Sin embargo, la mejor opción es aprovechar los residuos biodegradables a través del compostaje así como reutilizar y reciclar los residuos inorgánicos como son el cartón, papel, vidrio, plástico y metales, depositando únicamente en los sitios de disposición final aquellos residuos que son considerados como no reciclables.

#### **4.3.1 Área necesaria la construcción del Relleno Sanitario.**

El dimensionamiento del relleno sanitario fue realizado tomando en cuenta dos posibles escenarios, antes mencionados, sobre los dos posibles tipos de compactación que se llevaría en el relleno sanitario de  $0,5 \text{ tm/m}^3$  y  $0,8 \text{ tm/m}^3$ , los cuales inciden directamente con el área necesaria para la construcción de un relleno sanitario.

Tabla 7. Determinación del área necesaria del relleno con una compactación del 0,5 tm/m<sup>3</sup>.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Año	Población	Porcentaje de Cobertura (%)	Población con Servicio	GPC (kg/ha b/día)	Producción (Tm/día)	Residuos (Mercados y Barrido) (Tm)	Total de Residuos Sólidos (Tm)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (0,5 tm/m <sup>3</sup> densidad)	Volumen Anual (m <sup>3</sup> )	Asentamiento	% Material de Cobertura diario	% Material de Cobertura anual	Acumulado	Volumen Total (m <sup>3</sup> )	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )	Área del Relleno Sanitario (Ha)	20% de aumento para obras civiles	100% para zonas de amortiguamiento.
2019	32057	100%	32057	0,601	19,3	2,9	22,2	44,3	16174,0	13747,9	7,0	2568,4	2568,4	16316,3	16316,3	6,48	7,77	15,54
2020	32695	100%	32695	0,605	19,8	3,0	22,8	45,5	16611,6	14119,8	7,2	2637,9	5206,3	16757,7	33074,0			
2021	33347	100%	33347	0,609	20,3	3,0	23,4	46,7	17061,0	14501,8	7,4	2709,3	7915,6	17211,1	50285,2			
2022	34011	100%	34011	0,614	20,9	3,1	24,0	48,0	17522,6	14894,2	7,6	2782,6	10698,2	17676,8	67961,9			
2023	34688	100%	34688	0,618	21,4	3,2	24,7	49,3	17996,6	15297,2	7,8	2857,9	13556,1	18155,0	86117,0			
2024	35379	100%	35379	0,622	22,0	3,3	25,3	50,6	18483,6	15711,0	8,0	2935,2	16491,3	18646,2	104763,2			
2025	36083	100%	36083	0,627	22,6	3,4	26,0	52,0	18983,6	16136,1	8,3	3014,6	19505,9	19150,7	123913,8			
2026	36802	100%	36802	0,631	23,2	3,5	26,7	53,4	19497,2	16572,6	8,5	3096,2	22602,0	19668,8	143582,7			
2027	37535	100%	37535	0,635	23,9	3,6	27,4	54,9	20024,7	17021,0	8,7	3179,9	25782,0	20200,9	163783,6			
2028	38283	100%	38283	0,640	24,5	3,7	28,2	56,3	20566,5	17481,5	8,9	3266,0	29047,9	20747,5	184531,1			
2029	39045	100%	39045	0,644	25,2	3,8	28,9	57,9	21122,9	17954,5	9,2	3354,3	32402,2	21308,8	205839,9			
2030	39823	100%	39823	0,649	25,8	3,9	29,7	59,4	21694,4	18440,3	9,4	3445,1	35847,3	21885,3	227725,2			
2031	40616	100%	40616	0,653	26,5	4,0	30,5	61,0	22281,4	18939,2	9,7	3538,3	39385,6	22477,4	250202,7			
2032	41425	100%	41425	0,658	27,3	4,1	31,3	62,7	22884,2	19451,6	10,0	3634,0	43019,6	23085,6	273288,2			
2033	42250	100%	42250	0,663	28,0	4,2	32,2	64,4	23503,3	19977,8	10,2	3732,3	46751,9	23710,2	296998,4			
2034	43091	100%	43091	0,667	28,8	4,3	33,1	66,1	24139,2	20518,3	10,5	3833,3	50585,2	24351,6	321350,0			
2035	43949	100%	43949	0,672	29,5	4,4	34,0	67,9	24792,3	21073,5	10,8	3937,0	54522,3	25010,5	346360,5			
2036	44825	100%	44825	0,677	30,3	4,5	34,9	69,8	25463,1	21643,6	11,1	4043,5	58565,8	25687,1	372047,6			
2037	45717	100%	45717	0,681	31,2	4,7	35,8	71,6	26152,0	22229,2	11,4	4152,9	62718,7	26382,1	398429,7			
2038	46628	100%	46628	0,686	32,0	4,8	36,8	73,6	26859,5	22830,6	11,7	4265,3	66984,0	27095,9	425525,6			
2039	47556	100%	47556	0,691	32,9	4,9	37,8	75,6	27586,2	23448,3	12,0	4380,7	71364,7	27829,0	453354,5			

Fuente: Autoría propia.

El cantón Arenillas en la actualidad cuenta con una producción de 666 tm/mes, de los cuales el 71,89% son orgánicos y el 28,11% inorgánicos, por lo que la producción diaria de residuos se divide en 478,79 tm de orgánicos y 187,21 tm de inorgánicos. Por lo que la implementación de una planta de compostaje sería una alternativa ideal para aumentar la vida útil del relleno sanitario, puesto que la cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario se reduciría un 71,89%.

Una vez aplicada las fórmulas necesarias para la obtención del área necesaria, para la construcción del relleno sanitario, se determinó que es necesario contar con un área de 15,54 hectáreas de terreno tal como se observa en la Tabla 7 en la columna 19, se debe tomar en cuenta que se han tomado en cuenta varias consideraciones que considera necesario el autor Collazos, puesto que en este escenario se considera la adquisición de una maquinaria tipo gallineta con la cual se estima una compactación del 0,5 tm/m<sup>3</sup> lo cual es relativamente buena.

En dicho dimensionamiento se está considerando un área no solo para la implementación del relleno sanitario propiamente dicho, sino también un aumento del 20% del área del relleno sanitario para la implementación de infraestructuras como básculas, casetas de guardias, vías de acceso, etc. y de igual forma se consideró un aumento del 100% del área considerada en la Tabla 7 columna 19, esto con la finalidad de lograr mitigar posibles impactos ambientales generados por el relleno sanitario mediante zonas de amortiguamiento y evitar posibles conflictos con posibles asentamientos humanos y con ello reducir problemas sociales.

Las zonas de amortiguamiento deben ser forestadas con flora endémica a la zona, y además de flora que cuenten con un dosel relativamente alto y un follaje con el cual se pueda evitar la salida de ruidos y polvos que se generen dentro del relleno sanitario (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA, 2010).

Tabla 8. Determinación del área necesaria del relleno con una compactación de 0,8 tm/m<sup>3</sup>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Año	Población	Porcentaje de Cobertura (%)	Población con Servicio	GPC (kg/h ab/día)	Producción (Tm/día)	Residuos (Mercados y Barrido) (Tm)	Total de Residuos Sólidos (Tm)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (0,8 tm/m <sup>3</sup> densidad)	Volumen Anual (m <sup>3</sup> )	Asestamiento	% Material de Cobertura diario	% Material de Cobertura anual	Acumulado	Volumen Total (m <sup>3</sup> )	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )	Área del Relleno Sanitario (Ha)	Se considera un 20% de aumento de obras civiles	Se suma el 100% para zonas de amortiguamiento.
2019	32057	100%	32057	0,601	19,3	2,9	22,2	27,7	10108,7	8592,4	4,3	1584,0	1584,0	10176,5	10176,5	4,04	4,85	9,69
2020	32695	100%	32695	0,605	19,8	3,0	22,8	28,4	10382,2	8824,9	4,5	1626,9	3210,9	10451,8	20628,2			
2021	33347	100%	33347	0,609	20,3	3,0	23,4	29,2	10663,1	9063,6	4,6	1670,9	4881,8	10734,6	31362,8			
2022	34011	100%	34011	0,614	20,9	3,1	24,0	30,0	10951,6	9308,9	4,7	1716,1	6598,0	11025,0	42387,8			
2023	34688	100%	34688	0,618	21,4	3,2	24,7	30,8	11247,9	9560,7	4,8	1762,5	8360,5	11323,3	53711,1			
2024	35379	100%	35379	0,622	22,0	3,3	25,3	31,6	11552,2	9819,4	5,0	1810,2	10170,7	11629,6	65340,7			
2025	36083	100%	36083	0,627	22,6	3,4	26,0	32,5	11864,8	10085,1	5,1	1859,2	12029,9	11944,3	77284,9			
2026	36802	100%	36802	0,631	23,2	3,5	26,7	33,4	12185,8	10357,9	5,2	1909,5	13939,5	12267,4	89552,4			
2027	37535	100%	37535	0,635	23,9	3,6	27,4	34,3	12515,5	10638,1	5,4	1961,2	15900,6	12599,3	102151,7			
2028	38283	100%	38283	0,640	24,5	3,7	28,2	35,2	12854,1	10926,0	5,5	2014,2	17914,9	12940,2	115091,8			
2029	39045	100%	39045	0,644	25,2	3,8	28,9	36,2	13201,8	11221,6	5,7	2068,7	19983,6	13290,3	128382,1			
2030	39823	100%	39823	0,649	25,8	3,9	29,7	37,1	13559,0	11525,2	5,8	2124,7	22108,3	13649,9	142032,0			
2031	40616	100%	40616	0,653	26,5	4,0	30,5	38,2	13925,9	11837,0	6,0	2182,2	24290,5	14019,2	156051,1			
2032	41425	100%	41425	0,658	27,3	4,1	31,3	39,2	14302,6	12157,2	6,1	2241,2	26531,7	14398,4	170449,6			
2033	42250	100%	42250	0,663	28,0	4,2	32,2	40,2	14689,6	12486,1	6,3	2301,9	28833,5	14788,0	185237,6			
2034	43091	100%	43091	0,667	28,8	4,3	33,1	41,3	15087,0	12824,0	6,5	2364,1	31197,7	15188,1	200425,7			
2035	43949	100%	43949	0,672	29,5	4,4	34,0	42,5	15495,2	13170,9	6,7	2428,1	33625,8	15599,0	216024,7			
2036	44825	100%	44825	0,677	30,3	4,5	34,9	43,6	15914,4	13527,2	6,8	2493,8	36119,6	16021,0	232045,7			
2037	45717	100%	45717	0,681	31,2	4,7	35,8	44,8	16345,0	13893,2	7,0	2561,3	38680,8	16454,5	248500,2			
2038	46628	100%	46628	0,686	32,0	4,8	36,8	46,0	16787,2	14269,1	7,2	2630,6	41311,4	16899,7	265399,9			
2039	47556	100%	47556	0,691	32,9	4,9	37,8	47,2	17241,4	14655,2	7,4	2701,7	44013,1	17356,9	282756,8			

Fuente: Autoría propia.

El segundo escenario que se consideró en el presente estudio es, suponiendo que realizan la compra de un compactado tipo rodillo con el cual se logra alcanzar una compactación de hasta  $0,8 \text{ tm/m}^3$ , lo cual influye directamente en el cálculo del área necesaria para el presente relleno sanitario, tal como se observa en la Tabla 8 columna 19, dando como resultado un área necesaria de 9,69 hectáreas, lo cual representa una disminución considerable a la compactación obtenida por el tractor Caterpillar 446B.

La reducción notable por la mejora en la compactación pasando de un  $0,5 \text{ tm/m}^3$  a  $0,8 \text{ tm/m}^3$  es de 5,85 hectáreas, lo cual es una cantidad muy importante de tomar en cuenta puesto que por diferentes problemas ya sea falta de presupuesto, inexistencia de terrenos óptimos, incluso los problemas sociales podrían ser una de las causas principales por el cual es necesario enfocarse directamente en la mejora de la compactación del relleno sanitario.

En la actualidad en GADM de Arenillas cuenta con un estudio para un sitio óptimo para la construcción de un relleno sanitario, el cual es de aproximadamente 11 hectáreas, lo cual encajaría con el área necesaria para el presente dimensionamiento de un relleno sanitario, aunque el área está limitada a la proyección de 20 años ya determinada.

#### 4.3.2 Dimensionamiento de la Celda diaria.

Tabla 9. Características de la celda diaria con una compactación del  $0,5 \text{ tm/m}^3$ .

Datos			
1	m	Ángulo de inclinación (°)	33,69
2	e	Material de Cobertura (m)	0,15
3	hb	Altura de residuos (m)	1,2
4	hc	Altura total (m)	1,35
5	Ft	Altura del cubeto	7
6	R	Residuos Recolectados (tm/día)	37,8
7	d	Densidad de los R. compactados ( $\text{tm/m}^3$ )	0,5
8	%MC	Porcentaje de Material de Cobertura (%)	15,9

Fuente: Autoría propia.

Tabla 10. Características de la celda diaria con una compactación del  $0,8 \text{ tm/m}^3$ .

Datos			
1	m	Ángulo de inclinación (°)	33,69
2	e	Material de Cobertura (m)	0,15
3	hb	Altura de residuos (m)	1,5
4	hc	Altura de total (m)	1,65
5	Ft	Altura del Cubeto	6

6	R	Residuos Recolectados (tm/día)	37,8
7	d	Densidad de los R. compactados (tm/m <sup>3</sup> )	0,8
8	%MC	Porcentaje de Material de Cobertura (%)	15,7

Fuente: Autoría propia.

La celda diría del relleno sanitario, es uno de los pilares fundamentales de la construcción de un relleno sanitario en el cual quedan confinados por su totalidad los residuos a disponer en el relleno sanitario, por lo cual se realizó el cálculo para determinar las dimensiones de la celda.

En el presente estudio se tomó dos posibles escenarios ya antes mencionados, aunque se debe recalcar que varios valores utilizados en el cálculo de la celda son el mismo tales como el ángulo de inclinación, mismo que se tomó de los propuesto por (Röben, 2002), el cual propone un ángulo de 33,69°, de igual forma la cantidad de residuos recolectados es de 37,8 tm/día, la cual será utilizada en los dos escenarios.

En la tabla 9, se pueden observar las características de la celda con una compactación de 0,5 tm/m<sup>3</sup>, con una altura de 1,35 m, en cambio con una compactación de 0,8 tm/m<sup>3</sup> en la tabla 10, se observa una altura de 1,65 m, las alturas varían por la compactación por el nivel de compactación, puesto que a mayor compactación hay mayor estabilidad de los residuos, por lo cual con una compactación de 0,8 tm/m<sup>3</sup> existe un aumento de 0,30 m con respecto a una compactación de 0,5 tm/m<sup>3</sup>.

El material de cobertura a ser aplicado es de 0.15m tanto para la tabla 9 como para la tabla 10, esto se consideró puesto que por experiencias por parte de Collazos (2013), es recomendable dicha capa de material de cobertura y a su vez se obtuvo mediante ecuación los porcentajes de material de cobertura, tal como se observa en la tabla 9 el porcentaje es de 15,9% y en la tabla 10 es de 15,7%, por lo cual la capa de material de cobertura en los dos escenarios son iguales.

#### 4.3.3 Dimensionamiento del Tanque de Lixiviados.

Tabla 11. Características del tanque de lixiviados.

1	Población	47556
2	Generación per Cápita (kg/hab/día)	0,601
3	Producción de Residuos Sólidos (kg)	28581,2
4	Tipo de Relleno	Semi mecanizado
5	Compostaje	No
6	Porcentajes de Residuos Compostados (%)	0

7	Cantidad de Residuos Compostados (kg)	0
8	Cantidad de Residuos Sólidos a disponer en el Relleno (kg)	28581,2
9	Vida útil del relleno (años)	20
10	Densidad de los residuos (tm/m <sup>3</sup> )	0,8
11	Volumen de los residuos (m <sup>3</sup> )	35726,4
12	Área de residuos (m <sup>2</sup> )	5103,8
13	Precipitación anual (mm)	1533
14	Porcentaje de escorrentía (%)	60
15	precipitación anual (m)	1,533
16	Metros cúbicos de agua (m <sup>3</sup> )	7824,1
17	Cantidad de lixiviado (m <sup>3</sup> /día)	4694,5
18	Área necesaria para el tanque (m <sup>2</sup> )	670,6
19	Área necesaria (hectáreas)	0,067
20	Área necesaria con una retención de 15 días (hectáreas)	1,01

Fuente: Autoría propia.

Para realizar el dimensionamiento del tanque para la recolección de lixiviados generados en el relleno sanitario, fue necesario establecer algunos parámetros necesarios los cuales podrían alterar considerablemente el diseño del tanque, como lo es el compostaje, ya que en el caso de existir planta de compostaje en el relleno sanitario podría reducir considerablemente la generación de lixiviados.

Una vez aplicadas las fórmulas correspondientes se obtuvo el área necesaria tal como se observa en la tabla 11 fila 19, cuya área es de 0,067 hectáreas por día, es decir que es necesario contar con dicha área para poder almacenar el lixiviado generado en un día.

En la tabla 11 se observa en la fila 20, un área obtenida de 1,01 hectáreas, dicho valor es manteniendo un tiempo de retención de 15 días, puesto que con ello se conseguirá reducir la contratación del camión encargados de la recolección de los lixiviados, a dos veces por mes lo cual representaría una reducción en costos de operación.

La recolección de los lixiviados podrían variar, puesto que la generación de lixiviados está estrechamente relacionada con la meteorología e hidrología de la zona donde se encuentre el relleno sanitario Consejería del Medio Ambiente (2013). Aunque esto podría controlarse colocando un material de cobertura de muy buena calidad con la capacidad de reducir en un gran porcentaje la infiltración de las aguas lluvias.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

- Con respecto a los porcentajes, los residuos sólidos orgánicos conforman el 71,89% del total de residuos recolectados, lo cual sería el fundamento ideal para la implementación de una planta de compostaje.
- En el cantón Arenillas se puede adoptar una temática de reciclaje y reutilización de desechos, puesto que el 9,63% de los residuos son plásticos y el 10,75% papel y cartón generando así una fuente alternativa de trabajo.
- La generación per cápita promedio de residuos sólidos en el cantón Arenillas es de 0,601 kg/hab/día, con el cual se dio inicio al estudio de un plan tarifario para la determinación de la tasa por el servicio de recolección de residuos.
- Se determinó que adquiriendo un tractor bulldozer D5 del cual se obtiene una compactación de 0,8 tm/m<sup>3</sup>, se obtiene un mejor resultado siendo necesario 9,69 hectáreas para la construcción del relleno sanitario, incluyendo zonas de amortiguamiento.
- El tanque de lixiviados fue planteado con un dimensionamiento necesario para el almacenamiento de los líquidos producidos en el relleno sanitario durante 15 días, puesto que así se realizaría un único gasto en construcción del tanque y así no sería necesario la contratación diaria del personal encargado del retiro de lixiviados, lo cual se lo realizaría en este caso cada 15 días.
- La vida útil del relleno sanitario está proyectado para 20 años, la cual se puede prolongar, aplicando métodos de reciclaje y compostaje, y así disponer en el relleno aquellos residuos que no pueden ser reciclados o rehusados.

## CAPITULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

- Implementar una planta de compostaje como alternativa para la utilización de los residuos orgánicos, que permita la reducción de residuos s disponer en el relleno sanitario y con ello la mitigación de gases y reducción de ña generación de lixiviados producidos por la descomposición de estos residuos en el relleno sanitario.
- En conjunto con la planta de compostaje, seria óptimo la adquisición de una máquina trituradora de plástico puesto que el 9,63% de los residuos recolectados son plásticos.
- Creación de una Ordenanza que regule el manejo integral de residuos sólidos e implementar sanciones al mal manejo de los mismo.
- Capacitación al personal obrero del cantón, puesto que es la primera vez que se tecnifica la disposición final de los residuos sólidos.
- Colocación de geomembrana de buena calidad, para así evitar infiltraciones de lixiviados en las zonas de almacenamiento de los residuos sólidos.
- Colocar material de cobertura de buena calidad para reducir la infiltración de agua lluvia y así reducir la generación de lixiviados.
- Implementar metodologías adecuadas para la estabilización de los lixiviados, puesto que se tendría un tiempo de retención de 15 días de los lixiviados y así evitar emanaciones de olores.
- Se recomienda realizar una evaluación de impactos ambientales en el relleno sanitario para que se obtenga un diagnóstico general sobre el manejo del relleno sanitario.
- Realizar un Plan de Manejo Ambiental e implementarlo con la finalidad de mitigar los posibles impactos ambientales generados en el relleno sanitario.
- Se recomienda implementar programas de reciclaje e incentivar por parte del GAD cantonal de Arenillas en proyectos de reciclaje en instituciones como son escuelas y colegios puesto que así podrían en varios años tener una población con una visión más amigable con el Ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristizabal, C., & SÁCHICA, M. (2001). El Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Domiciliarios no Tóxicos en Bogotá D.C. 5.
- Ávila, S. L., Nieto, M. S., Jiménez, D. C., & Osorio, J. C. (2011). Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de la Dinámica de Sistemas .
- Baptista, J., Concepción, D., Barrios, G., & González, E. (2014). Gestión de los residuos sólidos y sus impactos económicos, sociales y medio ambientales. *Revista Centro Azucar*.
- Bejarano, C. (2005). Modelos de simulación para el estudio de crecimiento poblacional exponencial. 69-81.
- BID, AIDIS, & OPS. (2010). Informe de la Evaluación Regional del manejo de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe.
- Borja, R., & Tigua, J. (2015). Análisis de desechos sólidos domiciliarios generados en el sector Isla Trinitaria de la Ciudad Santiago de Guayaquil. 121-122.
- Caicedo Carvajal, V. H., & Delgado Cadena, L. M. (2018). DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PARA EL CANTÓN NARANJITO. 58.
- Cantanhede, A., Monge, G., Sandoval, L., & Caycho, C. (2005). Procedimientos Estadísticos para los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales.
- Collazos, H. (2013). *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Consejería de Medio Ambiente . (2013). PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA N 1 DE VERTIDO DEL VERTEDERO DE RESIDUOS NO PELIGROSOS DEL COMPLEJO AMBIENTAL DE ZONZAMAS (LANZAROTE).
- ECO Consultorías e Ingeniería SAC. (2013). Estudio de Caracterización Física de residuos sólidos Municipales en la Ciudad de Piura. 9.
- Espinoza, P. T., Arce, E. M., Daza, D., Faure, M. S., & Terraza, H. (2010). Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010. 11.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Arenillas. (2014). *Municipio de Arenillas*. Obtenido de <http://www.arenillas.gob.ec/website/index.php>
- Hernández-Barrios, C., Wehenpohl-Günther, & Sánchez-Gómez, J. (2003). Guía para el desarrollo, presentación y evaluación de proyectos ejecutivos para rellenos sanitarios. 172.
- Hidalgo, E. (2012). La disposición final de los desechos sólidos y su incidencia en el buen vivir de los habitantes del cantón Archidona ubicado en la provincia de Napo durante el año 2012.

- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de Ecuador en cifras: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2014). Estadísticas de información ambiental económica en Gobiernos Autonomos Descentralizados Municipales.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales .
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales. 60.
- Mejía, P., & Patarón, I. (2014). Propuesta de un plan integral para el manejo de los residuos sólidos del Cantón Tisaleo.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA. (2010). Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios.
- Montalvo, M. (2017). Análisis del manejo integral de desechos sólidos Municipales en poblaciones costeras inundables pequeñas. 7.
- Mora, J. E. (2017). Auditoria Ambiental por la Operación de la Disposición Final de Desechos Solidos en la Ciudad de Milagro. 17.
- Programa Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIDS). (2017).
- Ramos Sanchez, J. (2016). Evaluación del uso de biogas en rellenos sanitarios: El caso de Mallasa. *DELOS - Desarrollo Local Sostenible*.
- Röben, E. (2002). *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales* . Loja, Ecuador.
- Runfolo, J., & Gallardo, A. (2009). Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas. 7.
- Segarra, F. (2013). Plan de Ordenación Territorial del Cantón Arenillas. 27.
- Segarra, F. (2013). PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN ARENILLAS. 27.
- Solano, J., & Ruesta, A. (2017). Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de catacaos.
- Tchobanoglous, G., Theissen, H., & Rolf, E. (1982). Desechos Sólidos Principios de Ingeniería y Administración. 5.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. (29 de Marzo de 2017). Decreto Ejecutivo 3516. Quito, Ecuador.
- Valles, A. M. (2013). Tratamiento Físicoquímico y Biológico de lixiviado del Relleno Sanitario de la Ciudad de Chihuahua. 9.

## ANEXOS

### Anexo 1. Figuras

Pesaje de los residuos sólidos



Actual botadero de residuos solidos del cantón Arenillas



Recolección de residuos solidos



Residuos biopeligrosos recolectados



Separación de residuos sólidos



## Anexo 2. Tablas de registro de pesos

Hoja de registro de pesos del primer día de caracterización (1)



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

### CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN EL CANTÓN ARENILLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO

Arenillas, 24 de septiembre de 2019

CODIGO	CIUDADELA	PESO R. ORGANICOS (Kg)	PESO R. INORGANICOS (Kg)	PESO TOTAL DE RESIDUOS (Kg)
1-V	Cdla. Progreso 2	1,10	0,30	1,40
2-V	Cdla. Progreso 2	6,1	0,18	6,28
3-V	Cdla. 25 de Diciembre	1	0,17	1,17
4-V	Cdla. 25 de Diciembre	0	0	0
5-V	Cdla. 25 de Diciembre	1,50	0,13	1,63
6-V	Cdla. Las Brisas	2,92	0,24	3,16
7-V	Cdla. Las Brisas	0,78	1,36	2,14
8-V	Cdla. Progreso 1	1,18	0	1,18
9-V	Cdla. Las Brisas	10,55	0,26	10,81
10-V	Cdla. Las Brisas	3,24	0,50	3,74
11-V	Cdla. Franklin Jiménez	0	0,67	0,67
12-V	Cdla. Franklin Jiménez	0,59	0,16	0,75
13-V	Cdla. Franklin Jiménez	1,12	0,22	1,34
14-V	Colinas de Santa Fe	1,16	0,43	1,59
15-V	Colinas de Santa Fe	3,91	0,10	4,01
16-V	Cdla. 9 de Octubre	2,57	0,62	3,19
17-V	Cdla. Miraflores	0,78	0,09	0,87
18-V	Cdla. 9 de Octubre	0,64	0,13	0,77
19-V	Cdla. 9 de Octubre	2,36	0,25	2,61
20-V	Cdla. 9 de Octubre	3,21	0,37	3,58
21-V	Cdla. 1 de Noviembre	0	0,14	0,14
22-V	Cdla. 1 de Noviembre	7,61	1,26	8,87
23-V	Cdla. San Jose	3,35	1,35	4,7
24-V	Cdla. San Jose	1,68	0,42	2,1
25-V	Cdla. Los Ceibos	2,11	0,86	2,97

Hoja de registro de pesos del primer día de caracterización (2)



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN  
EL CANTÓN ARENILLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO**

Arenillas, 24 de septiembre de 2019

26-V	Cdla. San Jose	2,13	1,46	3,59
27-V	Cdla. Los Ceibos	1,68	0,56	2,24
28-V	Cdla. Los Ceibos	1,35	0	1,35
29-V	Cdla. Los Ceibos	1,49	0,10	1,59
30-V	Loma Quito	7,51	2,52	10,03
31-V	Loma Quito	1,88	0,85	2,73
32-V	Loma Quito	4,44	0	4,44
33-V	Loma Quito	0,45	0,17	0,62
34-V	Barrio San Vicente	1,47	0,16	1,63
35-V	Barrio San Vicente	0,96	0,29	1,25
36-V	Cdla. Libertad	5,55	1,80	7,35
37-V	Cdla. Los Alamos	3,88	2,93	6,81
38-V	Cdla. Las Américas	1,87	0,31	2,18
39-V	Cdla. Las Américas	3,81	0,40	4,21
40-V	Cdla. Las Américas	1,66	0,69	2,35
41-V	Cdla. Las Américas	2,84	0,41	3,25
42-V	Cdla. Las Américas	1,24	0,19	1,43
43-V	Cdla. Guayaquil	3,91	0,51	4,42
44-V	Cdla. Guayaquil	0,78	0,28	1,06
45-V	Cdla. Guayaquil	0,97	0,27	1,24
46-V	Cdla. Guayaquil	1,84	0,18	2,02
47-V	Cdla. Guayaquil	2,48	0,71	3,19
48-V	Cdla. Las Mercedes	1,70	0,12	1,82
49-V	Cdla. Las Mercedes	0,85	0,21	1,06
50-V	Cdla. Las Mercedes	1,76	0,91	2,67
51-V	Cdla. Las Mercedes	2,26	1,41	3,67



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN  
EL CANTÓN ARENILLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO**

Arenillas, 24 de septiembre de 2019

52-V	Cdla. Miraflores	0,95	0,28	1,23
53-V	Cdla. Miraflores	1,31	0,86	2,17
54-V	Cdla. Miraflores	0	0,22	0,22
55-V	Cdla. Miraflores	2,14	1,72	3,86
56-V	Cdla. Progreso 1	2,07	1,12	3,19
57-V	Cdla. Progreso 1	1,55	0,69	2,24
58-V	Cdla. Progreso 1	1,52	0,07	1,59
59-V	Barrio La Estación	0,82	4,78	5,6
60-V	Barrio El Cisne	3,07	0,64	3,71
61-V	Barrio El Cisne	1,87	0,38	2,25
62-V	Barrio El Cisne	0,11	0,03	0,14
63-V	Barrio El Cisne	3,63	2,13	5,76
64-V	Barrio El Cisne	0,40	0,50	0,90
65-V	Cdla. Lautaro Sánchez	0,42	0,66	1,08
66-V	Cdla. Lautaro Sánchez	1,19	0,31	1,5
67-V	Cdla. Lautaro Sánchez	3,18	0,92	4,1
68-V	Barrio Central	1,70	1,08	2,78
69-V	Cdla. Libertad	4,71	1,57	6,28
70-V	Cdla. Libertad	0,35	0,21	0,56
71-V	Cdla. Libertad	0,98	1,10	2,08
72-V	Cdla. Libertad	1,07	0,09	1,16
73-V	Cdla. La Esperanza	3,11	1,19	4,30
74-V	Cdla. San Francisco	0	0	0
75-V	Cdla. San Francisco	0,80	0,16	0,96
76-V	Cdla. San Francisco	1,27	0,85	2,12
77-V	Cdla. San Vicente	2,23	0,09	2,32
78-V	Cdla. San Vicente	1,46	0,53	1,99



**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN  
EL CANTÓN ARENILLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO**

Arenillas, 24 de septiembre de 2019

79-V	Cdla. San Vicente	0,86	0,31	1,17
80-V	Barrio La Estación	1,72	1,05	2,77
81-V	Barrio La Estación	0,26	0,43	0,69
82-V	Barrio Central	1,25	0,62	1,87
83-V	Barrio Central	1,62	0,44	2,06
84-V	Cdla. San Isidro	2,01	1,49	3,5
85-V	Cdla. San Isidro	0,34	0,66	1
86-V	Cdla. San Isidro	0,57	0,42	0,99
87-V	Cdla. San Isidro	1,61	0,95	2,56
88-V	Barrio 11 de Noviembre	0,87	1,12	1,99
89-V	Barrio 11 de Noviembre	0,23	0,77	1
90-V	Barrio 11 de Noviembre	1,16	0,98	2,14
91-V	Barrio 11 de Noviembre	2,03	1,41	3,44
92-V	Cdla. Los Jardines	6,63	2,87	9,5
93-V	Cdla. Los Jardines	1,38	0,75	2,13
94-V	Cdla. Los Jardines	1,18	0,64	1,82
95-V	Cdla. Los Alamos	0,76	0,63	1,39
96-V	Cdla. Los Alamos	2,28	1,50	3,78
97-V	Cdla. La Esperanza	4,03	2,21	6,24
98-V	Cdla. Nueva Kennedy	1,29	0,09	1,38
99-V	Cdla. Nueva Kennedy	2,61	1,40	4,01
100-V	Barrio Central	1,35	1,16	2,51
101-V	Barrio La Estación	3,57	0,90	4,47



**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN  
EL CANTÓN ARENILLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO**

Arenillas, 30 de septiembre de 2019

CODIGO	CIUDADELA	PESO R. ORGANICOS (Kg)	PESO R. INORGANICOS (Kg)	PESO TOTAL DE RESIDUOS (Kg)
1-V	Cdla. Progreso 2	0,98	0,26	1,24
2-V	Cdla. Progreso 2	4,65	0,20	4,85
3-V	Cdla. 25 de Diciembre	0,58	0,09	0,67
4-V	Cdla. 25 de Diciembre	0,07	0,03	0,1
5-V	Cdla. 25 de Diciembre	1,24	0,11	1,35
6-V	Cdla. Las Brisas	1,92	0,08	2
7-V	Cdla. Las Brisas	0,59	0,27	0,86
8-V	Cdla. Progreso 1	1,17	1,06	1,23
9-V	Cdla. Las Brisas	7,48	0,33	7,81
10-V	Cdla. Las Brisas	2,86	0,45	3,31
11-V	Cdla. Franklin Jiménez	0,15	0,49	0,64
12-V	Cdla. Franklin Jiménez	0,54	0,13	0,67
13-V	Cdla. Franklin Jiménez	1,22	0,34	1,56
14-V	Colinas de Santa Fe	1,13	0,27	1,40
15-V	Colinas de Santa Fe	2,44	0,21	2,65
16-V	Cdla. 9 de Octubre	2,27	0,66	2,93
17-V	Cdla. Miraflores	0,55	0,18	0,73
18-V	Cdla. 9 de Octubre	0,36	0,17	0,53
19-V	Cdla. 9 de Octubre	2,30	0,29	2,59
20-V	Cdla. 9 de Octubre	3,14	0,23	3,37
21-V	Cdla. 1 de Noviembre	0,11	0,25	0,36
22-V	Cdla. 1 de Noviembre	5,91	1,04	6,95
23-V	Cdla. San Jose	4,19	1	5,19
24-V	Cdla. San Jose	1,06	0,61	1,67
25-V	Cdla. Los Ceibos	1,38	0,63	2,01

Hoja de registro de pesos del último día de caracterización (2)



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN  
EL CANTÓN ARENILLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO**

Arenillas, 30 de septiembre de 2019

26-V	Cdla. San Jose	1,93	1,33	3,26
27-V	Cdla. Los Ceibos	1,47	0,52	1,99
28-V	Cdla. Los Ceibos	1,33	0,17	1,5
29-V	Cdla. Los Ceibos	1,26	0,24	1,5
30-V	Loma Quito	5,74	2,36	8,1
31-V	Loma Quito	1,65	1,12	2,77
32-V	Loma Quito	3,24	0,09	3,33
33-V	Loma Quito	0,69	0,23	0,92
34-V	Barrio San Vicente	1,47	0,36	1,83
35-V	Barrio San Vicente	1,09	0,29	1,38
36-V	Cdla. Libertad	6,14	0,47	6,61
37-V	Cdla. Los Alamos	1,63	0,64	2,27
38-V	Cdla. Las Américas	1,72	0,22	1,94
39-V	Cdla. Las Américas	3,39	0,35	3,74
40-V	Cdla. Las Américas	1,60	0,09	1,69
41-V	Cdla. Las Américas	2	0,16	2,16
42-V	Cdla. Las Américas	1,27	0,49	1,76
43-V	Cdla. Guayaquil	3,65	0,73	4,38
44-V	Cdla. Guayaquil	0,81	0,92	1,73
45-V	Cdla. Guayaquil	0,92	0,14	1,06
46-V	Cdla. Guayaquil	1,97	0,68	2,65
47-V	Cdla. Guayaquil	2,43	1,12	3,55
48-V	Cdla. Las Mercedes	1,74	0,36	2,1
49-V	Cdla. Las Mercedes	1,02	0,54	1,56
50-V	Cdla. Las Mercedes	1,70	0,28	1,98
51-V	Cdla. Las Mercedes	0,40	1,49	1,89



**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN  
EL CANTÓN ARENILLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO**

Arenillas, 30 de septiembre de 2019

52-V	Cdla. Miraflores	0,65	0,32	0,97
53-V	Cdla. Miraflores	1,07	0,65	1,72
54-V	Cdla. Miraflores	0,13	0,33	0,46
55-V	Cdla. Miraflores	1,29	1,18	2,47
56-V	Cdla. Progreso 1	1,20	0,06	1,26
57-V	Cdla. Progreso 1	1,18	0,42	1,60
58-V	Cdla. Progreso 1	1,36	0,27	1,63
59-V	Barrio La Estación	0,65	3,72	4,37
60-V	Barrio El Cisne	2,34	0,70	3,04
61-V	Barrio El Cisne	1,40	1	2,40
62-V	Barrio El Cisne	0,26	0,57	0,83
63-V	Barrio El Cisne	2,86	2,16	5,02
64-V	Barrio El Cisne	0,45	0,34	0,79
65-V	Cdla. Lautaro Sánchez	0,22	0,71	0,93
66-V	Cdla. Lautaro Sánchez	1,17	0,94	2,11
67-V	Cdla. Lautaro Sánchez	3	0,59	3,59
68-V	Barrio Central	1,02	0,69	1,71
69-V	Cdla. Libertad	3,28	1,34	4,62
70-V	Cdla. Libertad	0,34	0,75	1,09
71-V	Cdla. Libertad	0,90	0,36	1,26
72-V	Cdla. Libertad	0,96	0,56	1,52
73-V	Cdla. La Esperanza	3,44	1,52	4,96
74-V	Cdla. San Francisco	0,22	0,33	0,55
75-V	Cdla. San Francisco	0,83	0,79	1,62
76-V	Cdla. San Francisco	1,31	0,1	2,31
77-V	Cdla. San Vicente	2,60	0,39	2,99
78-V	Cdla. San Vicente	1,27	0,02	1,29



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN  
EL CANTÓN ARENILLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO**

Arenillas, 30 de septiembre de 2019

79-V	Cdla. San Vicente	0,74	0,47	1,21
80-V	Barrio La Estación	1,66	0,52	2,18
81-V	Barrio La Estación	0,19	0,31	0,5
82-V	Barrio Central	1,07	0,77	1,84
83-V	Barrio Central	1,32	0,49	1,81
84-V	Cdla. San Isidro	1,64	0,63	2,27
85-V	Cdla. San Isidro	0,19	0,56	0,75
86-V	Cdla. San Isidro	0,34	0,74	1,08
87-V	Cdla. San Isidro	0,11	0,37	0,48
88-V	Barrio 11 de Noviembre	0,88	0,71	1,59
89-V	Barrio 11 de Noviembre	0,24	0,59	0,83
90-V	Barrio 11 de Noviembre	1,05	0,92	1,97
91-V	Barrio 11 de Noviembre	1,70	0,90	2,6
92-V	Cdla. Los Jardines	4	2,33	6,33
93-V	Cdla. Los Jardines	1,18	0,84	2,02
94-V	Cdla. Los Jardines	1,65	0,39	2,04
95-V	Cdla. Los Alamos	0,76	0,5	1,26
96-V	Cdla. Los Alamos	2	1,96	3,96
97-V	Cdla. La Esperanza	3,42	2,65	6,07
98-V	Cdla. Nueva Kennedy	1,35	0,01	1,36
99-V	Cdla. Nueva Kennedy	2,29	0,14	2,43
100-V	Barrio Central	1,12	2,40	3,52
101-V	Barrio La Estación	2,87	1,18	4,05



PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL

Yo, **Aldair Andrés Cueva Hurtado** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0706710241. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Determinación de la generación per cápita de residuos sólidos y dimensionamiento del relleno sanitario en el cantón Arenillas con una proyección de 20 años”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 28 de enero de 2020

F: .....  
Aldair Andrés Cueva Hurtado  
C.I. 0706710241