

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**



Escuela de Ingeniería Ambiental  
Ingeniero Ambiental

**Título del Proyecto de Investigación y Desarrollo:**

Análisis de Ciclo de Vida del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad  
de Puyo

**Autores**

Jonathan Fabricio Villavicencio Montoya  
María Lorena Arévalo Millingalli

**Director del Proyecto**

Ing. Karel Diéguez Santana MSc.

Puyo - Ecuador

2016



## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Nosotros, María Lorena Arévalo Millingalli y Jonathan Fabricio Villavicencio Montoya declaramos que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Investigación y Desarrollo son de nuestra exclusiva responsabilidad.

---

María Lorena Arévalo Millingalli

---

Jonathan Fabricio Villavicencio Montoya

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de Director del proyecto de investigación y desarrollo denominado: **“ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE PUYO”**, de los autores: María Lorena Arévalo Millingalli y Jonathan Fabricio Villavicencio Montoya con CI:11600662157, 1600503070 respectivamente, egresados de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que reúnen los requisitos y méritos suficientes para ser sometidas a la evaluación del jurado examinador designado por el consejo directivo.

---

**M.Sc. Karel Diéguez Santana**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por brindarnos sabiduría y por permitirnos culminar una etapa más en nuestros estudios.

A nuestros Padres quienes nos han brindado su apoyo incondicional y nos han inculcado valores durante nuestra formación.

A la Universidad Estatal Amazónica por habernos brindado la oportunidad de formarnos profesionalmente, a los docentes que han compartido en las aulas sus conocimientos que nos permitirán desenvolvernos en el campo laboral.

Al Ing. Karel Diéguez Santana por ser aquel docente que nos ha impartido su enseñanza a través de un salón de clase y que ahora a más de ser nuestro tutor se ha convertido en aquel amigo quien nos ha sabido brindar su predisposición y conocimiento paso a paso durante el desarrollo de este trabajo investigativo.

A nuestros compañeros y amigos que de una u otra forma han permanecido a nuestro lado, compartiendo momentos especiales, en fin muchas gracias a todos.

## DEDICATORIA

Este trabajo investigativo se lo dedico primeramente a DIOS, por permitirme alcanzar un escalón más en mi etapa de formación, por ser ese amigo fiel e incondicional que se ha hecho presente en mi vida con el propósito de extenderme su mano para poder hallar su luz después de cada tropiezo.

Se lo dedico también a mis amados padres María y Francisco, porque me brindan inspiración y fuerza para seguir adelante, los cuales con su arduo esfuerzo y trabajo me permitieron culminar mi etapa universitaria.

A mi hermana y sobrinos quienes han permanecido a mi lado ofreciéndome su apoyo en los momentos más difíciles y alentándome todo un siempre hasta verme convertida en una profesional.

Dedico a una parte de mi corazón, a mi querido novio, por ser mi amigo especial y mi confidente, por estar en los momentos buenos y malos, por su amor incondicional y sobre todo por su paciencia y apoyo en todo momento.

A mis queridos amigos con quienes he compartido mi vida universitaria y me han brindado su apoyo en los diferentes momentos de mi vida, en especial a mi estimada amiga Jessica Méndez por sus palabras de aliento y consejos.

**Lorena.**

El presente trabajo, se lo dedico primeramente a Dios.

A Efraín y Eva por ser mi guía, mi motivo de superación, mi ejemplo a seguir y los pilares fundamentales para que yo termine mi etapa universitaria, ellos con su valor y sacrificio me han sabido llevar por el camino correcto y me han formado para que en la vida, sea una persona de bien. Por esa razón, este y todos los logros en mi vida, siempre se los dedicare a ellos, mis adorados Padres.

Se lo dedico también a mis lindos sobrinos Angeline, Ayleen, Ariana, Zoe y Derlys, por ser esas personitas que día a día me alegran mi vida con el simple hecho de vivir a mi lado.

A mis hermanos por ayudarme y aconsejarme en los momentos difíciles, en fin a toda mi familia que siempre me ha estado ahí para apoyarme.

A mi enamorada Lorena, por ayudarme en los momentos difíciles, por ser mi mejor amiga y compañera de vida. Le doy las gracias a Dios por haberla puesto en mi camino.

Se los dedico a mis amigos, que siempre han creído en mí, en especial a mi gran amigo Marco + quien fue la persona que me motivo para seguir esta carrera.

A mis compañeros con quienes he compartido mi etapa universitaria y de alguna manera u otra han contribuido en mi formación profesional.

**Jonathan.**

## **RESUMEN**

El presente proyecto de investigación y desarrollo analiza desde el punto de vista medio ambiental el comportamiento del sistema de gestión integral de residuos sólidos de la ciudad de Puyo.

Para la evaluación ambiental se empleó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, tomando como unidad funcional una tonelada de residuos sólidos municipales, se evaluó la composición y caracterización de los residuos sólidos urbanos, los resultados obtenidos determinaron que la generación per cápita es de 0.87 kg/hab/día y en la caracterización la mayor fracción generada fue la orgánica (47%), seguida por la de papel y cartón (19%) y plástico (15%), las cantidades de metal y vidrio fueron de (6,61%) y (6,91%) respectivamente.

Se aplicó el método Eco-indicador 99', que evalúa las principales categorías de impacto ambiental: calentamiento global, acidificación y eutrofización, debilitamiento de la capa de ozono, ecotoxicidad, efectos respiratorios y agotamiento de los recursos abióticos, con estos resultados se presentó la adecuación de tres escenarios futuros que ayudarán a mitigar los impactos que produce la generación, transporte y disposición final de los residuos sólidos municipales. Se analizó el escenario actual, que consiste en verter el 100% de los residuos sólidos al relleno sanitario sin previo tratamiento (escenario 1). Para los escenarios futuros se propuso un escenario que se aplique reciclaje y aprovechamiento de los residuos (escenario 2), un escenario que presenta reciclaje del material aprovechable y compostaje aeróbico de la fracción orgánica (escenario 3) y la implementación de una planta de digestión anaeróbica (escenario 4), siendo este último el mejor tratamiento para la disposición final de residuos sólidos.

### **Palabras claves**

Relleno Sanitario, Eco-indicador, Reciclaje, Compostaje, Digestión anaeróbica.

## **ABSTRACT, AND KEYWORDS**

The current research and development project analyzed from the environmental point of view the behavior of the integrated management system of solid waste from the Puyo city. For environmental evaluation, the life-cycle analysis methodology was employed using as functional unit a ton of municipal solid waste. The composition and characterization of municipal solid waste was evaluated and it was found that generation per capita was 0.87 kg/person/day. The largest fraction generated was organic (47%) paper and cardboard (19%), plastics (15%), metal (6, 61%) and glass (6.91%). The Eco-indicator 99 ' method was applied for solid waste analysis. This procedure take into account the main categories of environmental impact method: global warming, acidification and eutrophication, ozone layer depletion, ecotoxicity, respiratory effects and depletion of abiotic resources. These results are used to show the adequacy of three future scenarios that will help to mitigate the impacts produced by the generation, transportation and disposal of municipal solid waste. The current scenario that consists of 100% disposal of the solids to landfill without treatment (stage 1) was analyzed. For the future situations the conditions of each scenario are: a recycling and use of waste (scenario 2); a scenario that has recycle usable materials and aerobic composting of the organic fraction (stage 3), and the implementation of an anaerobic digestion plant (stage 4). The last proposed scenario was the best treatment for final disposal of solid waste.

### **Keywords**

Landfill, Eco-indicator, Recycling, Composting, anaerobic digestion.

## LISTADO DE ABREVIATURAS

**A:** Área  
**AB:** Área de la base  
**ACV:** Análisis de ciclo de vida  
**AF:** Área fina de compostaje  
**AICV:** Análisis del Inventario del ciclo de vida  
**AN:** Área necesaria  
**AP:** Ancho entre pilas  
**B:** Base  
**BH:** Base húmeda  
**BS:** Base seca  
**CEPIS:** Centro Panamericano de Salud Ambiental  
**COV:** Compuestos Orgánicos Volátiles  
**D:** Densidad  
**DA:** Digestión anaerobia  
**ECV:** Evaluación de ciclo de vida  
**EE:** Energía eléctrica  
**EPA:** Agencia Americana de protección ambiental  
**ET:** Energía térmica  
**GRD:** Generación de Residuos diarios  
**HDV:** Vehículos pesados  
**ICV:** Inventario de ciclo de vida  
**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos  
**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización  
**L:** Longitud  
**OPS:** Organización Panamericana de la Salud  
**P:** Población  
**PIB:** Producto Interno Bruto  
**PM:** Material particulado  
**PPC:** Producción Per Cápita  
**RO:** Residuos orgánicos  
**RS:** Residuos Sólidos  
**RSM:** Residuos sólidos municipales  
**RSU:** Residuos Sólidos Urbanos  
**SDF:** Separación desde la fuente  
**SVT:** Sólidos volátiles totales  
**Tc:** Tiempo de compostaje  
**U:** Unidades  
**UC:** Unidad de compostaje

## **Tabla de contenido**

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
Planteamiento del problema .....	2
Hipótesis .....	2
Objetivos .....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
<b>Fundamentación teórica de la investigación .....</b>	<b>3</b>
Gestión integral de residuos sólidos urbanos .....	4
Tratamiento de residuos sólidos .....	5
Análisis de inventario de ciclo de vida .....	8
Sostenibilidad medioambiental como marco de este estudio .....	9
<b>Metodología de la investigación.....</b>	<b>10</b>
Localización. Condiciones meteorológicas.....	10
Tipos de investigación.....	10
Métodos de investigación .....	11
Diseño de la investigación.....	11
Metodología aplicada para la caracterización de residuos sólidos urbanos .....	11
Determinación del número de muestras .....	12
Proyección de la población .....	13
Determinación de la generación y el peso volumétrico.....	14
Clasificación y cuantificación de fracciones .....	15
Cálculos de diseño de los escenarios futuros a realizar .....	17
Metodología del análisis de ciclo de vida a seguir .....	20
Definición de objetivos y alcance del ciclo de vida.....	20
Alcance del estudio. Función y descripción del sistema en estudio.....	21
Impactos a evaluar, metodología e interpretación .....	23
Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (AICV).....	25
Recopilación de las emisiones de los diferentes sistemas de gestión de R.S.....	28

Tratamiento de los datos.....	32
Análisis estadístico de la caracterización de los residuos.....	35
<b>Resultados y discusión .</b> ....	<b>35</b>
Análisis de resultados de la caracterización de residuos sólidos urbanos.....	35
Análisis de los sistemas de tratamientos propuestos .....	39
Evaluación ambiental de los escenarios de Sistema de gestión de residuos sólidos para la ciudad de Puyo .....	55
Comparación con otros estudios realizados .....	60
<b>Conclusiones y Recomendaciones.</b> ....	<b>66</b>
<b>Bibliografía.</b> .....	<b>65</b>
<b>Anexos.</b> .....	<b>72</b>

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Criterios de Calidad del Compostaje.....	6
<b>Tabla 2:</b> Parámetros empleados para la DA de cada residuo .....	7
<b>Tabla 3:</b> Metodología para la determinación de las emisiones líquidas (lixiviados del relleno sanitario) .....	29
<b>Tabla 4:</b> Recursos Humanos empleados en el proyecto .....	33
<b>Tabla 5:</b> Materiales utilizados en el proyecto .....	33
<b>Tabla 6:</b> Equipos utilizados en el proyecto.....	34
<b>Tabla 7:</b> Población de la Ciudad Puyo. ....	35
<b>Tabla 8:</b> Análisis estadístico del comportamiento de la generación de residuos .....	36
<b>Tabla 9:</b> Características de los Residuos generados en la ciudad de Puyo .....	37
<b>Tabla 10:</b> Resultados de los cálculos de los días del estudio de los residuos sólidos. ....	38
<b>Tabla 11:</b> Composición elemental de los residuos .....	38
<b>Tabla 12:</b> Comparación de resultados de caracterización con otras ciudades del Ecuador .....	39
<b>Tabla 13:</b> Otros estudios de ACV de la Generación de los Residuos Sólidos .....	39
<b>Tabla 14:</b> Inventario del escenario #1 Etapa: Relleno sanitario. ....	40
<b>Tabla 15:</b> Inventario del escenario #1 Etapa: Transporte .....	42
<b>Tabla 16:</b> Inventario del escenario #2 Etapa: Relleno Sanitario .....	43
<b>Tabla 17:</b> Estudios de referencias para el Proceso de reciclaje. ....	44

<b>Tabla 18:</b> Inventario del escenario #2 Etapa: Reciclaje .....	44
<b>Tabla 19:</b> Inventario del escenario #3 Etapa: Relleno sanitario .....	47
<b>Tabla 20:</b> Inventario del escenario #3 Etapa: Compostaje .....	48
<b>Tabla 21:</b> Características del transporte de los carros recolectores de la ciudad de Puyo..	50
<b>Tabla 22:</b> Inventario del escenario #4 Etapa: Relleno sanitario.....	52
<b>Tabla 23:</b> Inventario del escenario #4 Etapa: Digestión Anaeróbica - Compostaje.....	53
<b>Tabla 24:</b> Resultado de cargas ambientales generados por los escenarios propuestos y escenario actual.....	62
<b>Tabla 25:</b> Algunos estudios realizados de ACV, datos de los indicadores medio ambientales.....	63
<b>Tabla 26:</b> Agrupación de varios análisis del indicador Calentamiento Global, estandarizados en emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente/ton de residuos... ..	64

## **Lista de Ecuaciones**

<b>Ecuación 1:</b> Determinación del número de muestras .....	12
<b>Ecuación 2:</b> Proyección de la población .....	14
<b>Ecuación 3:</b> Determinación de la Producción Per Cápita (PPC) .....	14
<b>Ecuación 4:</b> Generación total diaria de residuos .....	14
<b>Ecuación 5:</b> Determinación del peso bruto y peso neto de los residuo solidos .....	15
<b>Ecuación 6:</b> Cálculo de la densidad de los Residuos sólidos.....	15
<b>Ecuación 7:</b> Porcentaje del subproducto de la muestra .....	16
<b>Ecuación 8:</b> Cálculo de la cantidad de residuos que se generan por día .....	17
<b>Ecuación 9:</b> Cálculo del volumen diario de materia orgánica .....	17
<b>Ecuación 10:</b> Cálculo de la masa mensual de materia orgánica.....	17
<b>Ecuación 11:</b> Cálculo del volumen mensual de materia orgánica .....	18
<b>Ecuación 12:</b> Cálculo de la Unidad de Compostaje de la masa .....	18
<b>Ecuación 13:</b> Cálculo de la Cantidad de pilas en el sistema de compostaje .....	18
<b>Ecuación 14:</b> Cálculo del ancho entre pilas de compostaje .....	18
<b>Ecuación 15:</b> Cálculo de área necesaria para pasillos entre las pilas .....	18
<b>Ecuación 16:</b> Cálculo del área de compostaje .....	18
<b>Ecuación 17:</b> Cálculo de la mitad del área de una pila .....	18
<b>Ecuación 18:</b> Cálculo del área fina de compostaje.....	19
<b>Ecuación 19:</b> Cálculo de la generación actual de metano CH <sub>4</sub> .....	30

<b>Ecuación 20:</b> Determinación de la población.....	35
<b>Ecuación 21:</b> Determinación del tamaño de la muestra .....	36
<b>Ecuación 22:</b> Determinación total de las viviendas muestreadas.....	37

## Lista de Gráficos

<b>Gráfico 1:</b> Distribución Normal.....	13
<b>Gráfico 2:</b> Método de cuarteo para la obtención de una muestra representativa.....	16

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> Fases del Análisis de Ciclo de vida .....	20
<b>Figura 2:</b> Escenarios a analizar del sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo .....	28
<b>Figura 3:</b> Posibles efectos ambientales de la gestión de residuos sólidos en la ciudad de Puyo .....	55
<b>Figura 4:</b> Evaluación de los 4 escenarios en cada categoría de impacto elegido .....	58
<b>Figura 5:</b> Escenarios en cada categoría de impacto de la evaluación final del ACV del sistema de gestión de residuos sólidos .....	59

## Lista de Anexos

<b>Anexo 1:</b> Gráficos estadísticos del estudio de los residuos sólidos, ciudad de Puyo. Frecuencia de Cantidad de habitantes por hogares.....	74
<b>Anexo 2:</b> Gráficos estadísticos del estudio de los residuos sólidos, ciudad de Puyo. Histograma de la generación per cápita de residuos por hogares.....	75
<b>Anexo 3:</b> Gráficos estadísticos del estudio de los residuos sólidos, ciudad de Puyo. Generación per cápita de residuos de cada uno de los hogares en estudio.....	76
<b>Anexo 4:</b> Tablas de la generación de residuos en los hogares ciudad de Puyo, estudio de los residuos sólidos. Generación de residuos por casa por día. Generación de residuos domésticos.....	77
<b>Anexo 5:</b> Tablas de la generación de residuos en los hogares ciudad de Puyo, estudio de los residuos sólidos. Generación de residuos por comercios por día. Generación de residuos comerciales.....	79
<b>Anexo 6:</b> Tablas de la generación de residuos en los hogares ciudad de Puyo, estudio de los residuos sólidos. Casas rechazadas en el estudio por no cooperación o ausencia en los días del	

estudio.....	80
<b>Anexo 7:</b> Graficas de los modelos de emisiones gaseosas relleno sanitario, LandGem, 2005.. ..	81
<b>Anexo 8:</b> Resultados de los análisis de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo.. ..	82
<b>Anexo 9:</b> Tabla comparativa de las tecnologías analizadas Digestión Anaeróbica.. ..	83

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción.

La preocupación por la degradación ambiental ha aumentado a nivel mundial, sus consecuencias pueden determinar la supervivencia del ser humano y el desarrollo económico de las naciones. El concepto de desarrollo sostenible basado en el bienestar de las actuales generaciones, sin limitar la capacidad de las futuras para garantizar su propio desarrollo se convierte en una opción obligada para todas las naciones. Por lo que el cuidado del medio ambiente es una necesidad que debe vincularse tanto a las tecnologías instaladas como a nuevos proyectos en fase de planificación, con el objetivo de mitigar y/o eliminar su efecto nocivo.(Diéguez-Santana, 2012)

En los países en vía de desarrollo y en América Latina la gestión de los residuos sólidos es una de las principales dificultades ambientales actuales, pues no se aplican sistemas íntegros de gestión que sean capaces de darle una disposición ambiental a las cantidades de desechos generados por la población. Esto acarrea diferentes problemas para los seres vivos y sus diferentes ecosistemas, la proliferación de enfermedades, así como también el deterioro paisajístico de las sociedades, entre otros.(Chamorro Guerrero, 2016)

En las ciudades ecuatorianas existe un acelerado crecimiento poblacional y la composición de los residuos sólidos ha cambiado a lo largo del tiempo en volumen y en composición debido al aumento de la población y de cambios en el estilo de vida. Además los cambios en los hábitos de consumo y el desarrollo de nuevos productos generan también nuevos residuos. Estadísticas del Ministerio del Ambiente(MAE) plantean que de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's), el 80% dispone sus residuos en botaderos a cielo abierto, quebradas y orillas de cuerpos de agua, y tan solo un 20% dispone sus residuos en rellenos sanitarios manuales, mecanizados y mancomunados. Se generan alrededor de 11.341 toneladas diarias de residuo, es decir, un aproximado de 4'139.512 t/año, de los cuales 61,4% son orgánicos, papel + cartón 9.4%, plástico 11%, vidrio 2.6%, chatarra 2.2%, y otros 13.3%.(MAE, 2014). Los residuos son generalmente materiales biodegradables y se depositan en la basura para posteriormente ser transportados a los vertederos. Ahí algunos materiales se descomponen más rápidamente que otros, generando emisiones que son dañinas para el ser humano y el ambiente en general. La situación anterior aunada a otras muchas actividades que generan nuevos residuos plantea nuevos desafíos a las instituciones de gobierno encargadas de gestionarlos para reutilizarlos o reciclarlos cuando sea posible o bien para proporcionar el servicio de recolección y transporte a un lugar seguro de disposición final.(Gómez-Méndez, 2009).

En la ciudad de Puyo se han desarrollado en los últimos años estudios relacionados con la gestión de los residuos y se han obtenido datos de caracterización de residuos, cantidad de residuos generados en los hogares, cuantificación de fracciones o cantidad de fracciones depositadas en el vertedero, etc., pero no se han considerado análisis ambientales con las tecnologías existentes más adecuadas para las distintas etapas del sistema de gestión de residuos de manera que se puedan seleccionar las combinaciones de estos que mejor sirvan al objetivo del estudio; la consecuencia del sistema de gestión de residuos urbanos ambientalmente más correcto. Además el sistema de gestión de residuos sólidos del Puyo actualmente solo considera el relleno

sanitario como alternativa de tratamiento de los desechos, por lo que quedan fracciones de residuos que no son aprovechadas, siendo importante la evaluación de propuestas que incluyan la utilización de estas.

Uno de los objetivos actuales es aprovechar y valorar al máximo todos los residuos. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología aplicada para evaluar el impacto ambiental de los procesos o servicios desde su inicio hasta su fin de vida. Esta herramienta es cada día más empleada en la determinación de los posibles impactos ambientales generados en diversos procesos, ha sido utilizada para estudios de los sistemas de gestión integral de residuos sólidos municipales como los casos de (Bueno, Latasa, Y Lozano, 2015; De Feo Y Malvano, 2012; Feo Y Malvano, 2009; Liamsanguan Y Gheewala, 2008). Se puede modificar y evaluar escenarios hasta encontrar la combinación óptima de tratamiento con mínimo impacto ambiental.

Siendo una limitante la inserción en este tipo de análisis de los aspectos económicos y sociales unidos a los ambientales, por eso se propone realizar un preliminar análisis de la sostenibilidad que permitan evaluar los sistemas de gestión de residuos sólidos y a su vez fortalecer las deficiencias con los resultados obtenidos.

## **1.2. Planteamiento Del Problema.**

El desempeño ambiental de la Gestión integral de residuos sólidos en la ciudad de Puyo es insuficiente y no se tienen alternativas de solución para disminuir los impactos generados por los desechos sólidos.

## **1.3. Hipótesis.**

Si se aplica la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) mejorará cualitativa y cuantitativamente, la funcionalidad ambiental del sistema de gestión integral de residuos sólidos de la ciudad de Puyo, permitiendo así obtener información para la toma de decisiones ambientalmente sostenibles.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1 Objetivo General.**

- Evaluar las cargas ambientales directas e indirectas asociadas al sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo, a través de la aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Caracterizar los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Puyo.
- Agrupar y clasificar los datos históricos de la generación de residuos sólidos, clasificación, consumos y emisiones del sistema de gestión de residuos sólidos.
- Evaluar el Sistema de Gestión de residuos sólidos actual de la ciudad en estudio y las nuevas propuestas o escenarios de gestión de residuos, a través del Análisis de Ciclo de Vida, considerando los aspectos ambientales y los posibles tratamientos aplicados a los residuos sólidos.

# CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

## 2.1 Gestión integral de residuos sólidos urbanos.

La Constitución del Ecuador 2008 es un marco legal que, en términos generales, le da gran importancia al cuidado ambiental. En consecuencia, existen varios artículos en los que se establece el cuidado y protección del ambiente, el derecho a vivir en un ambiente sano, la prevención de la contaminación, y el incentivo para el desarrollo y uso de tecnologías ambientalmente limpias (Ecuador, 2008).

Mediante este acuerdo se sustituye el Libro VI DEL Texto Unificado de Legislación Secundaria. Uno de los aspectos que se consideran en el A.M 061 es la gestión de residuos, cuyo enfoque es el aprovechamiento y valorización de residuos, mediante el establecimiento de herramientas de aplicación como el principio de jerarquización: prevención, minimización de la generación en la fuente, clasificación, aprovechamiento y/o valorización (incluye el reuso y reciclaje), tratamiento y disposición final. Además, establece como política de gestión de residuos el fortalecimiento de la educación ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de residuos y/o desechos. De igual manera, instituye el fomento de la investigación y uso de tecnologías para minimizar los impactos en el ambiente y la salud.(061., Acuerdo Ministerial 061-2015)

Más concretamente la normativa ecuatoriana en el acuerdo ministerial No61 define a los residuos sólidos no peligrosos como el conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico (putrescible o no) que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas. (061, 2015)

Los residuos sólidos municipales están definidos como residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso. Los residuos son generados en todos los ámbitos sociales, en diferentes cantidades y composición, según (McDougall, White, Franke, Y Hindle, 2001) estas son características a considerar en la gestión integral de residuos sólidos, para combinar los flujos de residuos, métodos de recolección, métodos de tratamiento y disposición con el objetivo de lograr beneficios ambientales, optimización económica y aceptabilidad social.

El análisis del ciclo de vida considera toda la historia de un producto o servicio desde la extracción del material crudo, generación y uso de la energía, producción de materiales, manufactura, uso, tratamiento al final de la vida y eventualmente disposición final. En cada una de estas etapas del proceso se calcula la entrada (materiales crudos, recursos y energía) y salida (emisiones al aire, agua y residuos sólidos). En base a la unidad funcional (o unidad de referencia), las entradas y salidas de cada etapa se contabilizan ambientalmente y se evalúan, determinando las cargas ambientales asignadas al producto o proceso. Las cargas ambientales se relacionan con los impactos ambientales o categorías asociadas con la salud humana, recursos y efectos ambientales.(Gómez-Méndez, 2009)

El ACV es una herramienta muy útil en la evaluación de diferentes sistemas de gestión de residuos, considerando como entradas al sistema los residuos sólidos, los flujos de combustible, electricidad y otros materiales auxiliares y como salidas las emisiones de posibles contaminantes y los flujos de materiales o energía recuperada. Según la (14044, 2006), el análisis de ciclo de vida es una metodología que compila y evalúa las entradas, salidas y el impacto ambiental potencial generado por un producto o servicio a través de su ciclo de vida..

Según (McDougall et al., 2001) la clave de un sistema integral de los residuos sólidos ha de ser:

- Minimización de los residuos,
- Reúso de productos o materiales,
- Reciclado de materiales y tratamiento biológico,
- Tratamiento térmico con recuperación de energía,
- Tratamiento térmico sin recuperación de energía y
- Vertedero o relleno sanitario.

En un sistema de gestión de residuos sólidos con bajo presupuesto, como gran parte de las ciudades ecuatorianas, la opción más económica de tratamiento es depositar los residuos en el vertedero. En cuanto al reciclado, se presenta la extracción de materiales por medio de los pepenadores que seleccionan algunas fracciones de los residuos totales, por ejemplo: cartón, papel periódico, metal, etc., para venderse en centros de acopio o en instalaciones de tratamiento. Una mejora ambiental viable de tratamiento es la separación de fracciones para reciclar y/o depositar en el vertedero con sistemas de recolección de gases para la producción de energía, con posibilidad de venta.

La optimización ambiental de la gestión de residuos requiere determinar los efectos ambientales de los distintos elementos que componen el sistema de recolección y tratamiento. Es por ello que se propone modelar los distintos sistemas de gestión de residuos para poder determinar los impactos ambientales de los elementos que lo componen. La metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), proporciona el marco metodológico adecuado para la determinación de este perfil ambiental. La metodología de ciclo de vida considera aspectos ambientales, económicos y sociales para modelar y evaluar tratamientos en la gestión de residuos sólidos. Para una adecuada evaluación de los distintos elementos de los sistemas de gestión de residuos considerados, será necesaria una correcta caracterización de los residuos urbanos de origen.(Gómez-Méndez, 2009)

## **2.2 Tratamientos a los residuos solidos.**

### **Relleno sanitario.**

Es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica. El relleno sanitario puede tener la posibilidad de recuperar terrenos alterados por la naturaleza, erosionados o los alterados por el hombre (J. Jaramillo, 2002).

## **Reciclaje.**

Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. El reciclaje también se suele definir como un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos urbanos.(Mendoza Y Izquierdo, 2007)

### **Vidrio**

Es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el envase de vidrio es 100% reciclable es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero, esta facilidad en la reciclabilidad del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan autogestionarse de una manera eficaz.(Mendoza Y Izquierdo, 2007)

### **Papel**

Compuesto en su mayor parte por celulosa, que es un recurso renovable y el principal componente de los vegetales leñosos, más del 80% de papel puede ser reciclado y usado otra vez, pero solo se recicla un 40%. El papel reciclado solo requiere el 10% del agua y el 55% de la energía necesaria para obtener papel a partir de pasta virgen, generando además una cuarta parte de la contaminación(Mendoza Y Izquierdo, 2007).

### **Plástico**

Es un material que se encuentra elaborado por resina (polímeros) cuya procedencia surge del proceso de transformación de los recursos naturales en este caso el petróleo, y siendo la industria petroquímica la encargada de la producción del plástico. Sólo un 7% del total de petróleo que se usa es destinado para la industria petroquímica y de este 7% apenas el 4% es usado para la elaboración de los plásticos y el 3% restante es utilizado para otros usos. (Mendoza Y Izquierdo, 2007).

### **Metal**

Es una materia muy utilizada en las latas de conserva y botes de refresco pero la conciencia acerca de su reciclaje no está tan difundida como la del papel o el vidrio. El problema principal de estos envases es que, una gran parte de ellos, no acaban en la basura o en contenedores especiales, sino en nuestros campos, ríos, playas, etc (Mendoza Y Izquierdo, 2007).

## **Compostaje**

Es la degradación aeróbica (en presencia de oxígeno) de materia orgánica por la acción de microorganismos en condiciones “controladas” de aireación, humedad y temperatura. Estos microorganismo transforman los residuos degradables en un producto “estable” e higienizado, aplicable al suelo como abono o sustrato (Yu, Clark, Y Leonard, 2008). Es una forma eficaz de reducir el volumen y alterar la composición física de los residuos sólidos y a la vez producir un subproducto útil; es un proceso biológico de descomposición de compuestos orgánicos hasta la formación de un producto estable y rico en sustancias húmicas (Soto Y Muñoz, 2002).

### **Condiciones del compostaje**

Dado que el compostaje es un proceso de descomposición predominantemente aeróbico, las prácticas de manejo deben crear condiciones óptimas para el establecimiento y desarrollo de los organismos. (Soto, 2003)

Existen criterios de calidad que determinan las características principales del compostaje, lo cual se debe considerar ciertos factores como la Relación de Carbono,

Nitrógeno, Potencial de hidrógeno, Humedad, Temperatura, Tamaño de Partícula y Aireación, en donde se menciona ciertos valores de intervalos aceptables de acuerdo a cada factor.

Tabla 1: Criterios de Calidad del Compostaje

FACTOR	INTERVALO ACEPTABLE	VALOR ÓPTIMO
Relación C/N	25-35:1	30:1
Potencial de Hidrógeno	5.5 a 8.0	7.00
Humedad	40-60	60.00
Aireación	5-15%	Mínimo:10%
Temperatura (°C)	Entre los 55 y 65	60.00
Tamaño de partícula de los materiales (cm)	En general de 1 a 5 (cm) y materiales leñosos 1 a 2 (cm)	1-2 (cm)

FUENTE: (Chiumenti, 2005).

#### *Fases del compostaje*

(G. Jaramillo Y Zapata, 2008), enuncian cuatro (4) fases durante el proceso del compostaje, en donde la Mesófila: Es la primera fase y se caracteriza por la presencia de bacterias y hongos; a una temperatura más o menos 40°C.; Termófila: fase en la cual la temperatura sube de 40°C a 60°C, y es donde desaparecen los organismos mesófilos. En la etapa de Enfriamiento: ocurre la disminución de la temperatura desde la más alta alcanzada durante todo el proceso hasta llegar a la del ambiente, en donde desaparecen los hongos termófilos. Finalmente tenemos la etapa de Maduración: es el proceso final de las fases que ocurren durante el proceso de fermentación disminuyendo la actividad metabólica.

#### **Digestión anaeróbica.**

Es una aplicación como tecnología bioenergética, de hecho su uso a gran escala comenzó con el tratamiento de aguas y lodos residuales a principios de los 80's, (Angelidaki, Ellegaard, Y Ahring, 2003; Davidsson, Gruvberger, Christensen, Hansen, Y Jansen, 2007). Este tipo de proceso junto con la gasificación, la combustión directa y la fermentación son consideradas “tecnologías bioenergéticas” debido a que utilizan la biomasa como fuente de energía sustentable. (Red Mexicana de Bioenergía, 2010).

El proceso de DA se desarrolla en tres etapas: (Hidrólisis, Acidogénesis, Metanogénesis). En cada etapa participa un grupo de bacterias adaptadas a determinadas condiciones ambientales, cuyo papel es fundamental para la descomposición de la materia orgánica a polímeros y la producción final de biogás.

Tabla 2: Parámetros empleados para la DA de cada residuo.

Parámetro	Descripción
Relación C/N	rango óptimo de 16:1 a 25:1
Temperatura	rango mesofílico 25-40° C, óptimo 35° C rango termofílico >45° C, óptimo de 55° C
Humedad	92 a 95% para residuos con un contenido de sólidos de 5 a 8%. 85 a 90% para residuos con un contenido de sólidos de 10 a 15%.
pH	rango de 6.0 a 8.5
Metano	Metano óptimo contenido en el biogás es de 40 a 70%
Patógenos	Los patógenos son sensibles a temperaturas termofílicas y a tiempos de retención largos

FUENTE: (Abbasi, Tauseef, Y Abbasi, 2012).

### **Incineración.**

Es uno de los procesos térmicos que pueden aplicarse en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos para disminuir su cantidad y aprovechar la energía que contienen. La mayoría de los países industrializados con densidades de población elevadas han empleado este tipo de procedimiento. Cabe recalcar que desde el punto de vista medioambiental la incineración ha sido objeto de críticas por las emisiones que ocasiona estas instalaciones. (Mendoza Y Izquierdo, 2007) Es necesario mencionar que no se profundizará este tema debido a que en este estudio no se realizará este tipo de procedimiento.

## **2.3 Análisis de Inventario del Ciclo de Vida como herramienta de evaluación ambiental.**

La manera de evaluar ambientalmente la generación de residuos, es aplicando la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV). El ACV, de acuerdo a la Norma ISO 14044 (14044, 2006) es una metodología para evaluar el impacto ambiental de productos o servicios considerando todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final.

En la década de los sesenta se inicia con estudios sobre la cuantificación de materiales y de energía implicados en los impactos ambientales. (Hunt, Sellers, Y Franklin, 1992) presentó un diagrama completo del análisis del ciclo de vida para un producto. Afirmando que se requiere cuantificar la energía y las emisiones del ACV del producto o proceso, para ser usadas en la reducción de recursos y emisiones. Recomiendan el uso del ACV en la industria o el gobierno en la toma de decisiones para hacer cambios en un proceso o sistema para la reducción de recursos o emisiones. Además afirman que el ACV es un análisis comparativo entre productos y sistemas similares. (Gómez-Méndez, 2009)

Posteriormente, (Barton, Dalley, Y Patel, 1996) aplican el ACV a la gestión de residuos y mencionan en su estudio el desarrollo de una metodología general, para identificar las cargas para la etapa del inventario del ciclo de vida. Sin embargo, la variedad de procesos y el hecho de que esta etapa considera los materiales, productos y residuos generados; sugieren la necesidad de bases de datos y el desarrollo de una herramienta de fácil empleo.

El estudio desarrollado por (Rieradevall, Domènech, Y Fullana, 1997) presenta los resultados de la aplicación del ACV a los residuos sólidos generados en los hogares y llevados al vertedero. Indica que las emisiones derivadas de la biodegradación en el vertedero contribuyen a los impactos de calentamiento global y a la eutrofización, mientras que el transporte contribuye principalmente a la acidificación y a la toxicidad humana.

Una herramienta desarrollada por (Camobreco et al., 1999) para la fase de inventario del ciclo de vida, evalúa un vertedero moderno (con recolección de gases y lixiviados). Estos investigadores evaluaron el ciclo de vida del vertedero desde la construcción, operación, cierre y atención post-clausura. Además, consideraron en sus resultados las emisiones asociados con el consumo de combustible y las emisiones de gas durante las diferentes etapas del vertedero (Clift, Doig, Y Finnveden, 2000). Insisten en la importancia de la elección concreta de los límites del sistema para la gestión integral de los residuos incluyendo la recolección, transporte, disposición en el vertedero. Además, recomienda definir los límites del sistema claramente para asegurar que los créditos ambientales por la recuperación de energía y materiales sean correctamente evaluados.

(Morrissey Y Browne, 2004) presentan los modelos de herramientas usados para hacer decisiones en el área de la gestión de residuos municipales. Identifican los modelos basados en el análisis costo-beneficio, los del inventario de ciclo de vida y aquellos basados en toma de decisiones por multicriterios. Afirman que los modelos recientes se enfocan en el concepto de gestión de residuos sostenible y que tienen limitaciones. También indican que los modelos analizados no consideran juntos los aspectos ambientales, económicos y sociales.(Gómez-Méndez, 2009)

Últimamente (J. Den Boer, Den Boer, Y Jager, 2007) presentan la aplicación de la herramienta desarrollada para evaluar el ciclo de vida de la gestión integral de residuos, en ciudades con rápido crecimiento, teniendo en cuenta aspectos ambientales, económicos y sociales. Presenta varios escenarios, considerando el ACV desde el almacenamiento temporal, recolección- transporte y tratamiento.

En Ecuador no se tiene información sobre la aplicación del ciclo de vida para la evaluación de la gestión de residuos.

## **2.4 Sostenibilidad medioambiental como marco de este estudio.**

La realización de un análisis ACV realizado en la forma anteriormente descrita tiene como marco general la consecución del desarrollo sostenible.

El desarrollo sostenible se basa en los aspectos ambientales, económicos y sociales, pero dado la dificultad de encontrar una definición integral se ha decidido considerar los tres aspectos de sostenibilidad en forma individual.

Una de las definiciones de sostenibilidad medioambiental, más reconocidas es la propuesta por Goodland y Daly (E. Den Boer, Den Boer, Y Jager, 2005. ) donde se expone que la:

“La sostenibilidad medioambiental pretende mejorar el bienestar humano protegiendo las fuentes de materias primas utilizadas para las necesidades humanas y asegurando que los residuos no superan un cierto límite a fin de evitar un perjuicio para los seres humanos”. Desde la perspectiva de los residuos, esto se transcribe en mantener las emisiones dentro de la capacidad asimilable por el medio ambiente sin perjudicarlo.

En esta definición de sostenibilidad se parte del objetivo de este estudio (parte ambiental) y tiene como metas principales la conservación de recursos y la minimización de la contaminación.

# CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

## 3.1 Localización. Condiciones meteorológicas.

El presente estudio se realiza en la ciudad de Puyo.

Puyo se encuentra ubicada, en el Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza. La parroquia Puyo lleva su nombre debido a que la palabra Puyo proviene del kichwa Puyu que significa nublado-neblina, en vista que en años anteriores generalmente pasaba nublado este sector.

Puyo se encuentra a 100 Km de la Ciudad de Ambato (Provincia de Tungurahua), 110 Km de Riobamba (Provincia de Chimborazo), 79 km del Tena (Provincia de Napo), 129 km de Macas (Provincia de Morona Santiago), 222 km de Quito (Provincia de Pichincha) y a 372 km de Guayaquil Provincia del Guayas.

La Población según el VII censo de Población y VI de Vivienda, es de: 36.659 habitantes; su extensión es de 96.65 km<sup>2</sup> (INEC, 2010).

La ciudad del Puyo se encuentra ubicada aproximadamente a los 950m sobre el nivel del mar, entre 01°30' Latitud Sur y 77°57' Longitud Oeste. Está conectado con dos contrastes de ambientes, los lados noreste, este y sureste son influenciados por la selva tropical del Amazonas, mientras que el noroeste, oeste y el suroeste interactúa con un cinturón volcánico. (Millán, Kalauzi, Llerena, Sucoshañay, Y Piedra, 2009). El clima de Puyo es muy agradable, y oscila entre los 17° C y 24° C. Entre los ríos más importantes están: Puyo, que sirve en la cuenca baja como medio de recreación turística y sustento de comunidades indígenas kichwas y colonas; el Pindo Grande; el Pindo Chico, el Pambay, el Sandalias y el estero La Talanga.

El proyecto tendrá una duración de 2 meses y medio, incluye el trabajo de campo y el estudio de gabinete.

## 3.2 Tipo De Investigación.

En esta investigación se utilizarán los datos colectados de los diferentes sistemas de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo. Mediante la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), se cuantificaron las cargas ambientales asociadas a los residuos sólidos y su gestión.

El carácter del estudio será cuantitativo pues la identificación y cuantificación de la energía y materiales usados y los residuos emitidos al entorno, los cuales permitieran analizar los impactos de éstos sobre el medio ambiente y evaluar e implementar posibles mejoras.

El alcance exploratorio-descriptivo. El estudio no posee antecedentes de haberse realizado en Ecuador, aunque existen resultados de este estudio en otras regiones anteriormente citados en este perfil de proyecto. Además puede ser el punto de partida para involucrar nuevos escenarios de la gestión de residuos, tanto en la misma ciudad, como en las demás ciudades de la Amazonia o el Ecuador, pudiendo enriquecerse la gestión actual de residuos.

En este estudio se describirán las características específicas de los escenarios del sistema de gestión de RS, se colectará información específica de la ciudad y los sistemas implementados y se realizarán aproximaciones y cálculos a partir de estos

resultados para poder evaluar y cuantificar los impactos de los diferentes escenarios definidos en el primer paso del análisis de ciclo de vida, definición de la unidad funcional, el objetivo y alcance. Se describirán las condiciones operacionales actuales, la generación, los consumos energéticos en cada una de las etapas, las salidas de los diferentes escenarios, flujos cuantificados de emisiones al agua, aire y suelo, los subproductos de las alternativas de aprovechamiento y las posibles contribuciones ambientales de cada uno de los procesos a comparar. Además se describirán las condiciones específicas donde se desarrollan estas actividades.

### **3.3 Métodos De Investigación.**

El método a utilizar es el método de investigación analítico-empírico. Este método se aplicará pues permitirá desarrollar el estudio, una por una, en cada parte, comprendiéndola con detalle y profundidad. Se separarán los diferentes datos en unidades independientes y la información resultante será procesada de manera que nos proporcione todos los detalles necesarios a evaluar posteriormente de cada uno de los escenarios en estudio.

Nuestro objeto de estudio se fragmentará en varios **objetivos específicos** que estarán referidos a las partes constitutivas de ese cuerpo o totalidad de nuestra investigación.

Por otra parte nuestra investigación se apoyará en la definición de un problema, una hipótesis y se realizará la investigación y los resultados, se analizarán en función de la conexión con dichos planteamientos anteriores.

Los datos son sacados de los estudios anteriormente realizados y mediante el estudio se podrán revelar las características fundamentales del objeto de estudio de este trabajo, a través de los procedimientos de la recolección de la información, el análisis y el procesamiento de los datos de los diferentes escenarios de estudio.

### **3.4 Diseño de la investigación**

#### **3.4.1 Metodología aplicada para la caracterización de residuos sólidos urbanos**

La metodología seleccionada para realizar este estudio consistió en recoger los residuos sólidos directamente en los hogares donde se generaron. Este sistema es uno de los métodos básicos empleados en la caracterización de los residuos sólidos (Tchobanoglous Y Kreith, 2002). Para la caracterización de los mencionados residuos se han seguido las etapas que a continuación se mencionan:

- Selección de la población para la colección de muestras
- Determinación del número de muestras
- Recolección de muestras
- Clasificación y cuantificación de fracciones
- Análisis de resultados

### 3.4.2 Determinación del número de muestras.

Para poder determinar el número de muestras (viviendas) del sector de estudio, es necesario considerar valores de estudios de caracterización de desechos sólidos realizados anteriormente o éstos pueden ser asumidos en base a la metodología que emplea el CEPIS/OPS del Doctor Kunitoshi Sakurai de 1982, y perfeccionada por (Cantanhede, Monge, Sandoval Alvarado, Y Caycho Chumpitaz, 2009). Estos valores de los que se está hablando, son el error permisible y la desviación estándar.

- Si se conoce el número total de viviendas en el sector de estudio  $N$  y además se conoce su varianza  $\sigma^2$  (también puede ser asumida), el número de muestras, se lo determinará con la siguiente fórmula:

Ecuación (1)

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 * N * \sigma^2}{(N - 1) * E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 * \sigma^2}$$

Donde:

$n$ : número de muestras (viviendas).

$N$ : número total de viviendas en el sector de estudio.

$Z_{1-\alpha/2}$ : Coeficiente de confianza.

$1-\alpha$ : Nivel de confianza.

$E$ : error permisible.

$\sigma$ : desviación estándar.

CEPIS/OPS recomienda que a este valor se le adicione un 10% para posibles afectaciones con las viviendas a muestrear en alguno de los días de la caracterización.

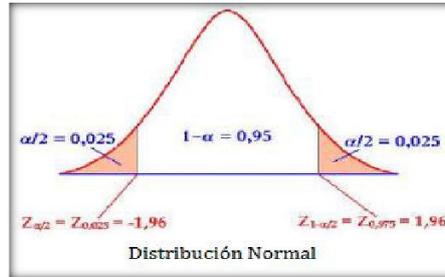
El valor del error permisible  $E$ , es una estimación de la media poblacional ( $\mu$ ) y por lo general es un valor que oscila entre el 1% y 15% del valor correspondiente a la media poblacional. Para realizar cálculos de manera rápida se recomienda usar 0,056 kg/hab./día, de error permisible, siendo 0,06 kg/hab./día un valor cercano al mencionado, el que se utilice para los respectivos cálculos de la presente tesis. (Cantanhede et al., 2009).

La desviación estándar  $\sigma$  es el resultado de la raíz cuadrada de la varianza poblacional  $\sigma^2$ . Si el valor de la desviación estándar se encuentra cercano al intervalo de 0,20 – 0,25 Kg/hab./día, se tiene el caso de una población homogénea, caso contrario, se tendrá una población heterogénea lo cual no es recomendable ya que después los resultados no serían muy confiables. Para realizar cálculos de manera rápida se puede tomar 0,20 kg/hab./día como valor recomendable. (Cantanhede et al., 2009)

El nivel de confianza se denota por  $1 - \alpha$ , se mide en porcentaje y consiste en medir la fiabilidad del intervalo de probabilidad. Se suelen tomar valores de 0,90; 0,95 y 0,99, siendo el valor de 0,95 el que tenga mayor aceptación para realizar estudios

de caracterización de residuos sólidos. El valor correspondiente como coeficiente de confianza para  $Z_{1-\alpha/2}$  es el valor de 1,96, según se muestra en la tabla correspondiente a la distribución normal. (Ver Gráfico #1), Este tipo de distribución es simétrica con respecto al eje “Y” y es la que se utiliza para poder determinar el valor de Coeficiente de confianza, usando el parámetro Nivel de confianza y la tabla de Distribución Normal proporcionada anteriormente.

Grafico 1: Distribución Normal



Fuente: (Cantanhede et al., 2009).

En base al dato de número total de habitantes y viviendas proporcionado por el INEC según el último censo del 2010 y los datos asumidos por diferentes autores para estudios de caracterización de desechos sólidos, se tiene como resumen los parámetros que se utilizarán para determinar el número de muestras (viviendas) a seleccionarse.

### Validación de la muestra.

Según se una vez obtenido el tamaño de la muestra, se debe realizar la validación para asegurar que ésta permita inferir los parámetros de la población.

- a) Para fines de validación, a la muestra se le denominara m.
- b) Luego, se debe obtener el tamaño de la muestra con la varianza obtenida de la muestra m. A ese tamaño de la muestra la denominaremos n.
- c) En la relación de esas dos muestras se presenta tres casos:
  - i. Si  $n > m$ , se debe obtener del campo el número de unidades muestrales faltantes (determinadas por la diferencia de  $n - m$ ).
  - ii. Si  $n = m$ , no será necesario analizar más elementos para considerar como válido el muestreo aplicado en este caso.
  - iii. Si  $n < m$ , se debe asumir como válido el valor de la muestra m y no se deben eliminar las supuestas unidades muestrales sobrantes.

### 3.4.3 Proyección de la población

Para hacer la proyección de la población de la Ciudad Puyo, se determinó la tasa de crecimiento de la parroquia, considerando los dos últimos censos llevados a cabo en el Ecuador correspondientes a los años 2001 y 2010. En este caso se usará el método Geométrico en el que la mayoría de procedimientos de proyección de población se basan, siendo este método utilizado en niveles de complejidad bajos, medio y medio alto.

El crecimiento geométrico es aquel en que la población crece a una tasa constante, siendo ésta definida por la siguiente ecuación:

Ecuación (2)

$$P_f = P_0 \left(1 + \frac{r}{100}\right)^k$$

Donde:

Pf: Población a determinar (año 2015).

Po: Población del último censo (año 2010).

r: Tasa de crecimiento poblacional observado en el período.

k: Tiempo en años, entre Pf y Po.

### 3.4.4 Determinación de la generación y el peso volumétrico

Para la determinación de la generación y el peso volumétrico de los residuos sólidos, se utilizara un recipiente en forma de cilindro y una balanza para realizar los pesajes.

#### **Determinación de la Producción Per Cápita (ppc)**

- Utilice el total de residuos recolectados por día de muestreo.
- Pese diariamente ( $W_i$ ) el total de bolsas recogidas durante los días que dure el muestreo (no considere 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 ( $n_i$ ) determine el número total de personas que han intervenido ( $N_t$ ) en el muestreo.

Divida 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).

Ecuación (3)

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

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

Ecuación (4)

$$\text{Generación total diaria de residuos} = \text{ppc} \times N_t \text{ (kg/día)}$$

Una vez calculada la PPC se procede a realizar el pesaje del cilindro y el cálculo del volumen, de esta manera se tendrá las características del recipiente en donde se determinara el volumen, peso bruto y peso neto de los residuos sólidos. Una vez obtenido el valor del volumen de los residuos, se procede a calcular la densidad de los mismo aplicando la fórmula de la densidad.

Ecuación (5)

$$\text{PESO BRUTO (Recipiente.+R.S.) (kg)}$$

$$\text{PESO NETO (P.Bruto -P. Recipiente) (kg)}$$

Ecuación (6)

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

### 3.4.5 Clasificación y cuantificación de fracciones

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación según la Norma Mexicana NMX-AA-61.(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985b)

El contenido de dichas bolsas, se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.

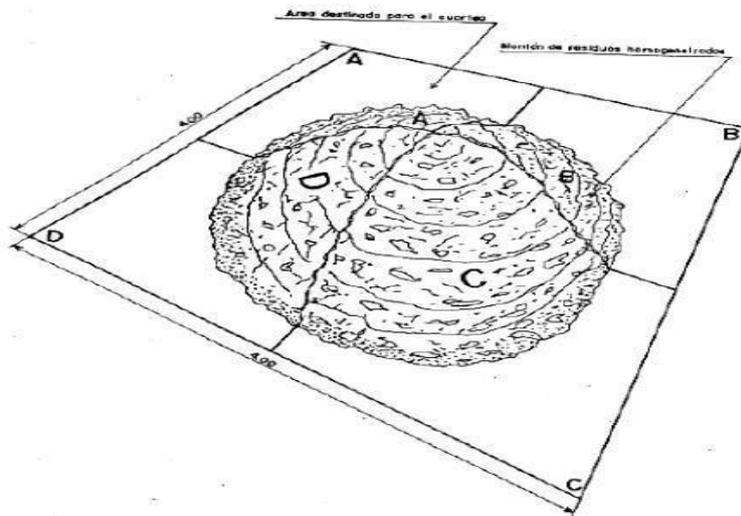
El montón de residuos sólidos se traspalea con pala y/o biello, hasta homogeneizarlos, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D (Fig. 1), y se eliminan las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 (Kg) de residuos sólidos con los cuales se debe hacer la selección de subproductos de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-22. (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985a)

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado), evitando que queden expuestas al sol durante su transporte, además se debe tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna rotura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.

Se han considerado, las cantidades anteriores como óptimas, sin embargo estas pueden variar de acuerdo a las necesidades. Sólo en el caso de que la cantidad de residuos sólidos sea menor a 50 (Kg), se recomienda repetir la operación de cuarteo.

Este método se usa para obtener una muestra representativa cuando la muestra a considerar es de demasiado grande como para manejarla.

Gráfico 2: Método de cuarteo para la obtención de una muestra representativa



FUENTE: (Taboada, Armijo, Aguilar, Ojeda, Y Aguilar, 2009).

Con la muestra ya obtenida, se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotar, de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Material orgánico.
- Plástico.
- Vidrio.
- Residuos de jardinería.
- Metales.
- Papel y cartón.
- Textiles.
- Otros (Tierra, cenizas, caucho, etc.)

Los subproductos ya clasificados se pesan por separado en la balanza granataria y se anota el resultado en la hoja de registro.

Para la caracterización y cuantificación la muestra se extrae como se establece anteriormente y se toman como mínimo 50 (Kg), que procede igualmente de las áreas del primer cuarteo que no fueron eliminadas.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación (7)

$$P_s = \frac{G_1}{G} * 100$$

$P_s$  = Porcentaje del subproducto considerado.

$G_1$  = Peso del subproducto considerado, en (Kg); descontando el peso de la bolsa empleada.

$G$  = Peso total de la muestra (mínimo 50 Kg).

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

### 3.4.6 Cálculos de diseño de los escenarios futuros a analizar

#### *Compostaje.*

Para poder realizar el Diseño de la pila de compostaje se debe tomar en cuenta como primer punto las dimensiones de la pila: Base (B), Altura (A), Longitud (L) y Área de la base (AB). Seguido a esto se realiza la determinación de los valores de la Producción Per Cápita (PPC), Población (P) y la Generación de Residuos Diarios (GRD), en el cual se considera el cálculo de la Masa (MP Compost) que permite obtener la cantidad de residuos que se generan por día mediante la siguiente fórmula:

Ecuación (8)

$$\text{MP Compost} = \text{PPP} * \text{P} * \text{GRD}, \text{ dados en las unidades kg/día.}$$

La obtención del valor de la producción en  $\text{m}^3/\text{día}$  consiste en calcular el Volumen diario (V) mediante la siguiente fórmula:

Ecuación (9)

$$V = \text{MP}/D.$$

Se toma en consideración el Volumen diario (V) y el Tiempo de compostaje ( $T_c$ ) para poder obtener el Volumen mensual de compost a través de la siguiente fórmula:

$$V = V * T_c.$$

Luego se considera el cálculo de la masa mensual que se obtiene a partir de la Masa (M) que se genera por día multiplicada por 30 (mes) y se obtiene el resultado de la generación de masa mensual:

Ecuación (10)

$$M = \text{MP} * 30$$

Si la densidad se considera  $400 \text{ kg}/\text{m}^3$  Se puede realizar el cálculo del volumen diario (V) a través de lo siguiente:  $V = \text{MP Compost}/\text{Densidad}$ ; y para la obtención del Volumen mensual (VM) se obtiene a partir de:

Ecuación (11)

$$VM= V *30$$

Según (Mendoza Y Izquierdo, 2007) la Unidad de compostaje es la masa de residuos que ingresará al sistema y que permitirá la conformación de una pila. En donde se calcula:

Ecuación (12)

$$UC=V/2.25$$

UC: capacidad de carga según (Mendoza Y Izquierdo, 2007).

De acuerdo a estos datos calculados se puede obtener la cantidad de pilas (CP) que se necesitan, considerando que el largo de la pila (LP) que será de 12 m, cual será:

Ecuación (13)

$$CP=UC/LP.$$

Es necesario considerar el ancho entre las pilas (AP) para poder remover, y a la vez tomar en cuenta si la operación se realizará de manera manual o mecanizada, en este caso se realizará de manera manual tomando en consideración que el ancho del pasillo estará entorno de 2 a 2.5 cm.

Ecuación (14)

$$AP= 0.5*B$$

Mientras que el área necesaria (AN) para pasillos será de:

Ecuación (15)

$$AN= B*LP*CP$$

Como es el caso del área (A) se considera a través de la siguiente fórmula:

Ecuación (16)

$$A= LP*4*B*CP$$

El área correspondiente a la mitad del área ( $A_2^1$ ) de una pila es:

Ecuación (17)

$$A_2^1=LP*AP*CP$$

Y para concluir tenemos el cálculo del área fina de compostaje (AF) que será de:

Ecuación (18)

$$AF=AN+A+A_2^1$$

### *Digestión Anaerobia*

El proceso se desarrolla en tres etapas, en cada etapa participa un grupo de bacterias adaptadas a determinadas condiciones ambientales, cuyo papel es fundamental para la descomposición de la materia orgánica a polímeros y la producción final de biogás.(Galván Loredo, 2015)

En la primera etapa llamada de ruptura de polímeros, licuefacción o hidrólisis, los polímeros orgánicos como proteínas, carbohidratos y ácidos grasos (entre otros) son rotos por enzimas extracelulares producidas por bacterias hidrolíticas.(Galván Loredo, 2015)

La siguiente fase es conocida como acidogénesis. En esta etapa, los monómeros liberados son convertidos a ácido acético, y gases como H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> por bacterias acetogénicas, las cuales transforman estos compuestos en ácidos grasos volátiles, ácidos acético, propiónico y láctico, así como metanol y otros alcoholes simples a partir de la ruptura de los carbohidratos.(Galván Loredo, 2015)

La última etapa es la metanogénesis. Aquí los productos de la fase 2, se convierten en metano y otros productos finales. Las bacterias que participan en esta fase se llaman metanógenas. Estas bacterias son anaerobias estrictas y su crecimiento en las etapas 1 y 2 es lenta, usan principalmente el ácido acético o acetato, no obstante pueden usar el H<sub>2</sub> libre para producir metano.(Galván Loredo, 2015)

### *Tecnología BTA.*

Este es un sistema de múltiples etapas de bajo contenido de sólidos para el tratamiento de cualquiera de residuos sólidos mixtos o separados en la fuente. BTA combina los residuos pre-tratamiento y etapas de separación en una instalación completamente cerrada y, según informes altamente automatizado, cuya capacidad puede ser de entre 2000 y 150.000 t/año (Rahn Y Gandolfi, 2007; Verma, 2002 ). Es un proceso en húmedo de digestión anaeróbica que fue concebido en 1984 y consta de pretratamiento húmedo mecánica y la conversión biológica de la materia orgánica mediante el uso de la digestión anaeróbica (Blischke, 2004).

Según (Blischke, 2004), el proceso de tratamiento de residuos se puede describir con los siguientes ocho pasos:

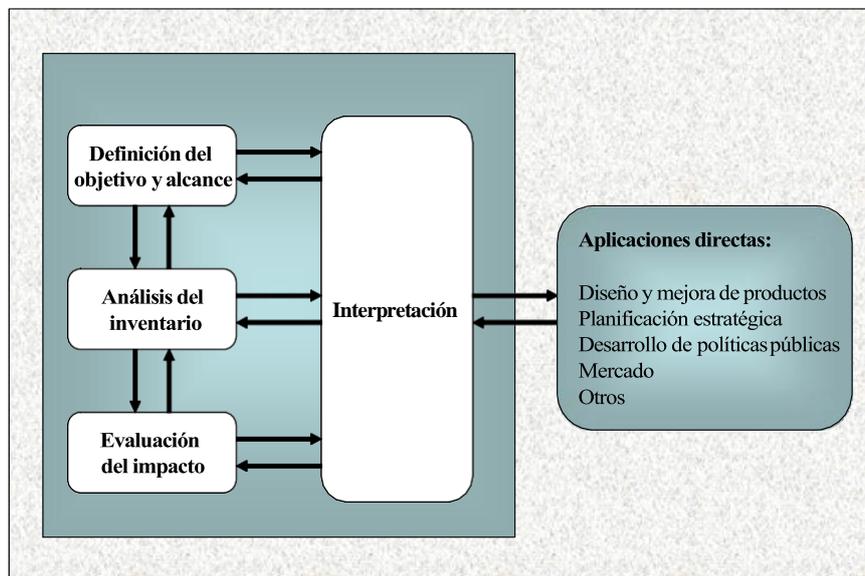
- 1) Recepción de Residuos.
- 2) Tratamiento mecánico y acondicionamiento.
- 3) Digestión anaeróbica.
- 4) Deshidratación de sólidos.
- 5) Compostaje, curado y almacenamiento
- 6) Producción de biogás y Utilización de la Energía.
- 7) Planta de tratamiento de efluentes líquidos.
- 8) Purificación del aire. Control de olores.

### 3.4.7 Metodología del Análisis de ciclo de vida a seguir.

Fases de la metodología del análisis de ciclo de vida

La metodología del análisis de ciclo de vida (ACV) considera cuatro fases, según la Norma ISO 14040 (14040, 2006 ) es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”. Estas fases son: objetivo y alcance del estudio, Análisis del Ciclo de Vida, evaluación del impacto e interpretación (14044, 2006). En la Figura 1, se presentan las cuatro fases de la metodología, así como sus posibles interacciones.

**Figura 1.** Fases del Análisis de Ciclo de Vida.



FUENTE: (Gómez-Méndez, 2009).

### 3.4.8 Definición de objetivos y alcance del análisis del ciclo de vida

La etapa de definición de objetivos y alcance es la primera fase de un ACV, es donde se debe especificar la extensión y profundidad del estudio, estableciendo la aplicación y el límite del sistema.(14040, 2006 )

El objetivo del ACV. Se considera la intención de la aplicación, las razones para realizar el ACV y a quien está dirigido. Además se identifican los límites del producto o servicio (técnico, geográfico y tiempo) y el procedimiento para el manejo de datos.(14041, 2006)

Alcance del ACV. Deberá estar bien definido para asegurar que cumple con el objetivo. Aquí se determina el producto o servicio a ser estudiado, la unidad funcional a usar, los límites del producto o servicio, la asignación de procedimientos.(14041, 2006)

La Definición del Objetivo y Alcance del ACV según ISO 14041, 1998 incluyen los siguientes elementos en la primera fase de un ACV:

- Motivo para la ejecución del ACV.
- Definición precisa del producto, su ciclo de vida y la función que tiene.
- Definición de la unidad funcional (constituye una base para la comparación).
- Descripción de los límites del sistema y de las reglas de asignación de cargas ambientales.
- Datos disponibles y requisitos con respecto a la calidad de los datos.
- Suposiciones y limitaciones del estudio.
- Requisitos para el proceso de evaluación e interpretación de los impactos.
- Audiencias proyectadas y la forma de publicación de los resultados.
- Formato del informe requerido para el estudio.(14041, 2006)

La metodología parte de la definición del objetivo y alcance del ACV, en correspondencia a la causa o motivo del estudio.

Para la ejecución de un ACV, en los sistemas de gestión de residuos, se tienen como objetivos:

- Identificar y cuantificar los impactos ambientales asociados a los sistemas de gestión de residuos sólidos actualmente en funcionamiento, considerando en cada uno de los casos sus características específicas y posteriormente descritas en los escenarios, en todos partiendo desde la etapa de recolección de los residuos hasta la disposición final de los mismos.
- Analizar el impacto ambiental que se produce, a partir de variantes técnicas que se aplican a nivel internacional en el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, basadas en las condiciones específicas del sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo.

### **3.4.9 Alcance del estudio. Función y descripción del sistema en estudio.**

La función principal del estudio es el aprovechamiento de los residuos sólidos provenientes de la ciudad de Puyo, desde todos los enfoques posibles, energéticos, biológicos, etc.

A continuación se describen el sistema en estudio y las variantes tecnológicas para el aprovechamiento de los residuos sólidos, en la etapa de evaluación de los impactos ambientales.

El ciclo de vida de los sistemas de gestión de los residuos sólidos está conformado por tres subsistemas con sus respectivas entradas y salidas, referidas a la generación de residuos y al consumo energía e insumos; obtención de productos y subproductos y a las emisiones al medio ambiente.

En esta etapa del estudio se requiere conocer el proceso, las operaciones unitarias que lo conforman y el flujo de materiales y energía existentes entre ellas para lo cual se construye el árbol de procesos, que no es más que el modelo del ciclo de vida para el aprovechamiento de los residuos provenientes de los sistemas de gestión de los residuos sólidos.

En el subsistema de la generación de residuos y consumos de energía e insumos se incluye de forma general la etapa de recolección de los residuos, el consumo de combustible y otras fuentes energéticas por parte de los sistemas de recolección, y los insumos necesarios para la operación del sistema, tales como vestuario de los trabajadores y otros útiles.

En el subsistema obtención de productos y subproductos se consideran varias etapas en función de cada escenario específico:

- Clasificación y Reciclaje
- Compostaje
- Digestión anaeróbica
- Incineración.
- Aprovechamiento de biogás.
- Relleno sanitario.

### **Selección de la unidad funcional.**

Es la unidad a la que se refieren todas las entradas (materias primas, energía, insumos, recursos) y salidas (productos, subproductos, emisiones) del sistema en estudio, debe estar claramente definido, ser medible y representativo de todos los flujos del proceso.(14041, 2006)

Para el proceso en estudio la generación o cantidad de residuos sólidos es la unidad más representativa de todas las entradas y salidas; por lo que se toma como unidad funcional 1 tonelada de residuos sólidos generados.

### **Establecimiento de los límites del sistema.**

Los límites del sistema se establecen de acuerdo al objetivo específico que se persigue en el estudio; señalan las operaciones unitarias a tener en cuenta en el ACV, enmarcando lo que es objeto de estudio y lo que queda fuera de este. La región externa a los límites se conoce como el entorno del sistema, el cual actúa como fuente para las entradas y como sumidero para todas las salidas.

En cualquier sistema en estudio es difícil determinar todas las entradas y salidas por lo que se hace necesario establecer los límites del mismo, para lo cual se debe tener en cuenta los siguientes elementos:

- Identificar los límites del sistema en el diagrama del árbol de procesos mediante líneas discontinuas.
- Incluir la producción, mantenimiento y eliminación de bienes de capital empleados (camiones, maquinarias, equipos, etc).
- Establecer el límite con la naturaleza. Se tiene en cuenta el impacto del uso de la tierra y se incluyen solo las emisiones del área ocupada por cada sistema a analizar a sus alrededores. En el método del Eco-indicador 99 esto ya ha sido considerado. Se incluye además la producción de fertilizantes, pesticidas y combustibles.
- En la generación de electricidad se consideran diferentes modelos de aprovechamiento de biogás y de incineradores, los cuales tienen diferentes potencias de trabajo lo que se fija para la comparación de los impactos producidos por cada uno de ellos.

### 3.4.10 Impactos a evaluar, metodología e interpretación.

SimaPro contiene gran variedad de métodos estándar y cada uno agrupa varias categorías de impacto; permite adicionar o eliminar categorías de un método o desarrollar métodos nuevos. En esta metodología no se persigue cambiar los métodos sino seleccionar el que mejor se ajuste al estudio. En este caso se escogerá la metodología Eco-indicador 99; la selección se hace basada en el conocimiento de la relevancia ambiental que incluyen las tres categorías de impacto consideradas en esta.

El cálculo del Eco-indicador 99 se basa en tres pasos:

- Inventario de las emisiones relevantes, la extracción de recursos y el uso del suelo en todos los procesos incluidos en el ciclo de vida del producto.
- Cálculo de los daños que pueden causar esos flujos a la Salud Humana, a la Calidad de los Ecosistemas y a los Recursos. Conformándose así las tres categorías de daños.
- Ponderación de las tres categorías de daño.(Goedkoop Y Spriensma, 2001)

- **Agotamiento de los recursos abióticos**

Los recursos abióticos son recursos naturales (incluidos los recursos energéticos) tales como hierro, petróleo y otros recursos que pueden ser considerados como no vivos. El agotamiento de los recursos abióticos depende de las reservas existentes y las tasas de extracción del recurso en concreto, que combinados, ofrecen una indicación de la gravedad del agotamiento de recursos (Guinée J. et al., 2002. )

- **Cambio climático**

El cambio climático se define aquí como el impacto de las emisiones humanas en el forzamiento radiactivo (es decir, el calor de absorción de radiación) de la atmósfera. Esto a su vez puede tener impactos adversos sobre la salud de los ecosistemas, la salud humana y el bienestar material. La mayor parte de estas emisiones incrementan las temperaturas en la superficie de la tierra. Esto se conoce popularmente como el "efecto invernadero". Las zonas de protección son la salud humana, el medio ambiente natural y el medio ambiente por el hombre (Guinée J. et al., 2002. ).

- **Toxicidad humana**

Esta categoría de impacto cubre los impactos sobre la salud humana de las sustancias tóxicas presentes en el medio ambiente. Los riesgos para la salud de la exposición en el lugar de trabajo también se incluyen a veces en la ECV. Estos últimos riesgos a menudo se incluyen en una categoría de impacto más amplio que abarca más de la exposición a sustancias tóxicas (por ejemplo, los accidentes en el trabajo). En esta evaluación, se dará más consideración a los efectos de la exposición a sustancias tóxicas en el lugar de trabajo (Guinée J. et al., 2002. ).

- **Eco toxicidad**

Esta categoría de impacto cubre los efectos de las sustancias tóxicas en los ecosistemas acuáticos, terrestres y sedimentos. La zona de protección es el medio natural (y los recursos naturales). Observe que la discusión sobre la caracterización

de relacionadas con la toxicidad categorías de impacto está lejos de ser resuelto (Guinée J. et al., 2002. )

- **Acidificación**

Los principales contaminantes acidificantes son SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl y NH<sub>3</sub>, con la propiedad en común es que forman la acidificación debido a los iones H<sup>+</sup>. El potencial de un contaminante para la acidificación de este modo se puede medir por su capacidad para formar iones H<sup>+</sup>. El potencial de acidificación se define como el número de iones H<sup>+</sup> producidos por sustancia en relación con kg SO<sub>2</sub> (Bauman Y Tillman, 2004).

- **Eutrofización**

La eutrofización es un fenómeno que puede influir en los ecosistemas terrestres, así como en los acuáticos. El nitrógeno (N) y fósforo (P) son los dos nutrientes más implicados en la eutrofización. Los potenciales de eutrofización se expresan a menudo como PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> equivalentes (Bauman Y Tillman, 2004).

- **Agotamiento del ozono estratosférico**

Agotamiento del ozono estratosférico se refiere a la reducción de la capa de ozono estratosférico, como resultado de las emisiones antropogénicas. Esto provoca una mayor fracción de la radiación UV-B solar alcance la superficie de la tierra, con los posibles efectos perjudiciales sobre la salud humana, la salud animal, los ecosistemas terrestres y acuáticos, los ciclos bioquímicos y materiales. agotamiento del ozono estratosférico incide tanto en las cuatro áreas de protección: la salud humana, el medio ambiente natural, el medio ambiente hecho por el hombre y los recursos naturales (Guinée J. et al., 2002. ).

- **Oxidación fotoquímica**

Este indicador de impacto define sustancias con el potencial para contribuir a la formación de ozono fotoquímico como compuestos orgánicos volátiles (COV), que contienen hidrógeno (no totalmente sustituido) y / o un doble enlace (s) (insaturado). Los potenciales de impacto se expresan como una emisión equivalente de la sustancia de referencia de etileno, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (Hauschild Y Wenzel, 1998).

### **Suposiciones y limitaciones.**

Se deben dejar explícitas las suposiciones o consideraciones que se tomen durante el estudio (en muchas ocasiones no se dispone de todos los datos o se desprecian los que no resultan significativos). Como consecuencia de esto se presentan limitaciones en el ACV las cuales deben quedar indicadas para ser consideradas en la etapa de interpretación de los resultados.

Es importante analizar si se considera o no la distribución y consumo del producto final en correspondencia con la significancia del impacto en esta etapa para la interpretación de los resultados.

Además, todos los procedimientos de cálculo se deben documentar explícitamente y se deben especificar y explicar claramente las suposiciones realizadas.

### **Requisitos de calidad de los datos.**

Los datos para cada proceso unitario que se encuentra dentro de los límites del sistema se pueden clasificar dentro de los siguientes:

- Entradas de energía, materias primas, insumos y otras entradas físicas (Los datos cuantitativos de entradas y salidas se deben referenciar a la unidad funcional. Cuando se agregan entradas y salidas a un sistema producto, el nivel de agregación debe ser consistente con la meta y alcance del estudio).
- Productos, co-productos y residuos (Determinar para cada proceso unitario un flujo de referencia adecuado).
- Emisiones al aire, al agua y al suelo (Los datos sólo pueden ser agregados si están relacionados con substancias equivalentes con impactos similares).
- Otros aspectos ambientales.  
Es importante que los datos a manejar cumplan con los indicadores de calidad necesarios para una interpretación adecuada de los resultados del ACV. Algunos de los parámetros a tener en cuenta son los siguientes
- Vigencia de los datos (temporalidad): para estudios de ACV simplificados o revisiones se pueden usar datos obtenidos de estándares industriales, licencias, registros o informes históricos (control de calidad, administración), bases de datos, de publicaciones periódicas o digitales referenciadas, etc. Para ACV que requieran mayor detalle se recomienda recolectar datos de balances de materiales y energía durante el tiempo que se considere adecuado para el análisis específico.
- Cobertura geográfica: los datos deben corresponder con la instalación objeto de estudio, casos generales del país o a procesos similares. Se debe conocer el porcentaje de lugares que reportan información del número potencial de existencias para cada categoría de datos en un proceso unitario.
- Precisión: medida de la variabilidad de los valores de los datos.
- Representatividad: se tiene que realizar el análisis cualitativo del grado hasta el cual el lote de información refleja el verdadero interés del estudio. Debe especificarse el estado de la tecnología.

Después de la recolección de los datos, los procedimientos de cálculo incluyen (14040, 2006 ) la Validación de los Datos; Relacionar los Datos a los Procesos Unitario y al Flujo de Referencia de la Unidad Funcional. Se recomienda aplicar los mismos procedimientos de cálculo de forma coherente a lo largo de todo el estudio. La Validación de los Datos incluye los balances de masa, energía y los análisis comparativos entre los factores de emisión. Cuando no existan los datos se puede colocar un valor “no-cero” justificado, un valor “cero” si es justificado o un valor calculado basado en datos reportados por procesos unitarios que usen tecnología similar.

Se debe verificar que los datos se hayan validado durante el proceso de recopilación de datos para confirmar y proporcionar evidencia de que se han cumplido los requisitos de la calidad de los datos para la aplicación prevista. La calidad puede controlarse mediante su contraste con otras fuentes, por comparación de datos obtenidos por diferentes vías o procesos similares.

### **3.4.11 Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (AICV).**

En el AICV se cuantifican todas las entradas y salidas que se dan a lo largo del ciclo de vida del producto, en cada uno de los subsistemas que se consideran.

El nivel de detalle que se alcance en el inventario depende de la disponibilidad de los datos y del grado de complejidad con que se obtengan, pudiéndose aplicar una aproximación o simplificación de los mismos en caso que sea necesario.

Los inventarios se realizan teniendo en cuenta los factores planteados en la literatura con respecto a la información disponible por la empresa, los proveedores, clientes y otros medios, que garanticen la fiabilidad y calidad de los datos. La calidad de los datos es un factor indispensable para la credibilidad del estudio y la interpretación de los resultados.

A continuación se refieren los aspectos más importantes a considerar en cada subsistema.

#### **Inventario de la generación de residuos y al consumo energía e insumos.**

Para conformar el inventario en esta etapa se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Caracterización física y cuantificación de los residuos generados.
- Tipo de transportes empleados, características técnicas.
- Distancias recorridas de los camiones recolectores desde la recogida hasta los destinos finales (rellenos sanitarios y otras instalaciones a analizar)
- Consumos de combustible de los recolectores, por las rutas y frecuencias que realizan.
- Algún otro consumo energético.
- Insumos empleados por los trabajadores del sistema de recolección

Algunos de estos aspectos se manejan cualitativamente y aunque no son evaluados directamente en la etapa de evaluación de impactos ambientales, son necesarios para la interpretación de los resultados y permiten arribar a conclusiones importantes.

Los datos para esta etapa se obtienen de índices reportados en la literatura, de reportes de empresas y criterios de expertos en esta área del conocimiento.

Inventario de los procesos de obtención de productos y subproductos y a las emisiones al medio ambiente.

En esta etapa se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cantidades de residuos recibidos en cada una de las alternativas o procesos.
- Consumos de combustible, energía, productos empleados en cada proceso específicamente.
- Consumos de agua.
- Superficie de tierra ocupada o empleada.

La fuente principal de datos en este subsistema es el balance de materiales y energía, los cuales se complementan con reportes de la industria, índices reportados en la literatura y otras fuentes disponibles.

#### **Determinación de la relación de carbono /nitrógeno(C/N).**

Para la determinar la relación carbono /nitrógeno(C/N) de los residuos a compostar y tratar en la digestión anaeróbica, se realizará una estimación a partir de los datos de la caracterización de los residuos y basado en resultados de la composición elemental de este tipo de residuos en base seca, tal como lo realizado en estudios anteriormente publicados como (Chi, Dong, Tang, Huang, Y Ni, 2015; Hanandeh Y El-Zein, 2010). Los valores de referencia son tomados de (Pichtel, 2005; Tchobanoglous Y Theisen, 1993).

#### **Inventario de las emisiones.**

El resultado final de la etapa de inventario es la cuantificación de todas las corrientes involucradas en el modelo del ciclo de vida del producto en análisis agrupadas en cuatro compartimientos: materias primas, productos, subproductos y emisiones tanto al aire, agua como al suelo.

El inventario primario se completa con información de las bases de datos, ya que cuando los datos primarios implican procesos ya creados, como es el caso de los insumos en la etapa agrícola, se produce la generación de datos de fondo que incluyen a su vez, todos los insumos, operaciones y emisiones involucrados en estos procesos. SimaPro permite representar gráficamente el modelo de Inventario Final mediante la red del proceso.

En la figura 2 se muestran los diferentes escenarios a analizar del sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo, y descritos a continuación.

- **Unidad Funcional:** Se utiliza como unidad funcional 1 tonelada de residuos sólidos.
- **Límites del sistema:** En este estudio se analizan cuatro esquemas de sistema de gestión de residuos sólidos, para la ciudad de Puyo.

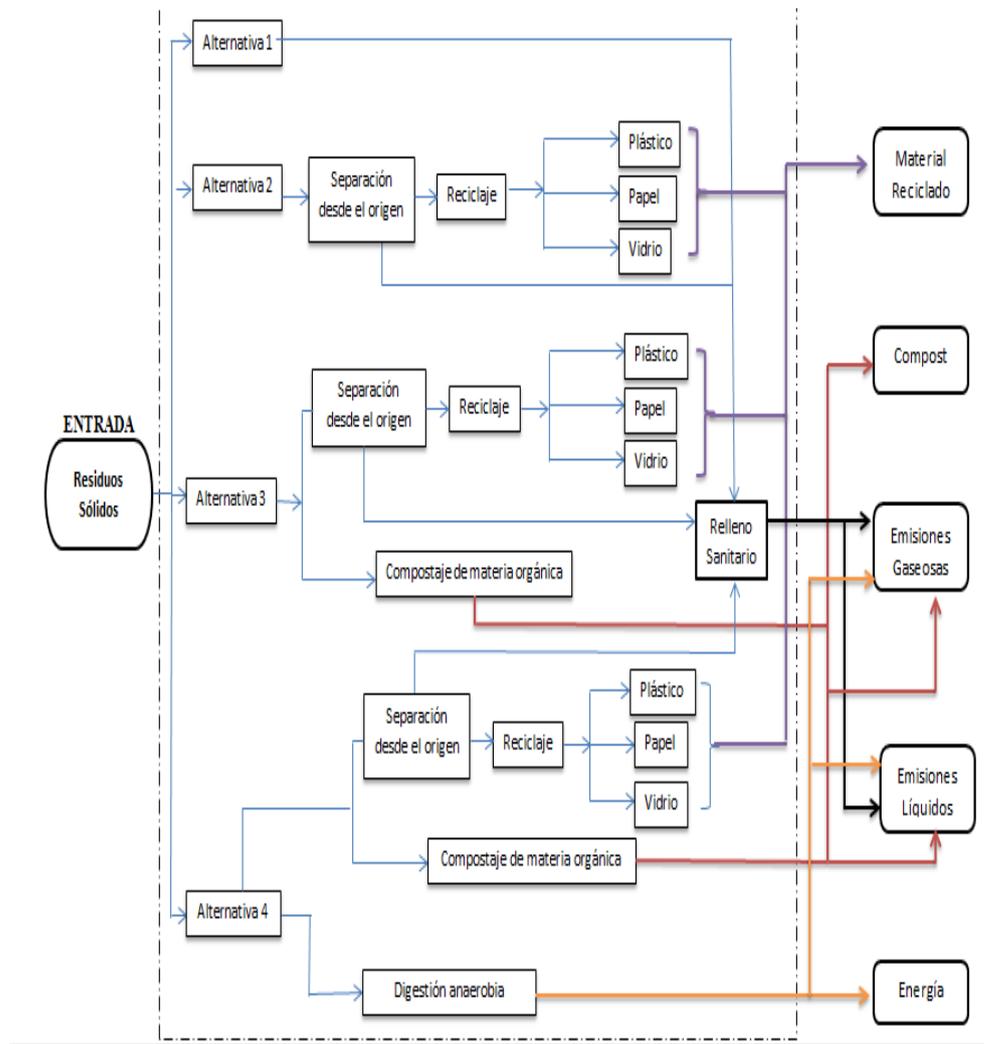
**Alternativa 1:** El primer esquema consiste en el Sistema de gestión integral de residuos sólidos actual, que no incluye aprovechamiento de los residuos (100% relleno sanitario, sin quema del biogás y sin tratamiento de lixiviados, tomándolo como el peor caso).

**Alternativa 2:** el segundo esquema corresponde a soluciones técnicas en la clasificación y recolección (incluyendo alternativas de reciclaje de plástico, papel, vidrio, metales y separación de residuos peligrosos y especiales).

**Alternativa 3:** la tercera variante incluye soluciones en la disposición final (tratamiento de lixiviados, reciclaje de plástico, papel, vidrio, metales, quema de biogás o gases del vertedero, compostaje de la materia orgánica)

**Alternativa 4:** la cuarta variante incluye las mismas soluciones en la disposición final (tratamiento de lixiviados, quema de biogás o gases del vertedero, reciclaje de plástico, papel, vidrio, metales pero con una digestión anaeróbica de la materia orgánica).

Figura 2. Escenarios a analizar del sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo.



FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

### 3.4.12 Recopilación de las emisiones de los diferentes sistemas de gestión de residuos sólidos.

Datos de Emisiones Líquidas.

Los residuales líquidos a considerar son provenientes de la generación de lixiviados en la disposición final en los rellenos sanitarios de la ciudad en estudio. Se tomará el volumen total producido diariamente en la instalación, en unidades  $m^3$ , se revisarán los tratamientos que reciben y se compararán los datos obtenidos de las cargas contaminantes. Estas pueden ser elevadas donde no reciben un adecuado tratamiento pues en la fase de descomposición de los residuos estos se encuentran mezclados con elementos de diverso origen al no existir adecuadas clasificaciones en el origen de los residuales sólidos generados en los hogares, instituciones, comercios, etc. Pudiéndose encontrar trazas de metales pesados, grasas, detergentes y sustancias químicas utilizadas en las actividades domésticas e industriales tales como cloro y desengrasantes, etc.

Los valores de los lixiviados son tomados a partir de los análisis y monitoreos realizados durante los años 2014-2015, las respectivas normas de análisis se encuentran descritas en la tabla #2.

Los análisis de los lixiviados fueron realizados por Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección (LABCESTTA) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en Riobamba y los resultados fueron proporcionados por el Gobierno Municipal del Cantón Pastaza.

Los métodos utilizados para los análisis a las aguas, están basados en Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Edición N° 22. 2012, (E. W. Rice, Bridgewater, American Public Health, Y American Water Works, 2012) y lo establecido en las normas vigentes en materia de aguas y aguas residuales.

Tabla 3: Metodología para la determinación de las emisiones líquidas (lixiviados del relleno sanitario) (E.W. Rice, Baird, Y Eaton, 2012 ).

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de análisis</b>
Caudal (Q)	L/s	Flotador/ Volumétrico/Molinete
pH	-	Standard Methods Ed. 22, 2012, 4500 H-B. Método electrométrico
Sólidos totales disueltos	mg/L	Standard Methods No. 2540 B. Sólidos suspendidos totales secados a 103 – 105 °C
DQO	mg/L	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D. Método Colorimétrico Reflujo Cerrado.
DBO5	mg/L	Standard Methods Ed-22-2012, 5210 B. Prueba DBO 5 días.
Nitrógeno Total	mg/L	Standard Methods Ed-22-2012, 4500-C. Método digestión del persulfato.
Fosforo	mg/L	Standard Methods Ed-22-2012, 4500 P- B & C. Método colorimétrico del Ácido fosfórico Vanadio Molibdeno.
Cromo total	mg/L	Standard Methods Ed-22-2012, No. 3030 B, 3111 B. Método de Metales por espectrometría de absorción atómica de llama.
Cadmio	mg/L	Standard Methods Ed-22-2012, No. 3030 B, 3111 B. Método de Metales por espectrometría de absorción atómica de llama.
Grasas y aceites	mg/L	Standard Methods Ed. 22; 2012, 5520 C y F. Método de partición-infrarroja e Hidrocarburos.
Plomo	mg/L	Standard Methods Ed-22-2012, 3500 Pb. Método Ditizona.
Arsénico	mg/L	Standard Methods Ed. 22; 2012, 3120 B, 3030 D, 3030 E. Método Espectroscopía de Emisión de Plasma.
Cianuros	mg/L	Standard Methods Ed. 22.2012 4500-CN-B y E. Método Colorimétrico.
Sulfatos	mg/L	Standard Methods No 4500-SO4-2 E. Método turbidimétrico
Coliformes fecales	UFC/100ml	Standard Methods Ed. 21, 2005- 9222 D. Termotolerantes fecales. Método de filtración de membrana

Cloruros	mg/L	Standard Methods No APHA 4500-Cl-C. Método del nitrato de mercurio
Fenoles	mg/L	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5530 A & C. Método de extracción con cloroformo
Hierro	mg/L	Standard Methods No. 3500-Fe B 3030-E3111-B. Método de la fenantrolina
Tensoactivos	mg/L	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5540C. Método agentes tenso activos aniónicos MBAS (Sustancias activas al Azul de metileno)
Sólidos Sedimentables	mg/L	Standard Methods Ed. 22; 2012, 2540F. Método de solidos sedimentables.
Mercurio	mg/L	Standard Methods Ed. 22; 2012, 3112B. Método Espectrometría por absorción atómica por vapor frio.

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

En el caso de las emisiones en el relleno de los lixiviados, según la tabla No. 2 En el caso del valor de caudal esta medido, pero es tan elevado debido al alto grado de precipitaciones en la amazonia ecuatoriana.

En los escenarios 3 y 4 a partir de las emisiones esperados en cada uno de los procesos

a) Datos de Emisiones gaseosas.

Los residuales gaseosos provienen de la salida de evacuación de los conductos de los gases del relleno sanitario. La salida de estos gases es libre al medio ambiente y con una alta composición de gases de efecto invernadero como el metano y dióxido de carbono principalmente. Los restantes valores de emisión son calculados con el programa LandGEM - Landfill Gas Emissions Model, Version 3.02, de la Agencia Americana de Protección Ambiental, EPA a partir de los datos de la cantidad de residuos que se dispone en el relleno sanitario y su composición.(LandGEM, 2005)

Las Emisiones al aire son calculadas según el modelo LandGEM, EPA, 2005, que se basa en una ecuación de primer orden de la velocidad de descomposición, para la cuantificación de las emisiones procedentes de la descomposición de los residuos. La generación anual CH<sub>4</sub> a partir del modelo LandGEM está dada por (Ec. (19)).

Ecuación (19)

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

Donde

Q<sub>CH<sub>4</sub></sub> es la generación anual de CH<sub>4</sub> en el año del cálculo (t / año),

i: es el incremento de tiempo de 1 año,

j: es el incremento de tiempo de 0,1 años,

n: es el (año de la cálculo) (año inicial de aceptación de residuos),  
k: es la constante generación de CH<sub>4</sub> (año 1),  
L<sub>0</sub>: es la capacidad potencial de generación de CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup> / t),  
M<sub>i</sub>: es la cantidad de residuos recibidos en el año i (t),  
T<sub>II</sub>: es la edad de la sección j de cantidad de residuos M<sub>i</sub> aceptado en el año i.

Para nuestro estudio se consideran los siguientes datos

k=0.05, empleado para climas tropicales húmedos saturados con 2000 mm o más de precipitaciones.

L<sub>0</sub> = 170 m<sup>3</sup>/t, debido al contenido alto de alimentos en la composición de los residuos.

Composición en volumen=55% metano, Basado en datos seleccionados por (Chiemchaisri Y Visvanathan, 2008), en estudios en zonas tropicales húmedas.

A los efectos de este estudio, se asumió que la celda de residuos en el relleno sanitario de Puyo comenzó a funcionar en 2009 y los residuos se acumularán hasta el año 2019. Con este modelo LandGEM se pudo calcular además de los valores para la generación de biogás, las concentraciones de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NMOV, y H<sub>2</sub>S.

Los valores de emisión emanados por los sistemas de transportación de los residuos son estimados tomando como referencia la Environmental Protection Agency (EPA) a partir del consumo de combustible.

- b) Emisiones gaseosas generadas por el transporte y la maquinaria de operación del relleno sanitario.

Emisiones generadas por el transporte son calculadas en base a (EMEP, 2013), y tomando los datos siguientes: Diesel 16 - 32 t, HD Euro III – 2000, pues los camiones transportadores son HINO Gh 500 1756 (con emisiones categoría Euro III) estos reportes son calculados en base al consumo del combustible (g/kg consumido de diesel).

- c) Entradas al sistema.

Entre la diferentes entradas para la realización de inventario se consideraran todas las posibles que actualmente se emplean en el sistemas de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo, además se calcularan los consumos adicionales para el escenario que se estudiara.

- d) Consumos energéticos.

En el escenario de estudio del sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo se recolectará la siguiente información, relacionadas con los consumos energéticos.

Se investigarán los tipos de transporte del sistema de recolección y sus consumos de combustible. Además se compilarán los consumos de energía empleados por los sistemas de tratamientos actualmente en funcionamiento.

- e) Evaluación de impacto del ciclo de vida

La evaluación del impacto del ciclo de vida (AICV) tiene el propósito de evaluar el impacto ambiental potencial, usando los resultados del ICV. En general este proceso implica la asociación de los datos del inventario con las

categorías ambientales de impacto y los indicadores de impacto. Esta fase también proporciona información para la interpretación de la fase de ciclo de vida. En la sección 3.5 se detallan los indicadores de impacto utilizados en este estudio.

f) Interpretación

En esta fase se identifican, califican, evalúan los resultados del ICV o de AICV y se presentan según los requerimientos especificados en el objetivo y alcance.

g) Selección de indicadores medioambientales

La descripción de los criterios seleccionados basados en el ACV sigue el método Ecoindicator 99.

Las categorías de impacto seleccionadas son: calentamiento global, efectos respiratorios (orgánicos e inorgánicos), eco toxicidad, oxidación fotoquímica, debilitamiento de la capa de ozono, radiaciones, acidificación y eutrofización, uso del suelo y agotamiento de los recursos abióticos (minerales y combustibles fósiles). Algunas de estas categorías han sido evaluadas por (Banar, Cokaygil, Y Ozkan, 2009) en su estudio de aplicación de ACV para la gestión de residuos. A continuación se exponen los indicadores considerados según los aspectos de la sostenibilidad ambiental.

El análisis ambiental se lleva a cabo mediante el software Sima Pro 8.1(SimaPro8.1, 2015), y tiene como objetivos determinar los impactos ambientales, asociados a los sistemas de gestión de residuos sólidos actuales, y las soluciones tecnológicas propuestas basándose en la Metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

### **3.5 Tratamiento de los datos.**

Para el procesamiento de los datos obtenidos durante la caracterización de los residuos sólidos se creará una matriz en Excel en la cual se realizarán los cálculos de la generación, cuantificación, clasificación y densidad volumétrica de los residuos durante los días del estudio. Los datos obtenidos dentro de la matriz también se utilizarán en el programa Statistica versión 8. (STATISTICA, 2007) para obtener los valores medios y la desviación estándar de la muestra y poder comprobar por análisis de varianza si la muestra colectada puede ser validada para los parámetros de la población.

Con el empleo de la misma herramienta informática se graficaran los resultados de la generación per cápita por cada una de las casas en estudio, histogramas de frecuencia de la cantidad de habitantes por hogares, cuantificación de residuos por casas y días, entre otros que permitirán visualizar con mayor comprensión los resultados del estudio.

Por otra parte los datos del sistema de gestión que sean recolectados serán tabulados en Excel para la confección de los escenarios con las emisiones correspondientes al agua, aire y suelo, para posteriormente ser procesados en el software Simapro versión 8.1 (SimaPro8.1, 2015) que nos permitirá la cuantificación de los principales el impactos ambientales asociados a la gestión de los residuos sólidos de la ciudad de Puyo.

### 3.6 Recursos humanos y materiales.

#### 3.6.1 Recursos Humanos.

Los recursos humanos para la realización de la investigación se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 4: Recursos Humanos Empleados en el proyecto.

<b>Recursos Humanos empleados</b>	<b>Cantidad (U)</b>
Personal de apoyo muestreo y estudio caracterización residuos domiciliarios.	7
Personal de apoyo muestreo y estudio caracterización residuos comerciales.	2

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

#### 3.6.2 Materiales y equipos.

Los materiales necesarios para la realización de la investigación se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 5: Materiales utilizados en el proyecto.

<b>MATERIALES</b>	<b>Cantidad (U)</b>
Mapa Base de la Ciudad	1
Fundas de basura	500
Baldes de plástico	5
Cilindro metálico (capacidad 55 galones)	1
Marcadores de tinta permanente (negros)	10
Brochas de 0.025 m de ancho.	5
Guantes	100
Mascarillas	40
Lapiceros	10
Regla	10
Hojas en blanco	500
Tablero de madera para anotaciones.	10

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Los equipos necesarios para la realización de la investigación se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 6: Equipos utilizados en el proyecto.

<b>EQUIPOS</b>	<b>Cantidad(U)</b>
GPS.	1
Balanza.	2
Computadora.	2
Impresora.	1
Cámara de fotos.	1
Licencia Software SimaPro versión 8.1	1
Licencia Software Statistica Versión 8.0	1

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de resultados de la caracterización de residuos sólidos urbanos

*Población de la ciudad de Puyo.*

Se determinó la tasa de crecimiento de la parroquia, considerando los dos últimos censos llevados a cabo en el Ecuador correspondientes a los años 2001 y 2010, detallados en la siguiente Tabla.

Tabla 7: Población de la Ciudad Puyo.

Información según INEC	Habitantes
Población Ciudad Puyo CENSO 2001	25965
Población Ciudad Puyo CENSO 2010	36659
Tasa de crecimiento urbana (2001- 2010)	3.83 %

FUENTE: (INEC, 2010. )

Con la tasa de crecimiento urbana de 3.83 % especificada anteriormente y la información proporcionada por el INEC de la población Ciudad Puyo obtenida en el Censo poblacional 2010, se proyectará la población del año 2015 presentados en la Tabla, mediante el uso de métodos matemáticos. En este caso se usará el método Geométrico en el que la mayoría de procedimientos de proyección de población se basan, siendo este método utilizado en niveles de complejidad bajos, medio y medio alto.

El crecimiento geométrico es aquel en que la población crece a una tasa constante, siendo ésta definida por la siguiente ecuación:

Ecuación (20)

$$P_f = P_0 \left(1 + \frac{r}{100}\right)^k$$

Donde:

Pf: Población a determinar (año 2015).

P<sub>0</sub>: Población del último censo (año 2010).

r: Tasa de crecimiento poblacional observado en el período.

k: Tiempo en años, entre Pf y P<sub>0</sub>.

$$P_{2015} = 36659 \left(1 + \frac{3.83}{100}\right)^5$$

$$P_{2015} = 44238 \text{ habitantes.}$$

*Determinación del tamaño de la muestra.*

Ecuación (21)

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 * N * \sigma^2}{(N - 1) * E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 * \sigma^2}$$

N (total de viviendas de la ciudad de Puyo)= 8270

Z (nivel de confianza 95%) = 1.96

$\sigma$  (desviación estándar)= 0.200 kg/hab/día(recomendado por el CEPIS).

E (error permisible)= 0.05

n= 61.01 viviendas

Considerando un 10% que el CEPIS recomienda añadir, para posibles afectaciones con las viviendas a muestrear en alguno de los días de la caracterización.

n= 69 viviendas.

Tabla 8: Análisis estadístico del comportamiento de la generación de residuos.

	Media	Desviación estándar.( $\sigma$ )	Mínimo (kg)	Máximo (kg)	N
Hab	4,47	2,11	1,00	12,00	66
Día 1	3,56	2,26	0,60	9,78	66
Día 2	3,42	2,10	0,30	9,74	66
Día 3	3,48	2,32	0,24	9,32	66
Día 4	3,45	2,26	0,29	9,53	66
Día 5	3,88	2,27	0,40	10,54	66
Día 6	3,34	2,31	0,20	11,50	66
Día 7	3,17	2,33	0,00	9,31	66
kg/hab/día	0,87	0,42	0,23257	2,33	66
Total de residuos	24,29	11,04	4,09000	55,69	66

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

En la tabla 7 se tomó 66 casas como número de muestra, este valor se obtuvo en base a la metodología que emplea el CEPIS/OPS del Doctor Kunitoshi Sakurai de 1982, y perfeccionada por (Cantanhede et al., 2009).

Una vez obtenido el número de muestras, se calculó la media de la población, la desviación estándar y el valor máximo y mínimo de residuos generados por día en kilogramos, esto se realizó los 7 días que duro el muestreo, obteniendo así los siguientes resultados:

Una vivienda puede estar habitada mínimo 1 persona, de igual manera hay viviendas en donde habitan 12 personas, por esta razón se calculó la media de todas las viviendas muestreadas y se obtuvo 4,47 es decir de 4 a 5 habitantes por vivienda. En cuanto a los valores máximos y mínimos de residuos generados por día, el día 7 fue donde no se generó residuos en las viviendas (0 kg) y el día 6 se generó más residuos (11.5 kg), obteniendo así una PPC de 0,87 kg en la ciudad de Puyo.

Para la determinación de la ppc de residuos comerciales se considera la cantidad de residuos generados en todos los comercios durante los 7 días del estudio y se divide por los días y por la cantidad de pobladores que habitan en la zona donde se encuentran los comercios.

Según estudios poblacionales de la zona habitan 590 habitantes.

En los anexos 1,2 y 3 se pueden observar las gráficas estadísticas de este estudio. Y en los anexos 4, 5 y 6 las tablas de la generación de los hogares y comercios estudiados.

Conociendo los datos de la generación per cápita diaria por habitante en la ciudad del Puyo y con la cantidad de habitantes se puede calcular la cantidad de residuos que se generan diariamente.

Generación total diaria = ppc\*habitantes de Puyo.

Generación total diaria = 0.87 kg/hab/día\* 44238 hab

**Generación total diaria = 38487.06 kg/día.**

Con estos datos y la fracción de cada uno de los elementos de clasificación que se exponen posteriormente se puede tener la cantidad de cada uno de ellos.

#### *Validación de la muestra*

Tomando en consideración nuestros datos obtenidos del procesamiento estadístico de los datos, procedemos a la validación del tamaño de la muestra preliminarmente empleada.

m (total de viviendas muestreadas)= 66

Z (nivel de confianza 95%) = 1.96

$\sigma$  (desviación estándar)= 0.418 kg/hab/día.

E (error permisible)= 0.05

Ecuación (22)

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 * m * \sigma^2}{(m - 1) * E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 * \sigma^2}$$

n= 53 viviendas

Como el valor de n es menor que m (igual a 66 viviendas), por lo que podemos asumir como válido el valor de la muestra m y no se deben eliminar las supuestas unidades muestrales sobrantes.

Tabla 9: Características de los Residuos generados en la ciudad de Puyo.

Tipo	PESO DE LOS RESIDUOS GENERADOS (kg)/ día							Valores	
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	medios	%
Plástico	4.72	3.61	3.51	3.24	2.89	3.14	3.56	3.52	9.37
Papel	3.84	3.36	3.45	4.07	4.63	3.32	3.16	3.69	9.81
Cartón	1.91	2.1	3.16	4.25	4.05	2.36	2.28	2.87	7.64
Orgánico (Restos de alimentos)	21.59	17.28	16.32	17.73	18.93	15.68	13.68	17.32	<b>46.03</b>
Vidrio	4.23	2.55	2.22	2.43	2.85	3.48	0.44	2.60	6.91
Metales	2.05	2.88	3.04	2.71	2.28	2.34	2.1	2.49	6.61
Textiles	1	0	2	2.39	2.24	0.8	2.46	1.56	4.14
Madera, Restos de jardinería	0.88	1.1	0.7	2.1	2.64	1.24	3.05	1.67	4.45
Otros(Cenizas, restos de suelos, etc)	1.46	1.54	1.02	2.25	2.31	2.52	2.21	1.90	5.05
<b>Total</b>	<b>41.68</b>	<b>34.42</b>	<b>35.42</b>	<b>41.17</b>	<b>42.82</b>	<b>34.88</b>	<b>32.94</b>	<b>37.62</b>	<b>100</b>

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

La tabla 8 muestra los resultados provenientes de la clasificación de los residuos en la ciudad del Puyo durante los 7 días del estudio, siendo el 46.03 % de residuos orgánicos provenientes de alimentos la fracción más destacada, estos resultados serán comparados posteriormente con otros estudios.

#### *Peso volumétrico*

Para el cálculo del peso volumétrico de los residuos se consideraron los siguientes datos.

Diámetro Recipiente,	
m	0.5
Altura, m	0.8
Volumen, m <sup>3</sup>	0.15708
Peso, Kg	0.75

Tabla 10: Resultados de los cálculos de los días del estudio de los residuos sólidos.

	1	2	3	4	5	6	7
Volumen de los R.S. (m <sup>3</sup> )	0.15	0.15	0.157	0.157	0.16	0.16	0.157
Tara del recipiente (kg)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Peso bruto (Recip.+R.S.) (kg)	32.44	36.52	28.22	29.66	31.88	34.4	30.64
Peso neto (P.Bruto.-TARA) (kg)	31.69	35.77	27.47	28.91	31.13	33.65	29.89
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	201.74	227.72	174.88	184.05	198.18	214.22	190.29

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

De los valores de la tabla 9 se extrae que la **DENSIDAD MEDIA (kg/m<sup>3</sup>)= 198.72**

Composición elemental de los residuos en base seca.

Tabla 11: Composición elemental de los residuos, en función a una tonelada.

Tipo	Basura (kg)	H (%)	B. H. (kg)	B. S. (kg)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Cenizas (%)						
M.																
Orgánica	470	70	329	141	48	69,7	6,4	9,02	37,6	53	2,6	3,67	0,4	0,56	5	7,05
Papel y cartón	170	6	10,2	159,8	43,5	69,5	6	9,59	44	70,3	0,3	0,48	0,2	0,32	6	9,58
Metal	30	2	0,6	29,4	4,5	1,32	0,6	0,18	4,3	1,26	0,1	0,03		0	90,5	26,60
Vidrio	50	2	1	49	0,5	0,25	0,1	0,05	0,4	0,2	0,1	0,05		0	98,9	48,46
Plástico	130	2	2,6	127,4	60	76,4	7,2	9,17	22,8	29		0		0	10	12,74
Textil	20	10	2	18	55	9,9	6,6	1,19	31,2	5,62	4,6	0,83	0,15	0,03	2,5	0,45
Otros	130	8	10,4	119,6	26,3	31,5	3	3,59	2	2,39	0,5	0,6	0,2	0,24	68	81,328
TOTALES						257	32,8		162		5,65			1,15		186,22

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

De los valores de la tabla 10 se extrae la relación carbono /nitrógeno de los residuos a compostar y tratar en la digestión anaeróbica. Y de las condiciones de generación permitirlo estos resultados podrían ser la base del diseño de un tratamiento térmico, como incineración, gasificación, pirólisis, entre otros.

**Relación C/N=20.5/1.**

#### 4.1.1 Comparación de fracciones de residuos sólidos urbanos generados en Puyo con otras ciudades

Tabla 12: Comparación de resultados de caracterización con otras ciudades del Ecuador.

Fracciones	Puyo Porcentaje Promedio (%)	Quito [1] Porcentaje Promedio (%)	Azogues[2] Porcentaje Promedio (%)	Paute [3] Porcentaje promedio
Orgánica	46.03	56,42	49,30	70
Papel y cartón	17.45	8,57	18.80	5
Metales	6.61	0,86	2,30	1
Vidrio	6.91	2,08	1,60	2
Plástico	9.37	12,45	10,20	10
Textiles	4.14	2,50	4,30	1
Otros	9.50	17.12	13,50	11
Generación (kg per cápita)	<b>0.87</b>	<b>0.8814</b>	<b>0.77</b>	<b>0.42</b>

[1]:(Castillo Pazmiño, 2012). [2]:(Ulloa Ulloa, 2011). [3]:(Guamán Timbi, 2015).  
FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

La comparación de las fracciones expresadas en porcentaje promedio con otras ciudades de Ecuador se presenta en la Tabla 11. Los resultados muestran que Puyo tiene una menor generación de residuos orgánicos que las otras ciudades. La generación de papel, metal, vidrio y plástico fue mayor comparada con Quito, Azogues, Paute. Esta diferencia se puede explicar por el hecho de que los resultados de este estudio son de 2016 y las referencias de las otras ciudades son respectivamente de 2011, 2012 y 2015 respectivamente. Además sería importante agregar que las ciudades de la amazonia en los últimos años han ido alcanzando un crecimiento poblacional acelerado y actividades como el turismo han aumentado considerablemente como actividad económica, modificando los modelos históricos de generación de los residuos. La generación per cápita de la ciudad de Puyo es parecida al promedio de Quito y Azogues, y superior a la de Paute.

#### 4.2 Análisis de los escenarios propuestos.

*Descripción del objeto de estudio, unidad funcional y límites del sistema.*

Tabla 13: Otros estudios de ACV de la Generación de los Residuos Sólidos

Lugar de estudio	Software empleado, metodología.	Unidad Funcional	Autor
Eskisehir-Turquia	SimaPro 7 - CML 2000	1 t de R.S.M.	(Banar et al., 2009)
Minna-Nigeria	SimaPro 7,2 - Impact 2002+	32850 t de R.S.M.	(Ogundipe Y Jimoh, 2015)
Asturias-España	SimaPro7,1 - Impact 2002+	480000 t de R.S. M.	(Fernández-Nava, Del Río, Rodríguez-Iglesias, Castrillón, Y Marañón, 2014)
Macau- China	SimaPro 7,2 - EcoIndicador 99	321752 t de R.S.M.	(Song, Wang, Y Li, 2013)
Distrito de Italia	SimaPro 8 – CML 2000	1 t de R.S.M.	(Di Maria Y Micale, 2015)

Sur de Toscana	SimaPro - Ecoindicador 95'	1 t de R.S.M.	(Lombardi, Carnevale, Y Corti, 2015)
Norte de Francia	Stan 2,5 - Impact 2002+	46,929 t de R.S.M.	(Beylot, Vaxelaire, Zdanevitch, Auvinet, Y Villeneuve, 2015)
Hangzhou - China	EDIP 97	2.502 millones de t de RSM.	(Chi et al., 2015)
España-Castellón De La Plana	ISO 14040-44	1 tonelada	(Bovea, Ibáñez-Forés, Gallardo, Y Colomer-Mendoza, 2010)
Italia-Roma	MFA	1 tonelada	(Cherubini, Bargigli, Y Ulgiati, 2009)
Grecia-Thessaloniki	SimaPro 5.0. Eco-indicator '99	600000 t/año	(Koroneos Y Nanaki, 2012)
Región Aysén País Chile	Eco-indicator '99	1 tonelada de MSW	(Bezama et al., 2013)
África Del Sur Thekwini	Factores de emisión de GHG	10,177 tonelada	(Friedrich Y Trois, 2016)
Vietnam ciudad Da Nang	GHG, Ec degradación de carbón orgánico	11448 toneladas	(Otoma Y Diaz, 2015)
Turquía Sakarya	SimaPro 8.0.2 ,CML-IA	1 tonelada	(Erses Yay, 2015)

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Los diferentes estudios mencionados en esta tabla, gran parte de ellos han trabajado con una unidad funcional de 1 tonelada, mediante el programa SimaPro, el cual permite analizar y calcular diferentes categorías ambientales mediante un producto, proceso o actividad, permitiendo identificar y cuantificar el uso de la materia prima, energía y las emisiones que se ocasionan en el medio. De esta manera se puede evaluar las cargas ambientales que se obtienen a partir de la actividad que se realice durante toda las etapas de su vida, para así plantear estrategias de mejora ambiental. La selección de una tonelada permitirá estandarizar todos los consumos y salidas de las diferentes alternativas de evaluación, pudiendo extrapolar a la producción anual de residuos a partir de los resultados obtenidos.

#### 4.2.1 Análisis de Inventario. Escenario 1 (Actual)

Este escenario es el actual, toda la basura va directa al relleno sanitario.

Los datos de la composición de los residuos se muestran en la tabla 11 y estas serán las principales entradas del escenario 1.

El área del relleno sanitario que ocupa una tonelada de residuos se calcula basado en la densidad de los residuos de 200 kg/m<sup>3</sup> y considerando la altura que se le da a la celda actual de 30 cm.

Tabla 14: Inventario del escenario #1 Etapa: Relleno sanitario.

<b>Entradas. Relleno Sanitario.</b>	<b>Scenario1</b>
Residuos Sólidos (t)	1
Residuos de Alimentos(kg)	460
Residuos de jardinería (kg)	44.5
Nylon PET, Plástico(kg)	93.7

	Aluminio(kg)	27
	Acero o Ferrosos(kg)	39
	Vidrio(kg)	69.1
	Papel y cartón(kg)	174.5
	Textiles(kg)	41.4
	Otros(Cenizas, restos de suelos, etc(kg)	50.5
<b>Total de residuos a relleno</b>		1000
<b>Superficie de terreno ocupada</b>	Relleno sanitario, m2 (transformación)	16.67
	Relleno sanitario, m2 año (ocupación)	333.33
	Área total, m2	350
<b>Consumo combustible operación</b>	Diésel, L, Consumo relleno	1.081
<b>Emisiones al agua</b>	Relleno sanitario	
	V lixiviados(L)	827
	pH	7.36
	TDS (kg)	2.869
	DQO (Kg)	1.039
	DBO (kg)	0.559
	N total (kg)	0.264
	P (kg)	0.0034
	Cr (kg)	0.04
	Cd (kg)	0.0000096
	Grasas y aceites (kg)	2.5
	Pb (kg)	5.1733E-05
	As (kg)	0.0114
	CN-(kg)	1.6267E-05
	SO4 -2 (kg)	0.004
	Cl-(kg)	0.024
	Fenoles(kg)	0.00057
	Fe(kg)	0.00212
	Solidos Sedimentables(kg)	0.00086
	Hg (kg)	0.00032
<b>Relleno sanitario. Emisiones al aire</b>	CO (kg)	0.0016
	NM VOC (kg)	0.675
	NOx (kg)	0.0068
	PM (kg)	0.00014
	SOx (kg)	0.00108
	CO <sub>2</sub> (kg)	258.603
	N <sub>2</sub> O (kg)	4.3257E-05
	Pb(kg)	1.222E-08
	NH <sub>3</sub> (kg)	3.1361E-06
	H <sub>2</sub> S (kg)	0.016
	CH <sub>4</sub> (kg)	115.195

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Los valores de los lixiviados son tomados a partir de los análisis y monitoreos realizados durante los años 2014-2015, las respectivas normas de análisis se encuentran descritas en la tabla 2 del capítulo 3.

En el caso del valor de caudal esta medido, pero es tan elevado debido al alto grado de precipitaciones en la amazonia ecuatoriana.

Sobre el relleno es importante resaltar que no posee las condiciones técnicas para la operación.

Tabla 15: Inventario del escenario #1 Etapa: Transporte.

<b>TRANSPORTE</b>		
<b>Combustible</b>	Diesel, L	10.5
	Transporte tkm	7
<b>Emisiones del transporte</b>		
	CO (kg)	0.0104
	NMVOG (kg)	0.0019
	NOx (kg)	0.0439
	PM (kg)	0.0009
	SOx (kg)	0.0105
	CO <sub>2</sub> (kg)	0.0034
	N <sub>2</sub> O (kg)	0.0003
	Pb(kg)	7.91E-08
	NH <sub>3</sub> (kg)	0.0000203

\*Esta etapa es común para los cuatro escenarios pues en todos las distancias recorridas y el consumo de combustible se estima que sean iguales.

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Como se puede apreciar en la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos del cálculo de las emisiones gaseosas provenientes del transporte según (EMEP, 2013) y basado en el consumo del combustible y las cantidades de residuos transportados capacidades de carga.

#### **4.2.2 Análisis de Inventario. Escenario 2 (Reciclaje).**

En este escenario se depositan en el relleno todos los residuos orgánicos que incluyen restos de alimentos y de jardinería, más los textiles y otros como cenizas, etc. Se reciclan papel, vidrio, metales, plástico. Además regresa al relleno el resto o rechazo de los procesos de reciclaje como el 18% del papel y cartón, 12% de aluminio y el 3% del plástico.

Para los cálculos de los sistemas de reciclaje, se estimaron las emisiones basados en los resultados de la caracterización y tomando en consideración los estudios anteriormente realizados.

El uso del suelo para la superficie del relleno sanitario se calcula a partir de la cantidad de residuos que se depositaran en el mismo (0.64 ton) y considerando los datos obtenidos en el trabajo de campo, densidad de los residuos de 200 kg/m<sup>3</sup> y considerando la altura que se le da a la celda actual de 30 cm.

Las emisiones líquidas del relleno sanitario de este escenario se consideran como el 75 de la carga de los lixiviados al comenzar a reciclar el papel pues este conforma el 25% de la materia orgánica total que aporta los lixiviados o que se descompone de manera anaeróbica.

Tabla 16: Inventario del escenario #2 Etapa: Relleno Sanitario.

<b>RELLENO SANITARIO</b>	<b>Entradas</b>	Escenario 2
	Residuos de Alimentos(kg)	460
	Residuos de jardinería (kg)	44.5
	Textiles(kg)	41.4
	Otros(Cenizas, restos de suelos, etc(kg)	50.5
Total de residuos a relleno, kg		630.74
<b>Superficie de terreno ocupada</b>	Relleno sanitario, m2 (transformacion)	10.67
	Relleno sanitario, m2 yr (ocupacion)	213.33
	<b>Reciclaje,m2/año</b>	2.3438
	Área total, m2	226.3438
<b>Combustible relleno</b>	Diesel, L, Consumo relleno	1.08143
	<b>Salidas. Relleno sanitario.</b>	
<b>Relleno sanitario. Emisiones al agua</b>	V lixiviados(L)	512
	pH	7.36
	TDS (kg)	1.8362
	DQO (Kg)	0.6649
	DBO (kg)	0.3579
	N total (kg)	0.1690
	P (kg)	0.0022
	Cr (kg)	0.0256
	Cd (kg)	0.000006
	Grasas y aceites (kg)	1.6
	Pb (kg)	3.31093E-05
	As (kg)	0.007296
	CN-(kg)	1.04107E-05
	SO4 -2 (kg)	0.00256
	Cl-(kg)	0.01536
	Fenoles (kg)	0.000364
	Fe(kg)	0.001357
	Solidos Sedimentables(kg)	0.000549
	Hg (kg)	0.000205
<b>Relleno sanitario. Emisiones al aire</b>	<b>Maquinaria relleno + emisiones directas del relleno</b>	
	CH4 (kg)	92.1563
	CO2 (kg)	206.8822
	Biogás (kg)	257.536
	NVOC (Kg)	0.54045
	H2S (kg)	0.01282
	CO (kg)	0.00161
	NOx (kg)	0.0068

PM (kg)	0.0001
SOx (kg)	0.0011
N2O (kg)	0.000043
Pb(kg)	1.22201E-08
NH3(kg)	3.13614E-06

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Tabla 17: Estudios de referencias para el Proceso de reciclaje.

Proceso de reciclaje	Estudio de referencia	Eficiencia de los procesos
Cartón y papel.	(Christensen Y Damgaard, 2010b)	1:0.82
Vidrio.	(Christensen Y Damgaard, 2010a)	1:1
Plástico.	(Christensen Y Fruergaard, 2010)	1:0.97
Acero.	(Damgaard Y Christensen, 2010)	1:1
Aluminio.	(Damgaard Y Christensen, 2010)	1:0.88

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Tabla 18: Inventario del escenario #2 Etapa: Reciclaje.

RECICLAJE	RECICLAJE	RECICLAJE
<b>Reciclaje. Entradas</b>		
	Papel y cartón kg	174.5
	vidrio triturado kg	69.1
	Plásticos kg	93.7
	Chatarra de acero kg	39
	Chatarra de aluminio kg	27
<b>Recursos energéticos</b>		
	Gas Natural, Nm3	36.95
	Petróleo, kg	11.92
<b>Recursos</b>		
	Pulpa Sulfato ECF (Cl <sub>2</sub> O) kg	1.56
<b>Materiales auxiliares kg</b>		
	Agua m3	3.1452
	Electricidad kWh	113.4549
	NaCl kg	0.2052
	O2 kg	0.03083
<b>Salidas. Productos</b>		
	Papel reciclado kg	143.0328
	Vidrio kg	68.4158
	Plástico kg	90.7946
	Acero kg	38.5375
	Aluminio kg	23.8938
<b>Salidas. Residuos solidos</b>		
	Residuos al relleno sanitario kg	34.3434
<b>Emisiones al agua</b>		
	Agua residual m3	1.6450

	DQO kg	0.5069
	DBO kg	0.03632
<b>Emisiones al aire</b>		
	CO2 kg	114.3214
	SO2 kg	0.2305
	NOx kg	0.2307
	HCl kg	0.0004
	HF kg	0.0014
	N2O kg	0.0002
	Material particulado kg	0.02814
	Pb kg	0.001095
	Al2O3 kg	0.05257
	HCl kg	0.0048
	NMVOC kg	1.6009

\*Este proceso se repite con los mismos valores en el escenario 3 y 4, pues las cantidades de residuos que se reciclan son iguales a este escenario.

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

### 4.2.3 Análisis de Inventario. Escenario 3 (Compostaje aeróbico).

Para la realización del inventario del escenario#3 fue necesario el análisis del proceso de compostaje, para ello se empleó la metodología descrita por (Mendoza Y Izquierdo, 2007).

En este escenario la fracción orgánica de restos de alimentos y residuos de jardinería se compostan. Se reciclan papel, vidrio, metales, plástico.

En este escenario se depositan en el relleno todos los residuos textiles y otros como cenizas, etc. Además regresa al relleno el resto o rechazo de los procesos de reciclaje como el 17% del papel y cartón y el 19% del plástico. Además se adicionan los residuos del proceso de compostaje biológicos (26.74 kg), basados en el estudio de (Lombardi et al., 2015).

Para poder obtener los resultados realizados del Diseño de la pila de compostaje se consideraron las siguientes dimensiones:

**Base (B)**= 3 m<sup>2</sup>

**Altura (A)**= 1.5 m

**Longitud (L)**= 15 m

**Volúmen aprox. (V)**= 5.4 m<sup>3</sup>

**Área de la Base (AB)**= 7.2 m<sup>2</sup>

Luego se procede a realizar la determinación de los valores que consiste en:

**Producción Per Cápita (PPC)**= 0.87

**Población (P)**= 33557 habitantes

**Fracción de Residuos orgánicos (FRO)** que consiste en la sumatoria de los residuos de alimentos y de jardinería, de lo cual se obtiene lo siguiente:

**FRO**=0.47 + 0.0445

**FRO**= 0.5145

Se debe considerar el cálculo de la Masa (MP Compost) el cual permite obtener la cantidad de residuos que se generan por día a través de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{MP\ Compost = PPC * P * FRO}$$

$$\mathbf{MP\ Compost = 0.87 * 33557 * 0.5145}$$

$$\mathbf{MP\ Compost = 15020.617\ kg/día}$$

Si consideramos la Densidad (D) es  $400\ kg/m^3$ , según (Mendoza Y Izquierdo, 2007) nos permite obtener el Volumen (V) que es el valor de la producción en  $m^3/día$  mediante lo siguiente:

$$\mathbf{V = MP/D}$$

$$\mathbf{V = 15020.617/400}$$

$$\mathbf{V = 37.55\ m^3/día}$$

Para plantear el Volumen mensual (VM) de compost, se considera el volumen (V) de producción  $m^3/día$  por el Tiempo de compostaje (Tc), considerando el lapso de tiempo de 30 días como se muestra a continuación:

$$\mathbf{VM = V * Tc.}$$

$$\mathbf{VM = 37.55 * 30}$$

$$\mathbf{VM = 1126.54\ m^3}$$

A partir de la Masa que se genera por día (MP) y los 30 días (lo que concierne a un mes), nos permitirá obtener el resultado de la generación de masa mensual:

$$\mathbf{M = MP * 30.}$$

$$\mathbf{M = 15020.617 * 30}$$

$$\mathbf{M = 450618.50\ kg}$$

La Unidad de compostaje (UC) es importante ser considerada porque nos permite estimar la cantidad de masa que ingresará al sistema. En donde se calcula lo siguiente:

$$\mathbf{UC = V / 2.25\ (capacidad\ de\ carga\ según\ Colomer\ Mendoza)}$$

$$\mathbf{UC = 37.55 / 2.25}$$

$$\mathbf{UC = 500.69\ m}$$

Se considera el largo de la pila (LP) de  $12\ m$ , entonces mediante este dato se puede conocer la cantidad de pilas (CP) que se necesitan, con la siguiente fórmula:

$$\mathbf{CP = UC / LP}$$

$$\mathbf{CP = 500.69 / 12}$$

$$\mathbf{CP = 41.72}$$

El espacio u ancho entre las pilas (AP) es importante porque permite remover y manejar las parvas. Se debe tomar en cuenta si la operación se realizará de manera manual o mecanizada, en este caso se realizará de manera manual tomando en consideración según (Mendoza Y Izquierdo, 2007) que el ancho del pasillo estará entorno de 2 a 2.5 cm.

$$AP = 0.5 * B$$

$$AP = 0.5 * 3$$

$$AP = 1.5 \text{ m}$$

Mientras que el área necesaria (AN) para pasillos será de:

$$AN = B * LP * CP$$

$$AN = 3 * 12 * 41.72$$

$$AN = 1502.07 \text{ m}^2$$

Tal es el caso que el Área (A) será:

$$A = LP * 4 * B * CP$$

$$A = 12 * 4 * 3 * 41.72$$

$$A = 6008.25 \text{ m}^2$$

El área correspondiente a la mitad del área  $A^{1/2}$  de una pila constará de:

$$A^{1/2} = LP * AP * CP$$

$$A^{1/2} = 12 * 1.5 * 41.72$$

$$A^{1/2} = 751.03 \text{ m}^2$$

Finalmente tenemos el área fina de compostaje (AF) que será de:

$$AF = AN + A + A^{1/2}$$

$$AF = 1502.07 + 6008.25 + 751.03$$

$$AF = 8261.34 \text{ m}^2$$

El uso del suelo para la superficie del relleno sanitario se calcula a partir de la cantidad de residuos que se depositaran en el mismo (0.166 ton) y considerando los datos obtenidos en el trabajo de campo, densidad de los residuos de  $200 \text{ kg/m}^3$  y considerando la altura que se le da a la celda actual de 30 cm.

El área de terreno que se emplea para el compostaje se obtiene, basado en los cálculos del sistema de compostaje, Área de compostaje, tiempo de compostaje según metodología de (Mendoza Y Izquierdo, 2007) (Amlinger, Peyr, Y Cuhls Carsten, 2008). Siendo el valor de  $18.33 \text{ m}^2$  para una tonelada de residuos, en periodos de 3 meses, por lo que serían ocupados  $4.58 \text{ m}^2/\text{año}$

Tabla 19: Inventario del escenario #3 Etapa: Relleno sanitario.

<b>Relleno sanitario</b>	<b>Input</b>	<b>Escenario 3</b>
	Textiles(kg)	41.4
	Otros(Cenizas, restos de suelos, etc (kg)	50.5
	Residuos a relleno de procesos biológicos, kg	27.2829
	Residuos del reciclaje kg	34.34
<b>Total de residuos a relleno</b>		153.5229
<b>Superficie de terreno ocupada</b>	Relleno sanitario, m2 (transformación)	2.7667

	Relleno sanitario, m2/ año (ocupación)	55.3333
	Compostaje, m2/año	4.5825
	Reciclaje, m2/año	2.3438
	Área total, m2	65.0263
	Diésel, L, Consumo relleno	0.5407
<b>Emisiones líquidas</b>	V lixiviados(L)	74.43
	pH	7.36
	TDS (kg)	0.2582
	DQO (Kg)	0.0935
	DBO (kg)	0.0503
	N total (kg)	0.0238
	P (kg)	0.0003
	Cr (kg)	0.0036
	Cd (kg)	8.64E-07
	Grasas y aceites (kg)	0.225
	Pb (kg)	4.66E-06
	As (kg)	0.0010
	CN-(kg)	1.46E-06
	SO4 -2 (kg)	0.0004
	Cl-(kg)	0.0022
	Fenoles(kg)	5.11E-05
	Fe(kg)	0.0002
	Solidos Sedimentables(kg)	7.72E-05
	Hg (kg)	2.88E-05
<b>Emisiones al aire relleno</b>	<b>Emisiones de la operación relleno u otros</b>	
	CO (kg)	0.0008
	NM VOC (kg)	0.0677
	NOx (kg)	0.0034
	PM (kg)	0.000070
	SOx (kg)	0.0005
	CO2 (kg)	25.8605
	N2O (kg)	0.0000
	Pb(kg)	6.11E-09
	NH3(kg)	1.57E-06
	H2S (kg)	0.001602
	CH4 (kg)	11.5195

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Tabla 20: Inventario del escenario #3 Etapa: Compostaje.

<b>Entradas. Compostaje</b>		
	Residuos de Alimentos(kg)	460
	Residuos de jardinería (kg)	44.5
<b>Consumos Compostaje</b>		
	Electricidad Compostaje, kWh	19.575
	Agua [L]	44.901
	Diésel Compost	1.0393
<b>Compostaje. Salidas de productos</b>	Compost, kg	240.24

	Fertilizante (N) (kg)	1.994
	Fertilizante (P) (kg)	0.4805
	Fertilizante (K) (kg)	2.3784
<b>Salida. Residuos Sólidos. Compost.</b>	Residuos a relleno de procesos biológicos, kg	26.739
	Residuos de lodo (kg de peso seco)	0.5444
<b>Emisiones al suelo Compost</b>		
	Cobre (kg)	0.0126
	Níquel (kg)	0.0031
	Plomo (kg)	0.0182
	Zinc (kg)	0.036
	Cadmio (kg)	0.0001
	Cromo (kg)	0.0036
	Mercurio (kg)	4E-05
<b>Compostaje Emisiones al agua</b>	N total (kg)	0.0055
	COT (kg)	0.0232
	DQO (kg)	0.0706
<b>Compostaje. Emisiones al aire</b>	<b>Incluye emisiones consumo de combustible maquinaria compost</b>	
	CO2 Biológico (kg)	131.83
	CO2 Fósil (kg)	21.356
	SO2 (kg)	0.0016
	HCl (kg)	0.001
	NH3 (kg)	0.0116
	H2S (kg)	9E-05
	CO (kg)	0.8996
	NM VOC (kg)	0.0003
	Pb(kg)	1E-08
	PM 2.5 (kg)	0.0001
	NOx (kg)	0.0065
	N2O (kg)	2E-05

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Para los cálculos de los consumos de Diésel se consideró en los 4 escenarios el consumo de combustible medido durante un ciclo de 2 meses de cada uno de los camiones recolectores, siguiendo todas las rutas que abarca la ciudad y sacando un promedio del consumo de combustible por tonelada de residuo transportada hasta el relleno sanitario. En el caso de los escenarios 2, 3 y 4 se considera que las instalaciones se instalaran en los terrenos aledaños al relleno sanitario del Cantón Pastaza, en cuanto al Transporte se realizó el cálculo también basado en la cantidad de residuos promedios que transporta cada uno de los camiones recolectores a través de los resultados tomados del registro de entrada de residuos por cada uno de los viajes efectuados, las rutas de recolección y la distancia a la que se encuentra ubicado el relleno sanitario, tomándose como unidad de medida (t x km).(Ver Tabla 20)

El combustible que se emplea en las operaciones del sistema de compostaje es calculado basado en los estudios realizados por (Blengini, 2008; Erses Yay, 2015). Las emisiones al suelo del compost son calculadas a partir de Según (Dimambro, Lillywhite, Y Rahn, 2007), para un compost de sustratos de restos de alimentos y jardinería, con una humedad de 31.5%.

Tabla 21: Características del transporte de los carros recolectores de la ciudad de Puyo.

Carros Recolectores en la Ciudad de Puyo					
N° Carros	Ga.	Km. Recorridos	Rutas	Ga. x día	Km. x día
4 Hino GH	20	50	5	100	250

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Comparando las emisiones de PM que son valores inferiores a Norma INEN 2207 que tiene 0.14 g/km como límite máximo permisible. (NTE, 2002)

En el caso de la emisiones de SOx Se aplica formula de EEA, considerando que en Ecuador el combustible Diesel Premium tiene una composición de azufre de 500 ppm.

Mediante estos mismos coeficientes de emisión se calculan las emisiones del consumo de combustible en las operaciones del relleno sanitario que corresponden al consumo de la retroexcavadora / t de basura, valores medidos con los reportes de residuos depositados y el consumo real en diésel del equipo durante los últimos 3 meses. La retroexcavadora se considera dentro de la categoría HDV (vehículos pesados) que operan a Diésel. Cabe resaltar que este equipamiento es empleado en el relleno sanitario para las labores de preparación de las celdas, desplazamiento de tierra, las labores de compactación y de sellado de las respectivas celdas. En el caso de los escenarios 3 y 4 Se considera el 50% del gasto de combustible en la operación del relleno, al disminuir la basura que se depositará.

#### 4.2.4 Análisis de Inventario. Escenario 4 (Digestión Anaeróbica).

En este escenario la materia orgánica se somete a Digestión Anaeróbica para la obtención de energía eléctrica, se recicla el papel, vidrio, metales, plástico. Los subproductos de la digestión anaeróbica son compostados.

##### *Digestión Anaerobia (DA).*

Los sistemas de DA para el tratamiento de los residuos orgánicos de los RSU son costosos y ese ha sido uno de los principales impedimentos para aplicarlos en zonas de bajos recursos económicos en donde los SDF siguen siendo las opciones menos costosas para tratar los residuos (Li, Park, Y Zhu, 2011) es importante considerar que los costos de operación sean bajos para así poder recuperar la inversión inicial y poner en marcha cualquier tipo de sistema por DA (Díaz Luis, Savage George, Eggerth Linda, Y G., 1993)

Los países como España, Holanda, Alemania, Bélgica, Suiza y entre otros han desarrollado a través de los programas BTA, Dranco, Kompogas, Valorga, Wassa que son tecnologías que permite valorizar los residuos los cuales se menciona que cumplen con tales requisitos pero es importante considerar que muchos de ellos tienen excepciones como es el proceso Waasa, ya que es un sistema que requiere otro tipo de residuos orgánicos como el estiércol. De esta manera se puede determinar cuál de estas tecnologías sería mejor. El sistema Dranco procesa una cantidad de 27-287 t/día pero solo trabaja con el tipo de residuo de jardín y papel el cual producirá un tipo de energía de 220 a 440 kW/ton de residuos, por ello de manera general la mejor opción de todas es el sistema BTA en cual procesa residuos orgánicos que pueden ser derivados de los residuos sólidos municipales,

con una capacidad flexible de 5.5-548 t/día y a su vez produce un tipo de energía de 13.698 kW/t/día siendo este el sistema con un mayor número en producción de energía y también uno de los más económicos y usados por la mayor parte de países latinos, norteamericanos y parte de Asia.

Para el cálculo de capacidad de la planta nos basamos en tomar los datos a partir de los residuos de la caracterización, la estimación de la población y la generación de residuos diarios, tomando las fracciones de los residuos que se van a procesar, en este caso restos de alimentos, residuos de jardinería, tenemos entonces, 0.504 kg/kg de Residuos sólidos (46% restos alimentos, 4.4 residuos de jardinería), con la generación total diaria de 38487.06 kg/día, tendremos 19416.72 kg(19.4 t) de residuos orgánicos diarios a procesar, cantidad de residuos que se encuentra dentro del rango de la BTA Tecnologic.

Para ello en la digestión necesitamos 174.74 m<sup>3</sup> de agua (Densidad del agua 1000 kg/m<sup>3</sup>).

Si tomamos en consideración que la densidad de los residuos orgánicos restos de alimentos fracción mayoritario es de 400 kg/m<sup>3</sup>(Mendoza Y Izquierdo, 2007), tendríamos un volumen de residuos de 48.54 m<sup>3</sup>, para un volumen diario de líquido a digerir de 223.29 m<sup>3</sup>, si esta tecnología tiene 15 días de retención, entonces el volumen de digestión es 3349 m<sup>3</sup>, lo que con un 10% de sobredimensionamiento 3684 m<sup>3</sup> de capacidad del digestor.

En el anexo #9 se pueden mostrar los principales datos técnicos de las principales tecnologías disponibles y mencionadas en este trabajo.

Para el cálculo del uso del suelo por la instalación de la planta se considera que la misma ocupará un área de 2 ha, lo que considerando la vida útil de la misma de 15 años y el flujo de residuos anual, sería un área ocupada para nuestra unidad funcional de 1.56 m<sup>2</sup>/año.

El área de terreno que se emplea para la bio- digestión anaeróbica y el compostaje se obtiene, Basado en los cálculos del sistema de AD, de BTA Tecnologic, (Bozano Gandolfi, 2008; Lombardi et al., 2015)

BTA: este es un sistema de múltiples etapas de bajo contenido de sólidos para el tratamiento de cualquiera de residuos sólidos mixtos o separados en la fuente. BTA combina los residuos pre-tratamiento y etapas de separación en una instalación completamente cerrado y, según informes altamente automatizado, cuya capacidad puede ser de entre 2000 y 150.000 Mg / año(Rahn Y Gandolfi, 2007; Verma, 2002 ). Es un proceso en húmedo de digestión anaeróbica que fue concebido en 1984 y consta de pre-tratamiento húmedo mecánica y la conversión biológica de la materia orgánica mediante el uso de AD (Blischke, 2004)

El cálculo de los sólidos totales y el contenido de sólidos totales volátiles se modela con los resultados de (Lombardi et al., 2015). Se supone un valor de eficiencia de la degradación sólidos totales volátiles del 54% y la composición volumétrica del biogás se estima igual a H<sub>2</sub>O = 5%; CO<sub>2</sub> = 33%; CH<sub>4</sub> = 62% (Bozano Gandolfi, 2008) Los resultados específicos de rendimiento en metano se consideran aproximadamente 0.260 Nm<sup>3</sup> / kg sólidos totales volátiles, que cae dentro del rango de los valores recogidos en la literatura (Khalid, Arshad, Anjum, Mahmood, Y Dawson, 2011), valores similares para composición del biogás y la eficiencia de la degradación TVS se pueden encontrar en otras fuentes bibliográficas (Mata-Alvarez, 2003; Pognani, Barrena, Font, Y Sánchez, 2012).

El valor calorífico del metano para esta tecnología se considera 6,178 kWh/Nm<sup>3</sup> según (Bozano Gandolfi, 2008)

Tabla 22: Inventario del escenario #4 Etapa: Relleno sanitario.

<b>Relleno sanitario</b>	<b>Entrada</b>	Escenario 4
	Textiles(kg)	41.4
	Otros(Cenizas, restos de suelos, etc (kg)	50.5
	<b>Residuos a relleno de procesos biológicos, kg</b>	49.28965
	<b>Residuos del reciclaje kg</b>	34.34
Total de residuos a relleno		175.5297
<b>Superficie de terreno ocupada</b>	Relleno sanitario, m2 (transformación)	3.133333
	Relleno sanitario, m2 año (ocupación)	62.66667
	<b>Dig. Anaerobia, m2/año</b>	1.5625
	<b>Reciclaje, m2/año</b>	2.34375
	Área total, m2	69.70625
	Diesel, L, Consumo relleno	0.540714
<b>Emisiones líquidas</b>	V lixiviados(L)	82.7
	pH	7.36
	TDS (kg)	0.286907
	DQO (Kg)	0.103893
	DBO (kg)	0.05592
	N total (kg)	0.026413
	P (kg)	0.000344
	Cr (kg)	0.004
	Cd (kg)	9.6E-07
	Grasas y aceites (kg)	0.25
	Pb (kg)	5.17E-06
	As (kg)	0.00114
	CN-(kg)	1.63E-06
	SO4 -2 (kg)	0.0004
	Cl-(kg)	0.0024
	Fenoles(kg)	5.68E-05
	Fe(kg)	0.000212
	Solidos Sedimentables(kg)	8.58E-05
	Hg (kg)	0.000032
<b>Emisiones al aire relleno</b>	<b>Emisiones de la operación relleno u otros</b>	
	CO (kg)	0.0008
	NMVOC (kg)	0.0002
	NOx (kg)	0.0034
	PM (kg)	0.000070
	SOx (kg)	0.0005
	CO <sub>2</sub> (kg)	0.0003

N2O (kg)	0.0000
Pb(kg)	6.11E-09
NH3(kg)	1.57E-06
H2S (kg)	0.001602
CH4 (kg)	11.5195422

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Los flujos de entrada y salida para la línea de tratamiento de la Digestión anaeróbica húmedo se calcularon se emplean en referencia a la fracción orgánica de 1 tonelada de entrada de residuos sólidos municipales, donde el biogás producido se utiliza para co-generar energía eléctrica (EE) y energía térmica (TE) en un motor de combustión interna (ICE). Por lo tanto, suponiendo 0,39 y 0,40, como las eficiencias de conversión de EE (ICE) y TE respectivamente, y teniendo en cuenta los consumos internos de EE-igual a 60,68 kWh / ton (Bozano Gandolfi, 2008)-y-TE igual a 115.64 kWh / ton (Bozano Gandolfi, 2008), posteriormente se calcularon las producciones netas de EE y ET. Además, se consideraron principales atmosféricas emisiones de ICE, suponiendo factores de emisión de óxidos de nitrógeno (NOx: 4.000 kg / 106 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>), partículas (PM: 770 kg / 106 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>), y monóxido de carbono (CO: 7.500 kg / 106 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>) para la combustión de metano en el ICE (US-EPA, 2000)

Para el tratamiento de los lixiviados se considera un tratamiento a base de lodo activado, la estimación de los consumos eléctricos para la aireación, la producción de lodos, y el consumo de metanol para la desnitrificación, son calculados de acuerdo con el procedimiento de cálculo simplificado deducida a partir de la literatura (Orhon Y Artan, 1994; Sedlak, 1991). En particular, a partir suposición del contenido de DQO y de amonio de las aguas residuales, se estimó la demanda de oxígeno (4,21 kgO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>); a continuación, teniendo en cuenta un consumo específico de 0,5 kWh / kgO<sub>2</sub> y sabiendo que el consumo de aireación es de un 60% del consumo total de electricidad, se estimó el consumo total de EE específica (3,50 kWh / m<sup>3</sup>). El consumo de metanol (0,58 kg / m<sup>3</sup>) para la desnitrificación se estimó calculando el carbono adicional requerida, con respecto a la disponible DQO. Por último, la producción de lodos se estimó por medio del balance de masa (4,79 kg Solidos totales / m<sup>3</sup>).

**Tabla 23:** Inventario del escenario #4 Etapa: Digestión Anaeróbica – Compostaje.

<b>Entrada Digestión Anaeróbica +Compost.</b>	
Residuos de Alimentos(kg)	460
Residuos de jardinería (kg)	44.5
<b>Consumos. Digestión Anaeróbica +Compost</b>	
Agua [L]	228.768
Diesel Compost	0.696311
Consumo de metanol (kg)	0.22717
Floculantes (kg)	0.37291
Electricidad Pre-tratamiento DA (kWh)	21.9291
Electricidad para el compostaje (kWh)	6.51544
Electricidad para el tratamiento de aguas residuales (kWh)	1.36635

Consumo de Electricidad total (kWh)	30.6131
Energía térmica para DA (kWh)	46.6723
Petróleo (kg)	6.9E-05
<b>Digestión Anaeróbica +Compost. Salidas de productos.</b>	
Producción total de Energía Eléctrica (kWh)	78.6382
Producción total de Energía Térmica (kWh)	80.6545
Energía Eléctrica neta (kWh)	48.0251
Energía Térmica neta (kWh)	33.9822
Biogás, m3	32.6378
Compost, kg	160.491
Fertilizante (N) (kg)	1.3321
Fertilizante (P) (kg)	0.3210
Fertilizante (K) (kg)	1.5889
<b>Salida. Residuos DA.</b>	
Residuos a relleno de procesos biológicos, kg	26.7385
Fangos de la depuradora de aguas residuales (kg de peso seco)	0.00187
<b>Emisiones al suelo DA</b>	
Cobre (kg)	0.00839
Níquel (kg)	0.00204
Plomo (kg)	0.01213
Zinc (kg)	0.02404
Cadmio (kg)	8.6E-05
Cromo (kg)	0.00237
Mercurio (kg)	2.7E-05
<b>DA. Emisiones al aire</b>	<b>Incluye emisiones consumo de combustible</b>
CO2 (kg)	0.00219
SO2 (kg)	0.0007
NH3 (kg)	9.1E-06
CO (kg)	0.24196
NMVOG (kg)	0.00134
Pb(kg)	3.6E-08
PM 2.5 (kg)	0.02495
NOx (kg)	0.14946
N2O (kg)	3.6E-05

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

### 4.3 Evaluación ambiental de los escenarios de Sistema de gestión de residuos sólidos para la ciudad de Puyo.

La evaluación ambiental del sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo se realizó con la metodología del análisis de ciclo de vida, con empleo del software SimaPro, versión 8.1.

Las emisiones son analizadas mediante el método Eco-indicator 99. Este modelo evalúa los daños a la salud humana, la calidad de los ecosistemas y el agotamiento de los recursos como criterios de valoración que se explican de la siguiente manera.

La salud humana: el supuesto básico es que todos los seres humanos, en la actualidad o en el futuro, deben estar libres de enfermedades de transmisión con el medio ambiente, las discapacidades causadas por la contaminación y muertes prematuras.

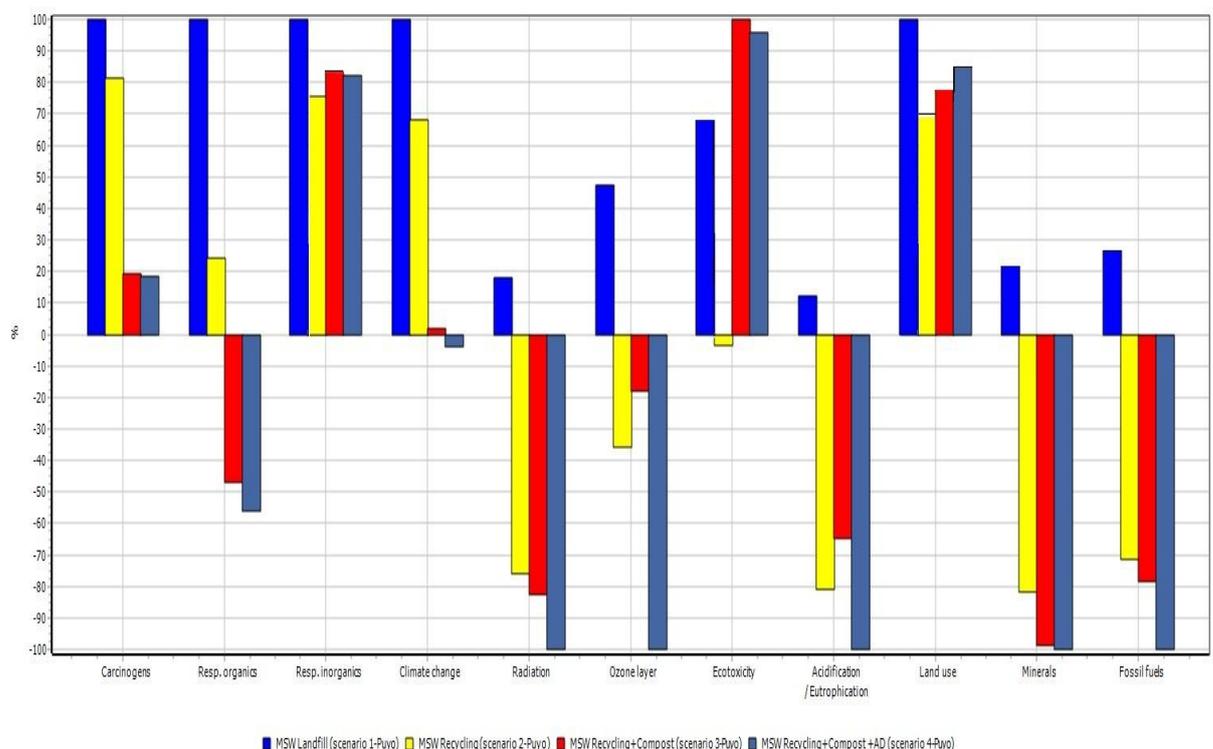
El cambio climático, el agotamiento de la capa de ozono, la radiación ionizante, efectos respiratorios (respiración por inorgánicos y orgánicos), y la carcinogénesis se clasifican en esta categoría los daños (Goedkoop Y Spriensma, 2001).

La calidad del ecosistema: este daño contiene la idea de que las especies no humanas no deberían sufrir cambios perturbadores de sus poblaciones y la distribución geográfica. La acidificación / eutrofización, ecotoxicidad, uso del suelo se clasifican en esta categoría los daños. (Goedkoop Y Spriensma, 2001).

La categoría de daño a los recursos se refiere principalmente a los consumos de recursos minerales y fósiles: esta categoría mide el requerimiento de energía adicional para compensar la producción futura de minerales (Goedkoop Y Spriensma, 2001).

Once categorías de impacto se evalúan para considerar los posibles efectos ambientales de la gestión de residuos sólidos en la ciudad de Puyo: el cambio climático, la acidificación, el efecto de las vías respiratorias (orgánicos e inorgánicos), la carcinogénesis, la radiación ionizante, eco toxicidad, agotamiento de la capa de ozono, acidificación / eutrofización uso del suelo y consumo de minerales y combustibles fósiles. (Ver Figura 3)

Figura 3: Posibles efectos ambientales de la gestión de residuos sólidos en la ciudad de Puyo.



Comparando 1 ton MSW Landfill (scenario 1-Puyo), 1 ton MSW Recycling (scenario 2-Puyo), 1 ton MSW Recycling+Compost (scenario 3-Puyo) y 1 ton MSW Recycling+Compost+AD (scenario 4-Puyo); Método: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe E199 H/A / Evaluación del daño

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

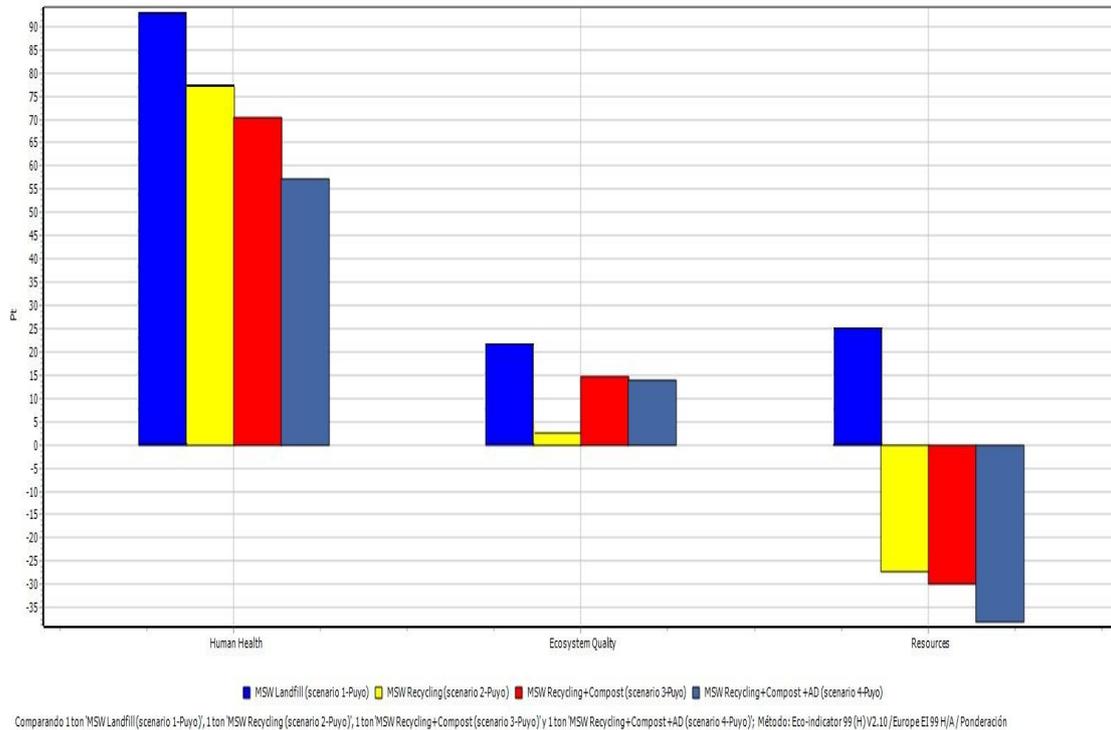
Como se puede observar en la Figura 3, la evaluación de los 4 escenarios en cada categoría de impacto elegido, basado en Eco-Indicador 99, muestra.

- a) Carcinogénesis: Los metales pesados son los principales responsables de la carcinogénesis. Y entre ellos, el cromo y metales emitidos en el aire son los más y los menos eficaces emisiones en los escenarios de ambos. Tener metales pesados con altas concentraciones, el primer escenario tiene el impacto ambiental peor en términos de la carcinogénesis, también esto se atribuyen a las sustancias orgonocloradas que se emiten.
- b) efectos respiratorios: Los óxidos de nitrógeno tienen los efectos respiratorios más adversos en el estudio, en el relleno sanitario sobresalen estas emisiones, donde el escenario #1 tiene el efecto más indeseable en esta categoría de impacto. Igualmente estos compuestos, indicadores de la respiración por inorgánicos presentan valores considerables en el escenario 3, debido al volumen de NOx liberado durante el compostaje. Mientras que los compuestos orgánicos volátiles (COV) responsables de la respiración por orgánicos tienen un efecto menos significativo en la respiración en todos los casos, siendo el escenario #1 el peor escenario nuevamente. Esta categoría se mide en DALY que representa la pérdida de un año o equivalente a un año de completa salud, o sea la pérdida de un año 100% saludable (Alvis Y Valenzuela, 2010), de ahí la importancia de considerar los impactos de los inorgánicos, que aunque los valores de 0,00184 en el primer escenario y 0.0014 del tercero son discretos no se pueden despreciar.
- c) Cambio climático: El escenario actual es sin dudas el peor en este indicador pues la generación de metano del relleno sanitario sin la recuperación de energía tiene un efecto negativo y directo en la categoría de impacto. También las emisiones de CO2 que son acompañantes del biogás del vertedero, la alternativa 2 también presenta una notable contribución negativa en esta categoría, dado en su principal caso por los procesos de reciclaje que consumen electricidad y combustible para ser reprocesados y las cargas ambientales de los mismos incide en esta categoría. Anteriores investigaciones (Banar et al., 2009; Finnveden, Johansson, Lind, Y Moberg, 2005; Hong, Li, Y Zhaojie, 2010), le han atribuido mayor contribución al calentamiento global a los rellenos sanitarios que el compostaje aeróbico y anaeróbico de ahí que también en nuestro estudio los escenarios 3 y 4 sean los más positivos en este indicador.
- d) Ecotoxicidad: El tercer escenario provoca mayores danos a la eco toxicidad, lo caula está muy relacionado con las emisiones de metales pesados del compost al suelo, y también con otras emisiones del compost al agua, y los metales de los lixiviados y gases del relleno sanitario, pues después le sigue en esa categoría como peor escenario el escenario de digestión anaeróbica que también tiene las contribuciones del compost que se elabora posterior de la digestión y el escenario base donde se cuantifican las emisiones de los lixiviados y gases del relleno sanitario, siendo en esta categoría el mejor escenario el 2 con las alternativas de reciclaje que al ser procesos evitados, impiden las emisiones de metales pesados y otros contaminantes tóxicos derivados de los procesos extractivos y de procesamiento como el del aluminio que es altamente toxico. En el caso de (Erses Yay, 2015), el vertedero es considerado el mejor escenario ambiental, pero este sistema posee sistema de captación y control de los gases que se utiliza para generar electricidad, y en ese mismo estudio el proceso de compostaje es el escenario ambiental peor debido a la falta de un sistema de este tipo. El efecto del transporte en esta categoría también contribuye en cierta medida pero no se considera que tenga un efecto tan significativo como en el caso de (Finnveden et al., 2005).
- e) Procesos de acidificación/ eutrofización: La acidificación del escenario #1, residuos sólidos directos al relleno sanitario es la peor alternativa en esta evaluación, esto esta debido principalmente a las emisiones de NOx y NH3, respectivamente. El SOx contribuye menos a la acidificación y sus emisiones son menores en comparación con las de NOx. (Banar et al., 2009) Argumenta también que los vertederos tienen un impacto severo en el proceso de acidificación.
- f) Debilitamiento de la capa de ozono: en esta categoría aunque no existen graves daños se puede argumentar que los valores del escenario #1 están asociados a los posibles compuestos orgánicos clorados que se pueden formar a partir de las emisiones de biogás o por algunos de los compuestos fenólicos que han sido identificados en los

- lixiviados, pues esta categoría se mide como la capacidad de agotar la capa de ozono específicamente en la emisiones de Clorofluorocarbonos (CFC).
- g) Radiación ionizante: los valores en esta categoría no son significativos pues esta categoría se ocupa de analizar impactos producto de las emisiones de sustancias radioactivas y en las emisiones de los sistemas en estudio no existen reportes de elementos radioactivos.
  - h) Recursos: Para minimizar los impactos a los recursos (mineral y el agotamiento de los combustibles fósiles), se prefiere el cuarto escenario, pues en este escenario se obtiene electricidad a partir de la tecnología de digestión anaeróbica, donde se producen por los residuos de entrada. 78 kwh o 280.6 MJ en media tonelada de residuos orgánicos, valores muy superiores a los 200,6 MJ por tonelada de residuos de (Abduli, Naghib, Yonesi, Y Akbari, 2011), por otra parte (Mendes, Aramaki, Y Hanaki, 2004) concluyeron que la recuperación de energía en los vertederos reduce ligeramente el impacto ambiental pero en nuestro estudio el relleno sanitario no cuenta con las instalaciones necesarias y el nivel de metano que se genera a partir de los residuos depositados no permite acometerla en los próximos años. Sin embargo, (Hong et al., 2010) reportaron que la recuperación de la electricidad a partir de gas metano es el factor clave para reducir el impacto potencial de calentamiento global.
  - i) Uso del suelo: En cuanto a esta categoría se puede ver en la figura que el peor escenario está dado por el escenario #1 donde el relleno sanitario ocupa una extensión de suelo determinada que recibe una serie de contaminantes directamente afectando el ecosistema. Medido en dos partes principalmente ocupación y transformación del suelo, siendo una manera de mostrar la afectación a los ecosistemas de los alrededores donde se encuentran las instalaciones de procesamiento de los residuos.
  - j) Minerales: en este indicador se puede ver que los escenarios futuros tienen el mejor comportamiento ambiental, pues en todas estas alternativas aparecen estrategias de recuperación de los recursos, en el escenario 2 todos los rubros reciclables, en el 3 los reciclables y fertilizantes y en el último escenario reciclables, abonos y la generación de electricidad a partir de los desechos mostrándose como el mejor escenario en esta categoría.
  - k) Combustibles fósiles: Este indicador presenta un comportamiento muy similar al de los minerales pues guardan mucha relación pues el consumo de recursos minerales está muy estrechamente relacionado con los combustibles fósiles, siendo el mejor escenario el #4 y el peor escenario el actual, al tener consumos provenientes de la gestión y no tener ningún aprovechamiento de los residuos que se generan.

La figura 4 muestra la ponderación en unidades de los impactos agrupados, y explicados por separados anteriormente.

Figura 4: Evaluación de los 4 escenarios en cada categoría de impacto elegido.

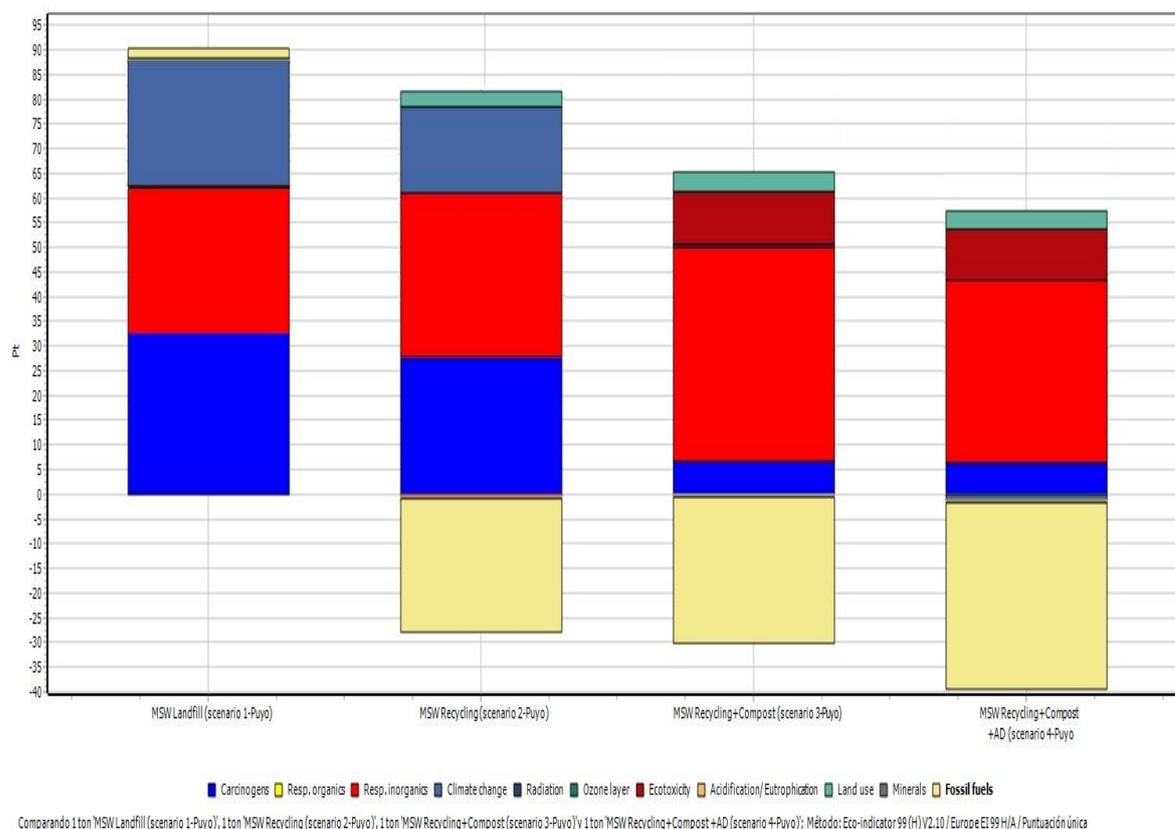


FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

En la figura 5 se puede observar la puntuación única de cada uno de los escenarios evaluados donde podemos comparar cuanto incide cada categoría en la evaluación final del análisis de ciclo de vida del sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de puyo (escenario 1 actual, escenarios 2, 3 y 4 futuros).

El escenario 1 o escenario actual es sin dudas el que presenta mayores impactos ambientales y el escenario 4 el mejor escenario con mayores impactos ambientales evitados (valores por debajo de la barra 0), dado en gran medida por el nivel de aprovechamiento de los residuos tanto en el reciclaje como en la digestión anaeróbica y compostaje donde se produce electricidad y abonos orgánicos que sustituyen los procesos de producción de fertilizantes químicos.

Figura 5: Escenarios en cada categoría de impacto de la evaluación final del ACV del sistema de gestión de residuos sólidos



FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

#### 4.4 Comparación con otros estudios realizados.

La tabla 23 muestra los resultados de este estudio que puede compararse con las tablas #24 y 25, que muestran los resultados de otros estudios publicados, de análisis de ciclo de vida en sistemas de gestión de residuos sólidos, donde se muestran algunas de las categorías de impactos e indicadores evaluados en nuestro estudio.

##### *Calentamiento global.*

Como se puede apreciar los resultados del estudio de (Banar et al., 2009) realizado en Turquía en la ciudad Eskisehir, la categoría Calentamiento global son similares a los obtenidos en este estudio en el escenario 1 (100% R.S.), aunque los procesos del escenario tomado del estudio de (Banar et al., 2009) presenta: recuperación de materiales y reciclaje. Con este resultado se puede determinar que la composición de los residuos generados en Eskisehir poseen cargas más contaminantes que en la ciudad de Puyo.

En cuanto al mejor escenario de este estudio, es el #4 ya que se aplica reciclaje, compostaje y digestión anaeróbica (DA), al analizar el estudio de (Lombardi et al., 2015), se observa que los resultados son los mismos, esto se debe a que en uno de sus escenarios aplica la hipótesis de la construcción de una planta de DA.

La tabla 25 muestra varios estudios realizados donde se evalúa este indicador, en

emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente/t de residuos. La modelación de la generación en relleno sanitario sin colección de biogás en eThekweni Sudáfrica año 2014 (Friedrich Y Trois, 2016) tiene un valor muy superior al arrojados en el escenario 1, sin embargo todos los escenarios propuestos por (Otoma Y Diaz, 2015) en Viet Nam en estudios de una tonelada de residuos orgánicos de los mercados, reflejan emisiones de CO<sub>2</sub> por debajo de los resultados de los escenarios actual y futuro del sistema de gestión de residuos de la ciudad de Puyo.

#### *Acidificación y Eutrofización*

En la categoría de acidificación y eutrofización se analizó ambas categorías, en las cuales se puede considerar que el escenario 1 muestra un valor elevado, esto se debe a que los residuos están siendo depositados en el RS sin previo tratamiento, al comparar con el estudio de (Ogundipe Y Jimoh, 2015) realizado en Minna, se puede evidenciar una similitud en los resultados, ya que los procesos empleados en ambos escenarios son similares y la materia orgánica no está siendo tratada, ocasionando así que los suelos se acidifiquen.

Al comparar el mejor tratamiento aplicado en este estudio, se puede determinar que el Escenario 4 (DA) aplicado a los residuos sólidos, es el que menos cargas contaminantes emite al ambiente y al comparar con el estudio de (Erses Yay, 2015) realizado en Sakarya se aprecia que en el escenario donde se realizó reciclaje y compostaje arroja un valor parecido a este estudio.

#### *Respiratorios (orgánicos e inorgánicos)*

En este análisis se evalúan por separados los efectos respiratorios (orgánicos e inorgánicos) y como se habían planteado anteriormente los efectos de los mismos es importante considerarlo dada la incidencia directa sobre la salud humana en otros estudios de la tabla 24 se podrían comparar con los resultados de toxicidad humana solo que con otra unidad de medida lo que complejizaría la comparación.

#### *Agotamiento de la capa de ozono.*

La categoría Agotamiento de la capa de ozono en el escenario # 1 (RS actual), indica un resultado mayor de emisiones, que están ocasionando el deterioro de la capa de ozono, en si los resultados no son tan elevados pero en comparación de los otros escenarios propuestos, el escenario que emite mayor cargas contaminantes a la atmosfera. Si realizamos la comparación con uno de los escenarios propuestos por (Erses Yay, 2015), se puede visualizar que el escenario en donde se realiza reciclaje arroja resultados parecidos al de este estudio, con este dato se puede determinar que la composición de los residuos de Puyo contienen características similares a los evaluados en Sakarya, Turquía.

Si evaluamos el escenario #4 propuesto en este estudio, se puede observar que es el mejor tratamiento para reducir el agotamiento de la capa de ozono, ya que al aplicar reciclaje a la materia aprovechable, digestión anaeróbica a los residuos orgánicos y compostaje a la materia sobrante, se obtendrá un manejo integral de los desechos y por ende las emisiones a la atmosfera reducirán, la poder producirse energía y otros componentes útiles con el consiguiente ahorro o evitado de producir estos rubros a partir de recursos o materias vírgenes.

El estudio de (Di Maria Y Micale, 2015), aplicando el mismo tratamiento del escenario # 4 de este estudio, obtiene un valor que se asemeja al presente estudio. Por esta razón se puede concluir que la Digestión Anaeróbica es una de las mejores

alternativas para evitar el agotamiento de la capa de ozono.

#### *Ecotoxicidad.*

Los valores de ecotoxicidad de nuestro estudio ya fueron discutidos anteriormente en la sección anterior y en los estudios consultados no se muestran resultados para realizar la comparación con los obtenidos en la gestión de los residuos de la ciudad de Puyo.

#### *Oxidación química*

El relleno sanitario actual de la ciudad de Puyo, se puede considerar como el más perjudicial para la oxidación fotoquímica, ya que al analizar la tabla #23 se visualiza una carga mayor emitida por este escenario, al comparar con los estudios de la tabla #24 se determina que el estudio realizado en Asti, distrito de Italia, en el único escenario evaluado se emite una carga similar al del escenario 3 de la tabla #23, aun así el escenario de (Di Maria Y Micale, 2015) presenta una menor carga, esto se debe a los procesos que se les da a los residuos.

Como se mencionaba anteriormente la DA anaerobia es el mejor tratamiento para los residuos, por ende es el que menos cargas contaminantes de  $\text{kg C}_2\text{H}_4/\text{t}$  emite a la atmosfera, por esa razón si evaluamos un escenario propuesto por (Lombardi et al., 2015) se observa que se realiza DA y el resultado es similar al del presente estudio.

#### *Cancerígenos*

Como se aprecia en la tabla #23 en la categoría de cancerígenos, se puede observar un resultado bajo obtenido en todos los escenarios, esto se debe a la caracterización de los residuos de la ciudad de Puyo, pero aun así se puede determinar que el escenario 1 (100% al relleno sanitario) es el escenario que emite un número mayor de partículas cancerígenas. Al aplicar DA (Escenario 4) se observa una reducción de esta carga contaminante, aunque no varía el valor considerablemente.

Tabla 24. Resultado de cargas ambientales generadas por los escenarios propuestos y escenario actual.

Categoría de impacto	Unidad	Escenario 1 (Puyo)*	Escenario 2 (Puyo)**	Escenario 3 (Puyo)***	Escenario 4 (Puyo)****
P. Calentamiento global	kg CO2 eq/ton	6620	3830	95	-219
P. Acidificación/ Eutrofización	kg SO2 eq/ton, kg PO4 eq/ton	0,68	-3,12	-2,49	-3,84
Respiración por orgánicos	DALY	2,36E-06	5,71E-07	-1,11E-06	-1,32E-06
Respiración por inorgánicos	DALY	0,00184	0,0011	0,0014	0,0011
Agotamiento de la Capa Ozono	kg CFC-11 eq/ton	7,30E-09	-5,48E-09	-2,77E-09	-1,54E-08
Eco toxicidad	CTUe	0,42	-5,62	154,78	148,28
Oxidación fotoquímica	kg C2H4/ton	5,09E-08	-2,17E-07	-2,36E-07	-2,85E-07
Cancerígenos	kg C2H3Cl eq	0,00075	0,00061	0,00014	0,00014
Uso del suelo	PDF*m2yr	68,44	44,22	57,01	55,41
Recursos minerales	MJ surplus	1,45	-9,76	-11,81	-11,95
Combustibles fósiles	MJ surplus	124,34	-1017,42	-1120,02	-1426,44

\*Escenario actual, 100% residuos sólidos a Relleno sanitario

\*\*Reciclaje

\*\*\*Reciclaje + Compostaje

\*\*\*\*Reciclaje+ Digestión anaeróbica + Compostaje + Relleno sanitario

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Tabla 25: Algunos estudios realizados de ACV, datos de los indicadores medio ambientales

Indicadores ambientales	Unidad	Escenarios										
		1 <sup>A</sup>	2 <sup>A</sup>	2 <sup>B</sup>	3 <sup>A</sup>	4 <sup>A</sup>	4 <sup>B</sup>	4 <sup>C</sup>	5 <sup>A</sup>	5 <sup>B</sup>	6 <sup>A</sup>	6 <sup>B</sup>
P. Calentamiento global	kg CO2 eq/ton	180,9	-94.40	-219.16	415	6990	6950	1360	164383,56	255707,76	512	-874
P. Acidificación	kg SO2 eq/ton	0,17	1.98E-06	-1.44E-05	1180	43,6	42,6	41,4	1400,30	2170,47	0,162	-3,31
P. Eutrofización	kg PO4 eq/ton	0,63	0.085	-0.38	125	37,9	37,8	9,13	0,73	0,73	0,057	-1,21
Agotamiento de la Capa Ozono	kg CFC-11 eq/ton	-3,08E-06	0.0054	-0.00022							3,82E-6	3,71E-6
P. Toxicidad	kg 1,4-DB eq ton	-12,86										
Toxicidad humana	CTUh	-			-0.000006	-135	-271	-269	21753,42	21777,78	42,8	25
Eco toxicidad	CTUe	-			-74							
Ag. de los R. abióticos	kg Sb eq/ton	-				0,437	-1,11	-1,08			121	325
Oxidación fotoquímica	kg C2H4/ton	1,63	1.49E-05	-8.13E-07								
Cancerígenos	kg C2H3Cl eq	-							127,85	17,66		

1<sup>A</sup>: Se tomó el escenario 2, RSM (Separación desde la fuente de 52%, DA y Compostaje) (Di Maria Y Micale, 2015).

2<sup>A</sup>: Escenario 1: En este se realizó compostaje aeróbico (Lombardi et al., 2015).

2<sup>B</sup>: Escenario 2: Se basó en la hipótesis de construir una planta de digestión anaerobia para los RSM (Lombardi et al., 2015).

3<sup>A</sup>: Este estudio analizo el escenario 3, Utilización de compost en la tierra (Beylot et al., 2015).

4<sup>A</sup>: Escenario 1: Este escenario presenta recuperación de materiales y reciclaje (Banar et al., 2009).

4<sup>B</sup>: Escenario 2: Este escenario presenta los mismos procesos del escenario 1, la diferencia son los flujos de entrada y salida (Banar et al., 2009).

4<sup>C</sup>: Escenario 3: Este escenario presenta compostaje aeróbico de la materia orgánica (Banar et al., 2009).

5<sup>A</sup>: Escenario 1: El escenario posee compostaje y los residuos sobrantes son vertidos en el relleno sanitario (Ogundipe Y Jimoh, 2015).

5<sup>B</sup>: Escenario 3: Aquí solo se emplea el reciclaje y los residuos sobrantes son vertidos al relleno sanitario (Ogundipe Y Jimoh, 2015)

6<sup>A</sup>: Se considera el ingreso de 1 ton, el cual existe la recuperación de materiales como metales, papel/cartón, vidrio y plásticos que son separados y reciclados a una tasa del 40% (Erses Yay, 2015).

6<sup>B</sup>: Este escenario se realiza la eliminación de los RSU, mediante el reciclaje y compostaje (Erses Yay, 2015).

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

Tabla 26: Agrupación de varios análisis del indicador Calentamiento Global, estandarizados en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente/ton de residuos

Categoría	Unidad	Escenarios					
		7 <sup>A</sup>	7 <sup>B</sup>	7 <sup>C</sup>	8 <sup>A</sup>	8 <sup>B</sup>	8 <sup>C</sup>
Calentamiento Global	kg CO2 eq	1700	390	260	61835	-32872	1305

7<sup>A</sup>: En este estudio consiste el ingreso de 1 tonelada de residuos orgánicos de los mercados, este proceso consta de colección y transporte, seguido a esto es depositado al relleno (Otoma Y Diaz, 2015).

7<sup>B</sup>: Este escenario realiza una separación de las fracciones orgánicas y otros residuos, en donde las fracciones orgánicas son depositadas al sistema de compostaje (Otoma Y Diaz, 2015).

7<sup>C</sup>: Este escenario consiste en la deposición de las fracciones orgánicas a una planta de biogás en donde se obtiene la combustión de biogás que permite adquirir una red eléctrica y un líquido fertilizante que puede ser utilizado en la agricultura (Otoma Y Diaz, 2015).

8<sup>A</sup>: Este escenario es la modelación de la generación en relleno sanitario sin colección de biogás en eThekwini Sudáfrica año 2014 (Friedrich Y Trois, 2016).

8<sup>B</sup>: Este escenario es la modelación de la generación en proceso de reciclaje en eThekwini Sudáfrica año 2014 (Friedrich Y Trois, 2016).

8<sup>C</sup>: Este escenario es la modelación de la generación en proceso de compostaje en eThekwini Sudáfrica año 2014 (Friedrich Y Trois, 2016).

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

# CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 Conclusiones

Este estudio se ha dividido en dos secciones Caracterización de residuos sólidos urbanos y Evaluación ambiental de los escenarios.

En cuanto a la caracterización de residuos sólidos urbanos:

- ✓ La generación per cápita promedio de residuos sólidos, de la ciudad de Puyo es de 0.87 kg./hab./día, cantidad consecuente con estudios realizados en zonas de similar población de las provincias ecuatorianas, al multiplicar esta cantidad por el número de habitantes de la ciudad, se tiene que la generación total diaria es de 38487.06 kg/día aproximadamente, determinando que un 47 %, son los de origen orgánico (residuos de frutas, verduras, y elaboración de alimentos), así mismo una generación de un 17.4 % del total corresponde a papel y cartón, un 9.4 % los residuos de plástico y alrededor de un 7% a los residuos de vidrio y metales.

En el segundo componente la evaluación ambiental de los escenarios se puede mencionar que:

- ✓ En la evaluación ambiental fueron analizadas cuatro propuestas: Escenario actual donde todos los residuos van al relleno sanitario, escenario 2 con reciclaje más relleno sanitario, la alternativa 3 Compostaje, reciclaje y relleno sanitario y la última Digestión anaeróbica con compostaje más reciclaje y el resto de las fracciones de rechazo al relleno. Se evaluó una tonelada de residuos sólidos mezclados en el sistema actual, y una tonelada de residuos separados en la fuente para los restantes escenarios futuros propuestos.
- ✓ Este trabajo de investigación mostró que el escenario 4 (Digestión anaeróbica más Compostaje y Reciclaje) tuvo una mayor reducción en el calentamiento global, carcinógeno, efectos respiratorios, acidificación, consumo de minerales y combustibles fósiles, de los potenciales de la ciudad Puyo, mostrándose como la mejor y más favorable alternativa en términos ambientales.  
En el contexto de los tres criterios generales de valoración de impactos considerados, el escenario 1 sistema actual de gestión de residuos 100% de los residuos al relleno sanitario es la peor alternativa en términos de los daños a la salud humana, la calidad de los ecosistemas y el agotamiento de los recursos.

## 5.2 Recomendaciones

Existe una gran oportunidad para desarrollar futuras investigaciones en los municipios de las provincias amazónicas ecuatorianas que necesitan aplicar mejoras en los sistemas de gestión de los residuos sólidos.

- ✓ Presentar los resultados del presente estudio a las autoridades municipales para mostrar las ventajas ambientales de nuevos tratamientos de los residuos sólidos urbanos.
- ✓ Efectuar un estudio más profundo de diseño de los tratamientos con el correspondiente análisis técnico económico para diferentes tecnologías que puedan implementarse en el sistema de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo.
- ✓ Evaluar la sostenibilidad social y económica de la gestión de residuos sólidos de la ciudad de Puyo.

## CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFIA.

- Registro Oficial edición especial 316, de 04 de Mayo del 2015. (2015).
- Registro Oficial edición especial 316, de 04 de Mayo del 2015. (Acuerdo Ministerial 061-2015).
- ISO 14040. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework. (2006 ).
- ISO 14041. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Goal And Scope Definition And Inventory Analysis (2006).
- ISO 14044. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines. (2006).
- Abbasi, T., Tauseef, S. M., Y Abbasi, S. A. (2012). Anaerobic digestion for global warming control and energy generation—An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3228-3242. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.046>
- Abduli, M. A., Naghib, A., Yonesi, M., Y Akbari, A. (2011). Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1), 487-498. doi: 10.1007/s10661-010-1707-x
- Alvis, N., Y Valenzuela, M. T. (2010). Los QALYs y DALYs como indicadores sintéticos de salud. *Revista médica de Chile*, 138, 83-87.
- Amlinger, F., Peyr, S., Y Cuhls Carsten, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management and Research*, 26(1), 47-60. doi: 10.1177/0734242X07088432
- Angelidaki, I., Ellegaard, L., Y Ahring, B. K. (2003). Applications of the Anaerobic Digestion Process. In B. K. Ahring, B. K. Ahring, I. Angelidaki, J. Dolfig, L. Euegaard, H. N. Gavala, F. Haagensen, A. S. Mogensen, G. Lyberatos, P. F. Pind, J. E. Schmidt, I. V. Skiadas Y K. Stamatelatos (Eds.), *Biomethanation II* (pp. 1-33). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Banar, M., Cokaygil, Z., Y Ozkan, A. (2009). Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. *Waste Management*, 29(1), 54-62. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.12.006>
- Barton, J. R., Dalley, D., Y Patel, V. S. (1996). Life cycle assessment for waste management. *Waste Management*, 16(1-3), 35-50. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X\(96\)00057-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X(96)00057-8)
- Bauman, H., Y Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA*. Sweden: Studentlitteratur AB.
- Beylot, A., Vaxelaire, S., Zdanevitch, I., Auvinet, N., Y Villeneuve, J. (2015). Life Cycle Assessment of mechanical biological pre-treatment of Municipal Solid Waste: A case study. *Waste Management*, 39, 287-294. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.033>
- Bezama, A., Douglas, C., Mendez, J., Szarka, N., Munoz, E., Navia, R., . . . Ulloa, C. (2013). Life cycle comparison of waste-to-energy alternatives for municipal waste treatment in Chilean Patagonia. *Waste Manag Res*, 31(10 Suppl), 67-74. doi: 10.1177/0734242x13499810
- Blengini, G. A. (2008). Using LCA to evaluate impacts and resources conservation potential of composting: A case study of the Asti District in Italy. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(12), 1373-1381. doi:

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.08.002>
- Blischke, J. (2004). Combining anaerobic digestion with enclosed tunnel composting. *BioCycle*, 45(4), 49-51.
- Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, A., Y Colomer-Mendoza, F. J. (2010). Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. *Waste Management*, 30(11), 2383-2395. doi: 10.1016/j.wasman.2010.03.001
- Bozano Gandolfi, P. (2008). *Practical experiences in the production of biogas and energy from waste*. . Paper presented at the Proceedings of Venice 2008. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste Venice, Italy.
- Bueno, G., Latasa, I., Y Lozano, P. J. (2015). Comparative LCA of two approaches with different emphasis on energy or material recovery for a municipal solid waste management system in Gipuzkoa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 449-459. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.021>
- Camobreco, V., Ham, R., Barlaz, M., Repa, E., Felker, M., Rousseau, C., Y Rathle, J. (1999). Life-cycle inventory of a modern municipal solid waste landfill. *Waste Management and Research*, 17(6), 394-408. doi: 10.1034/j.1399-3070.1999.00079.x
- Cantanhede, A., Monge, G., Sandoval Alvarado, L., Y Caycho Chumpitaz, C. (2009). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*.
- Castillo Pazmiño, M. (2012). Consultoría para la realización de un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos domésticos y asimilables a domésticos para el Distrito Metropolitano de Quito (pp. 29). Quito, Ecuador.
- Clift, R., Doig, A., Y Finnveden, G. (2000). The Application of Life Cycle Assessment to Integrated Solid Waste Management: Part 1—Methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, 78(4), 279-287. doi: <http://dx.doi.org/10.1205/095758200530790>
- Chamorro Guerrero, W. P. (2016). *Gestión Integral Para el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en la Parroquia Fátima*. (Opcion del grado de Ingeniero Ambiental ), Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/handle/123456789/167>
- Cherubini, F., Bargigli, S., Y Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34(12), 2116-2123. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.023>
- Chi, Y., Dong, J., Tang, Y., Huang, Q., Y Ni, M. (2015). Life cycle assessment of municipal solid waste source-separated collection and integrated waste management systems in Hangzhou, China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(4), 695-706. doi: 10.1007/s10163-014-0300-8
- Chiemchaisri, C., Y Visvanathan, C. (2008). Greenhouse gas emission potential of the municipal solid waste disposal sites in Thailand. *J Air Waste Manag Assoc*, 58(5), 629-635.
- Chiumenti, A. (2005). *Modern composting technologies*. Emmaus, PA: JG Press.
- Christensen, T. H., Y Damgaard, A. (2010a). Recycling of Glass *Solid Waste Technology & Management* (pp. 211-219): John Wiley & Sons, Ltd.
- Christensen, T. H., Y Damgaard, A. (2010b). Recycling of Paper and Cardboard *Solid Waste Technology & Management* (pp. 201-210): John Wiley & Sons, Ltd.
- Christensen, T. H., Y Fruergaard, T. (2010). Recycling of Plastic *Solid Waste Technology & Management* (pp. 220-233): John Wiley & Sons, Ltd.
- Damgaard, A., Y Christensen, T. H. (2010). Recycling of Metals *Solid Waste Technology*

- & *Management* (pp. 234-242): John Wiley & Sons, Ltd.
- Davidsson, Å., Gruvberger, C., Christensen, T. H., Hansen, T. L., Y Jansen, J. I. C. (2007). Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 27(3), 406-414. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2006.02.013>
- De Feo, G., Y Malvano, C. (2012). Technical, economic and environmental analysis of a MSW kerbside separate collection system applied to small communities. *Waste Management*, 32(10), 1760-1774. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.009>
- Den Boer, E., Den Boer, J., Y Jager, J. (2005. ). *Waste Management Planning and Optimisation –Handbook for Municipal Solid Waste Prognosis and Sustainability Assessment of Waste Management Systems*. . Stuttgart, Germany.
- Den Boer, J., Den Boer, E., Y Jager, J. (2007). LCA-IWM: A decision support tool for sustainability assessment of waste management systems. *Waste Management*, 27(8), 1032-1045. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.022>
- Di Maria, F., Y Micale, C. (2015). Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 377-388. doi: 10.1007/s11367-014-0833-z
- Díaz Luis, F., Savage George, M., Eggerth Linda, L., Y G., G. C. (1993). *Composting and recycling municipal solid wastes*. . USA: Lewis Publishers.
- Diéguez-Santana, K. (2012). *Evaluación técnico, económico y ambiental de la Panadería "El Pinto"*. (Opcion al grado de Master en Ingenieria en Saneamiento Ambiental), Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba. Retrieved from <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/3200>
- Dimambro, M. E., Lillywhite, R. D., Y Rahn, C. R. (2007). The Physical, Chemical and Microbial Characteristics of Biodegradable Municipal Waste Derived Composts. *Compost Science & Utilization*, 15(4), 243-252. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/1065657X.2007.10702340>
- Ecuador, A. C. (2008). Constitución del Ecuador. *Montecristi, Manabí, Ecuador: Registro Oficial 449, de 20 de Octubre del 2008*.
- EMEP. (2013). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013 from European 343 Environment Agency
- Erses Yay, A. S. (2015). Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. *Journal of Cleaner Production*, 94, 284-293. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.089>
- Feo, G. D., Y Malvano, C. (2009). The use of LCA in selecting the best MSW management system. *Waste Management*, 29(6), 1901-1915. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.12.021>
- Fernández-Nava, Y., Del Río, J., Rodríguez-Iglesias, J., Castrillón, L., Y Marañón, E. (2014). Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: A case study of Asturias (Spain). *Journal of Cleaner Production*, 81, 178-189. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.008>
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P., Y Moberg, Å. (2005). Life cycle assessment of energy from solid waste—part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production*, 13(3), 213-229. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.023>

- Friedrich, E., Y Trois, C. (2016). Current and future greenhouse gas (GHG) emissions from the management of municipal solid waste in the eThekweni Municipality - South Africa. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4071-4083. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.118>
- Galván Loredó, V. J. (2015). *Estudio de la valorización de los residuos orgánicos contenidos en los residuos sólidos urbanos generados en el Distrito Federal*. (Tesis de Master en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad.), INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, MÉXICO, D.F. Retrieved from <http://tesis.bnct.ipn.mx/handle/123456789/13640>
- Goedkoop, M., Y Spriensma, R. (2001). *The Ecoindicator99, damage oriented method for life cycle impact assessment*. The Netherlands: PRe consultants B.V.
- Gómez-Méndez, M. G. (2009). *Aplicación de técnicas de ciclo de vida al diseño de un sistema de gestión de residuos urbanos para la ciudad de Chihuahua*. (Tesis Doctoral), Universitat Rovira i Virgili. , Tarragona, España.
- Guamán Timbi, M. (2015). Propuesta de mejoramiento de la gestión y manejo de los residuos sólidos, en el cantón Paute. Desde un enfoque integral.
- Guinée J., Gorée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., Koning A., . . . M., H. (2002. ). *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards*. : Kluwer academic publishers
- Hanandeh, A. E., Y El-Zein, A. (2010). Life-cycle assessment of municipal solid waste management alternatives with consideration of uncertainty: SIWMS development and application. *Waste Management*, 30(5), 902-911. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.12.026>
- Hauschild, M., Y Wenzel, H. (1998). *Environmental assessment of products*. (Vol. 2). UK: Chapman & Hall.
- Hong, J., Li, X., Y Zhaojie, C. (2010). Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. *Waste Manag*, 30(11), 2362-2369. doi: 10.1016/j.wasman.2010.03.038
- Hunt, R. G., Sellers, J. D., Y Franklin, W. E. (1992). Resource and environmental profile analysis: A life cycle environmental assessment for products and procedures. *Environmental Impact Assessment Review*, 12(3), 245-269. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0195-9255\(92\)90020-X](http://dx.doi.org/10.1016/0195-9255(92)90020-X)
- INEC. (2010). Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador, . from Instituto Nacional de Estadística y Censos
- INEC. (2010. ). Instituto Nacional de Estadística y Censo. .
- Jaramillo, G., Y Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia (Monografía de Especialista). *Medellín: Postgrado de Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*.
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. *División de Salud y Medio Ambiente. Programa de Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud. Serie Técnica*, 28.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., Y Dawson, L. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31(8), 1737-1744. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.021>
- Koroneos, C. J., Y Nanaki, E. A. (2012). Integrated solid waste management and energy production - a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki. *Journal of Cleaner Production*, 27, 141-150. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.010>
- LandGEM. (2005). Landfill Gas Emissions Model (Version version 3.02.). Retrieved from

- <http://www3.epa.gov/ttn/catc/products.html#software>
- Li, Y., Park, S. Y., Y Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 821-826. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.042>
- Liamsanguan, C., Y Gheewala, S. H. (2008). LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW management systems. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 132-138. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.003>
- Lombardi, L., Carnevale, E. A., Y Corti, A. (2015). Comparison of different biological treatment scenarios for the organic fraction of municipal solid waste. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(1), 1-14. doi: 10.1007/s13762-013-0421-y
- MAE. (2014). Informe de gestión MAE-PNGIDS 2010-2013. Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos.
- Mata-Alvarez, J. (2003). *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. London: IWA Publishing, London.
- McDougall, F., White, P., Franke, M., Y Hindle, P. (2001). *Integrated solid waste management—a life cycle inventory*. Oxford, UK: Blackwell.
- Mendes, M. R., Aramaki, T., Y Hanaki, K. (2004). Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in São Paulo City as determined by LCA. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(1), 47-63. doi: 10.1016/j.resconrec.2003.08.003
- Mendoza, F. J. C., Y Izquierdo, A. G. (2007). *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*: Universidad Politécnica de Valencia.
- Millán, H., Kalauzi, A., Llerena, G., Sucoshañay, J., Y Piedra, D. (2009). Meteorological complexity in the Amazonian area of Ecuador: An approach based on dynamical system theory. *Ecological Complexity*, 6(3), 278-285. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.05.004>
- Morrissey, A. J., Y Browne, J. (2004). Waste management models and their application to sustainable waste management. *Waste Management*, 24(3), 297-308. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2003.09.005>
- INEN 2207. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres Diesel. (2002).
- Ogundipe, F. O., Y Jimoh, O. D. (2015). Life cycle assessment of municipal solid waste management in Minna, Niger state, Nigeria. *International Journal of Environmental Research*, 9(4), 1305-1314.
- Orhon, D., Y Artan, N. (1994). *Modelling of activated sludge systems*. Lancaster: Technomic Publishing Company.
- Otoma, S., Y Diaz, R. (2015). Life-cycle greenhouse gas emissions and economic analysis of alternative treatments of solid waste from city markets in Vietnam. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. doi: 10.1007/s10163-015-0380-0
- Pichtel, J. (2005). *Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial*. Boca Raton, FL. : Taylor & Francis Group.
- Pognani, M., Barrena, R., Font, X., Y Sánchez, A. (2012). A complete mass balance of a complex combined anaerobic/aerobic municipal source-separated waste treatment plant. *Waste Management*, 32(5), 799-805. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.12.018>
- Rahn, T., Y Gandolfi, P. B. (2007). *Modification and optimisation of existing MBT plants using BTA Technology*. Paper presented at the 2nd International Symposium MBT, Hanover, Germany, May.
- Red Mexicana de Bioenergía, A. C. (2010). La bioenergía en México: estudios de caso. In N. Cuaderno Temático (Ed.), *Compiladores: Prehn Manuela y Cumana Iván*.

México.

Rice, E. W., Baird, R. B., Y Eaton, A. D. (2012 ). *Standard methods for the examination of water and wastewater*: American Water Works Association, Water Environment Federation.

Rice, E. W., Bridgewater, L., American Public Health, A., Y American Water Works, A. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C.: American Public Health Association.

Rieradevall, J., Domènech, X., Y Fullana, P. (1997). Application of life cycle assessment to landfilling. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2(3), 141-144. doi: 10.1007/bf02978806

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, S., Dirección General de Normas. (1985a). Protección al ambiente- Contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales- Selección y cuantificación de subproductos. Norma Mexicana NMX-AA-22-1985. 1-7.

Protección al ambiente- Contaminación del suelo- Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la generación. Norma Mexicana NMX-AA-61-1985 (1985b).

Sedlak, R. I. (1991). *Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater. Principles and practice*, (Vol. 2). London: Lewis Publishers.

SimaPro8.1. (2015). Amersfoort, The Netherlands.

Song, Q., Wang, Z., Y Li, J. (2013). Environmental performance of municipal solid waste strategies based on LCA method: a case study of Macau. *Journal of Cleaner Production*, 57, 92-100. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.042>

Soto, G. (2003). El proyecto NOS de CATIE/GTZ, el centro de investigaciones agronómicas de la Unidad de Costa Rica de insumos agropecuarios no sintéticos. *Taller de abonos orgánicos. Costa Rica*.

Soto, G., Y Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. Theoretical and practical considerations on compost, and its use in organic agriculture. *Manejo integrado de plagas*(65), 123-129.

STATISTICA. (2007). Data Analysis Software System (Version 8.0). Retrieved from ([www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)):

Taboada, P., Armijo, C., Aguilar, Q., Ojeda, S., Y Aguilar, X. (2009). *Métodos para la determinación de generación de residuos en comunidades rurales*. Paper presented at the Proceedings of the II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, REDISA, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

Tchobanoglous, G., Y Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*: Mcgraw-hill.

Tchobanoglous, G., Y Theisen, H., Vigil, S., . (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York.

Ulloa Ulloa, I. V. (2011). *Tratamiento de los desechos sólidos en la ciudad de Azogues*. (Magíster en Administración de Negocios), Universidad Técnica Del Norte, Azogues.

US-EPA. (2000). AP 42, Fifth Edition, Volume I. Chapter 3: stationary internal combustion sources. . Retrieved 04/junio/2016, from <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch03/>

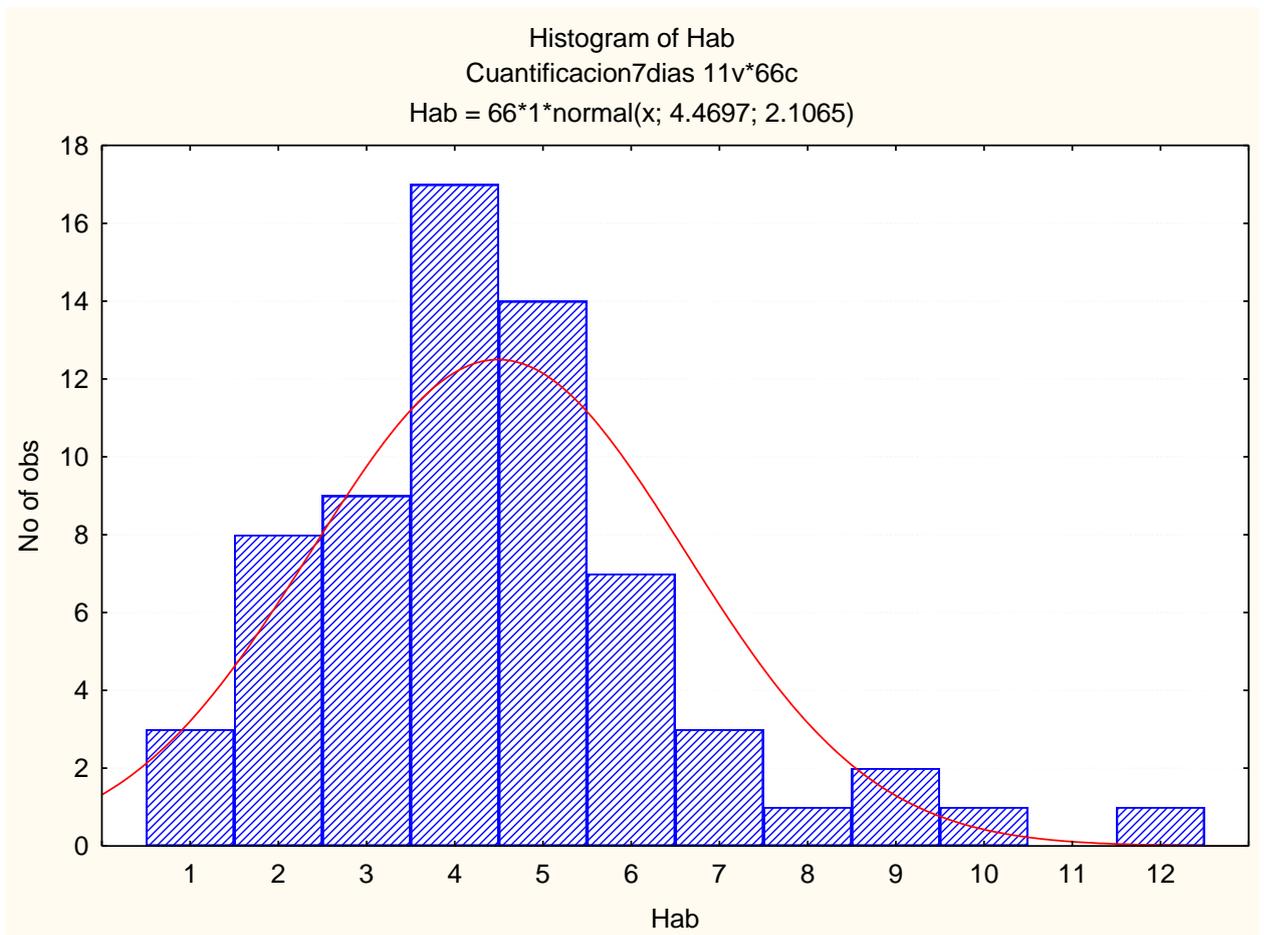
Verma, S. (2002 ). *Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes*. . (Master of Science thesis. ), Colombia University, , New York. . Retrieved from [www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf)

Yu, S., Clark, O. G., Y Leonard, J. J. (2008). Estimation of vertical air flow in passively aerated compost in a cylindrical bioreactor. *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada*, 50, 6.29-26.35.

## CAPÍTULO VII. ANEXOS

### ANEXO 1. Gráficos estadísticos del estudio de los residuos sólidos, ciudad de Puyo.

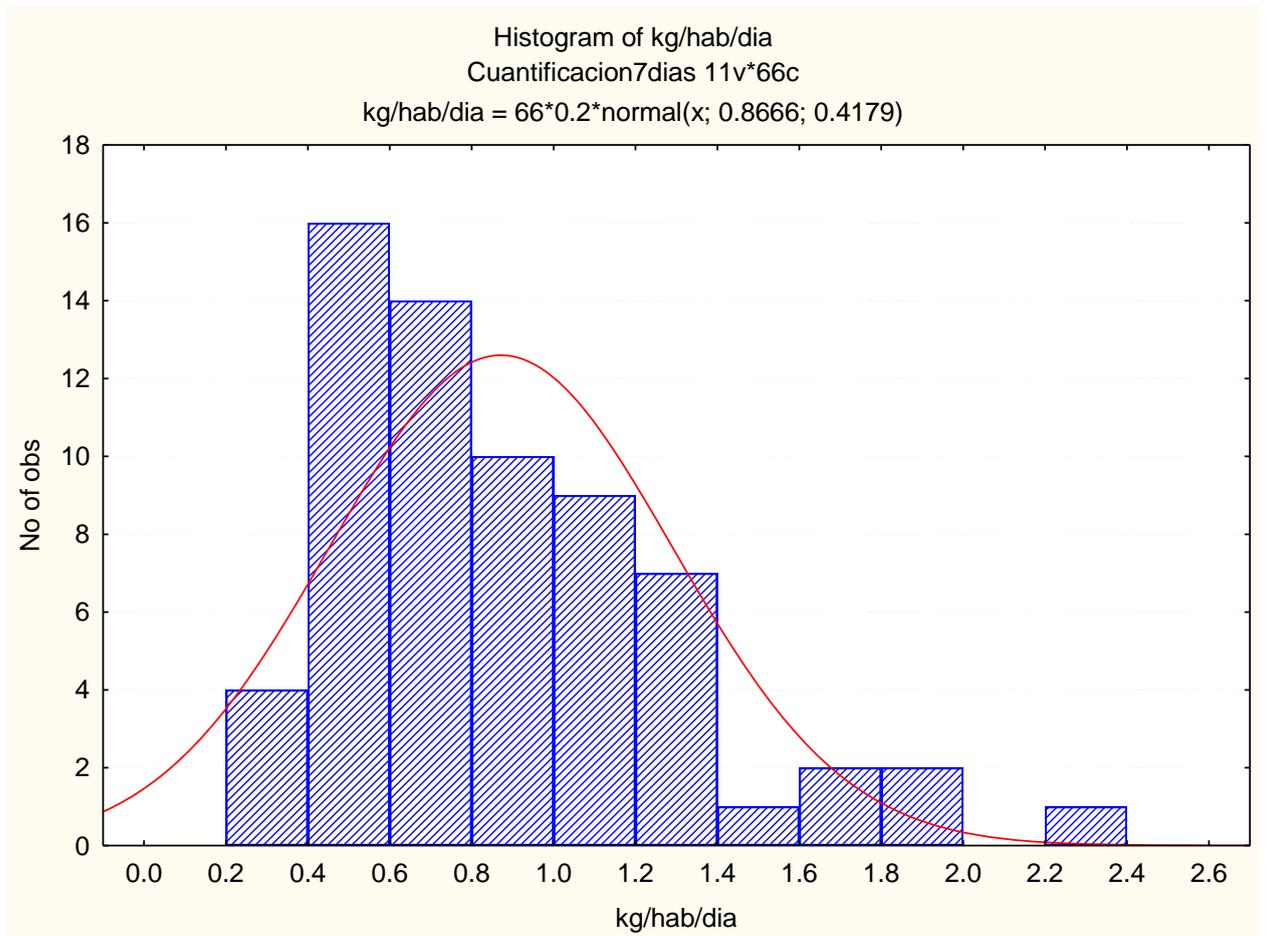
#### Frecuencia de Cantidad de habitantes por hogares.



FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

**ANEXO 2. Gráficos estadísticos del estudio de los residuos sólidos, ciudad de Puyo.**

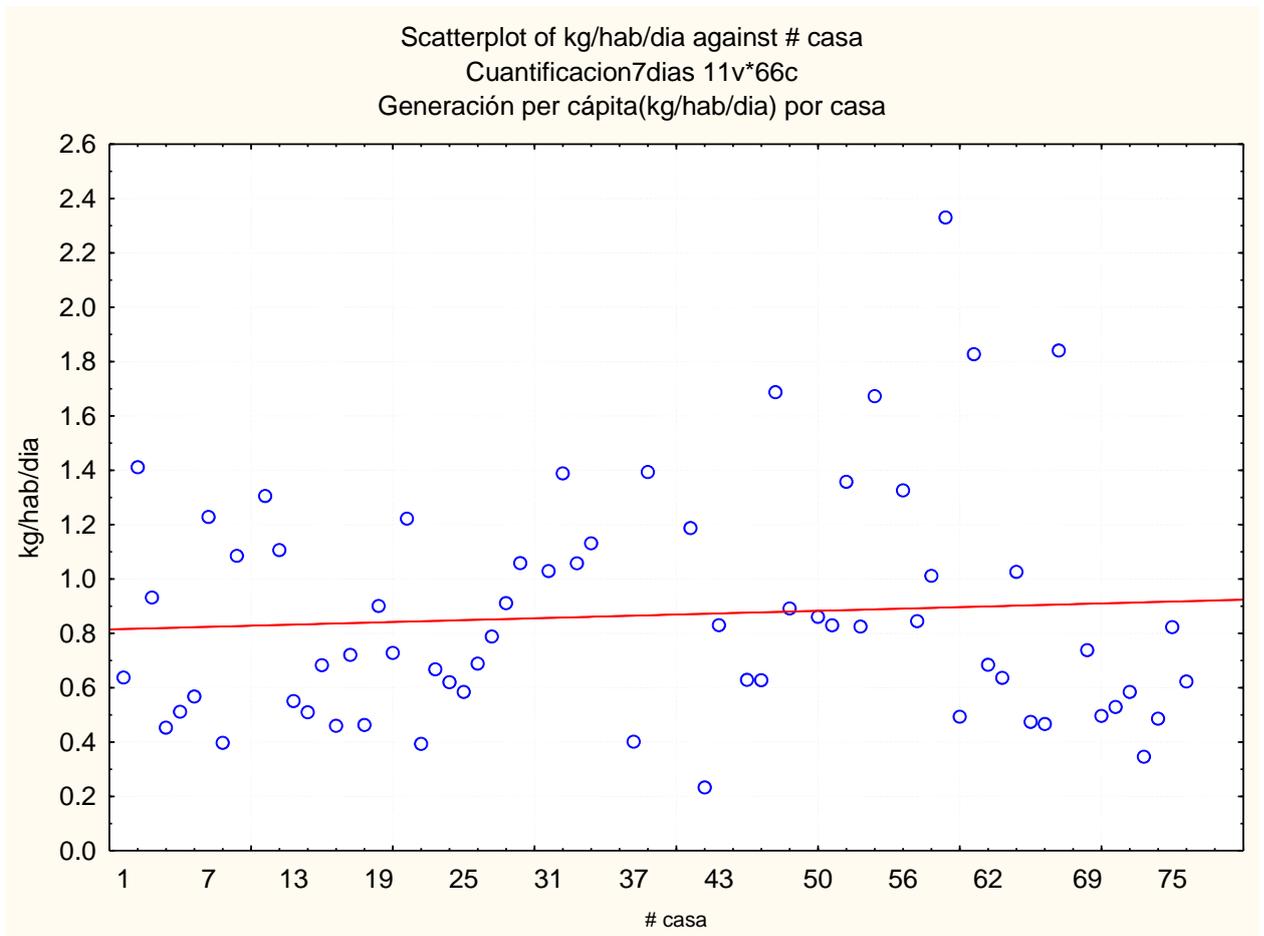
**Histograma de la generación per cápita de residuos por hogares.**



FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

**ANEXO 3. Gráficos estadísticos del estudio de los residuos sólidos, ciudad de Puyo.**

**Generación per cápita de residuos de cada uno de los hogares en estudio.**



FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

**ANEXO 4. Tablas de la generación de residuos en los hogares ciudad de Puyo, estudio de los residuos sólidos. Generación de residuos por casa por día. Generación de residuos domésticos.**

# casa	Hab	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	kg/hab/día	Total de residuos
1	4	3.48	1.61	2.45	1.43	4.32	4.11	0.44	0.64	17.84
2	5	9.78	8.16	5.26	8.02	7.58	3.35	7.25	1.41	49.4
3	5	5.58	5.24	5.07	7.44	5.95	1.18	2.14	0.93	32.6
4	5	1.33	1.83	1.27	1.25	5.87	3.12	1.17	0.45	15.84
5	4	3.03	1.9	1.72	1.93	3.9	1.24	0.6	0.51	14.32
6	5	0.99	2.29	6.47	3.58	3.38	1.36	1.78	0.57	19.85
7	6	7.38	7.67	6.71	9.53	6.54	5.39	8.36	1.23	51.58
8	9	3.24	3.12	2.48	3.15	3.15	7.17	2.7	0.40	25.01
9	4	2.09	5.48	4.15	7.54	3.93	3.89	3.3	1.09	30.38
11	2	2.42	1.88	3.6	2.57	4.26	1.97	1.57	1.31	18.27
12	4	4.68	5.4	0.7	8.49	6.98	2.7	2.02	1.11	30.97
13	4	6.23	2.42	4.2	0.91	0.55	0.62	0.5	0.55	15.43
14	3	2.2	0.9	2.66	1.3	0.62	1.4	1.62	0.51	10.7
15	3	2.71	0.64	2.48	2.34	2.1	2.04	2.03	0.68	14.34
16	6	2.76	3.2	2.76	0.76	2.97	3.12	3.74	0.46	19.31
17	3	2.1	2.8	3.38	2.89	2.96	0.67	0.33	0.72	15.13
18	12	6.25	9.17	3.08	2.75	4.32	4.15	9.14	0.46	38.86
19	4	4.87	1.62	5.25	2.09	3.19	1.3	6.91	0.90	25.23
20	6	3.14	4.42	5.18	7.24	4.94	3.02	2.62	0.73	30.56
21	3	3	3.02	5.74	2.77	5.57	3.44	2.12	1.22	25.66
22	5	1.57	1.99	0.58	2.02	2.11	2.22	3.27	0.39	13.76
23	6	3.76	4.15	6.53	1.15	7.26	3.08	2.1	0.67	28.03
24	8	6.01	3.66	1.3	3.61	7.44	8.57	4.15	0.62	34.74
25	9	2.17	9.74	5.32	5.73	4.43	7.31	2.11	0.58	36.81
26	7	5.29	6.15	9.15	4.44	3.46	2.5	2.72	0.69	33.71
27	4	1.99	4.02	2.77	1.51	4.14	1.7	5.94	0.79	22.07
28	5	5.88	6.51	5.15	3.78	2.99	5.78	1.8	0.91	31.89
29	4	5.02	6.52	4.46	4.31	3.59	3	2.74	1.06	29.64
31	6	8.59	7.01	6.61	6.78	7.23	3.9	3.1	1.03	43.22
32	4	0.6	3.8	6.74	6.24	8.44	4.45	8.61	1.39	38.88
33	5	5.69	2.67	0.24	5.73	4.34	9.05	9.31	1.06	37.03
34	3	4.54	1.64	1.84	5.09	3.27	4.17	3.2	1.13	23.75
37	10	3.51	2.69	2.39	5.15	5.61	2.68	6.05	0.40	28.08
38	2	0.8	3.56	1.01	3.17	3.16	5.57	2.24	1.39	19.51
41	4	3.88	4.13	3.99	4.2	6.16	5.84	5.05	1.19	33.25
42	5	3.23	0.9	0.31	0.29	0.56	1.16	1.69	0.23	8.14
43	4	0.99	3.45	1.72	3.49	4.14	5.16	4.3	0.83	23.25
45	6	2.19	2.27	5.96	2.26	8.63	3.6	1.5	0.63	26.41
46	4	5.72	1.48	2.65	1.54	1.16	5.01	0	0.63	17.56
47	3	6.15	3.04	5.89	4.42	5.55	5.55	4.84	1.69	35.44
48	4	1.01	3.57	3.63	2.65	0.53	11.5	2.07	0.89	24.96
50	5	2	3.79	3.61	3.26	4.29	5.75	7.41	0.86	30.11

51	5	2.16	6.6	4.46	2.9	4.41	5.23	3.27	0.83	29.03
52	2	5.52	2.48	2.63	2.2	3.06	2.12	0.99	1.36	19
53	5	7.35	5.6	4.4	0.54	4.18	4.55	2.25	0.82	28.87
54	2	2.54	3.54	2	5.47	5.29	1.42	3.16	1.67	23.42
56	6	8.76	5	9.05	7.01	10.54	7.35	7.98	1.33	55.69
57	7	6.56	4.94	8.87	6.4	6.25	3.55	4.82	0.84	41.39
58	4	2.28	3.38	5.48	6.83	5.01	0.74	4.59	1.01	28.31
59	1	1.46	1.73	1.74	0.76	5.15	4.49	0.98	2.33	16.31
60	3	1.76	2.37	1.51	1.49	1.49	0.65	1.08	0.49	10.35
61	1	1.73	1.07	1.53	2.77	1.7	0.54	3.45	1.83	12.79
62	3	1.04	3.35	1.09	2.13	1.6	3.09	2.07	0.68	14.37
63	2	3.15	0.82	0.83	0.83	2.66	0.42	0.19	0.64	8.9
64	4	3.29	1.14	9.32	2.26	4.36	3.98	4.37	1.03	28.72
65	5	1.47	2.3	1.34	3.33	1.17	2.25	4.73	0.47	16.59
66	5	8.27	1.61	1.29	0.78	0.98	0.2	3.19	0.47	16.32
67	2	4.9	4.53	2.62	4.11	3.4	2.83	3.38	1.84	25.77
69	5	3.64	2.88	2.14	5.98	3.75	3.24	4.21	0.74	25.84
70	4	1.88	1.56	2.69	2.45	3.02	0.9	1.4	0.50	13.9
71	3	1.74	1.96	0.98	2	1.25	1.88	1.29	0.53	11.1
72	1	0.94	0.3	0.45	0.8	0.4	0.8	0.4	0.58	4.09
73	7	2.25	3.1	3.7	1.9	0.88	3.1	2	0.35	16.93
74	4	2.02	2.58	2.26	1.94	0.9	1.5	2.4	0.49	13.6
75	2	1.45	1.79	1.64	1.94	1.94	1.78	0.98	0.82	11.52
76	2	0.8	1.6	1.24	1.78	1.08	0.78	1.44	0.62	8.72
<b>Totales</b>	<b>295</b>	<b>234.81</b>	<b>225.74</b>	<b>229.72</b>	<b>227.4</b>	<b>256.04</b>	<b>220.18</b>	<b>209.16</b>		<b>1603.05</b>

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

**ANEXO 5. Tablas de la generación de residuos en los hogares ciudad de Puyo, estudio de los residuos sólidos. Generación de residuos por comercios por día. Generación de residuos comerciales.**

# casa	Hab	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	kg/hab/día	Total de residuos
10	2	3.65	4.1	5.08	4.57	3.29	5.06	7.44	2.37	33.19
36	2	4.53	5.87	6.09	3.88	9.24	5.38	4.97	2.85	39.96
39	1	0.72	3.06	6.45	5.26	6	0.94	1.67	3.44	24.1
40	2	2.7	0.67	5.07	5.89	2.2	7.06	11.95	2.54	35.54
44	2	11.76	11.06	15.72	20.65	18.78	18.15	20.41	8.32	116.53
49	3	16.33	25.52	25.78	17.17	18.6	10.24	14.68	6.11	128.32
68	3	4.5	9.42	8.68	6.89	6.76	8.92	4.26	2.35	49.43
<b>Totales</b>		<b>44.19</b>	<b>59.7</b>	<b>72.87</b>	<b>64.31</b>	<b>64.87</b>	<b>55.75</b>	<b>65.38</b>	<b>427.07</b>	

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

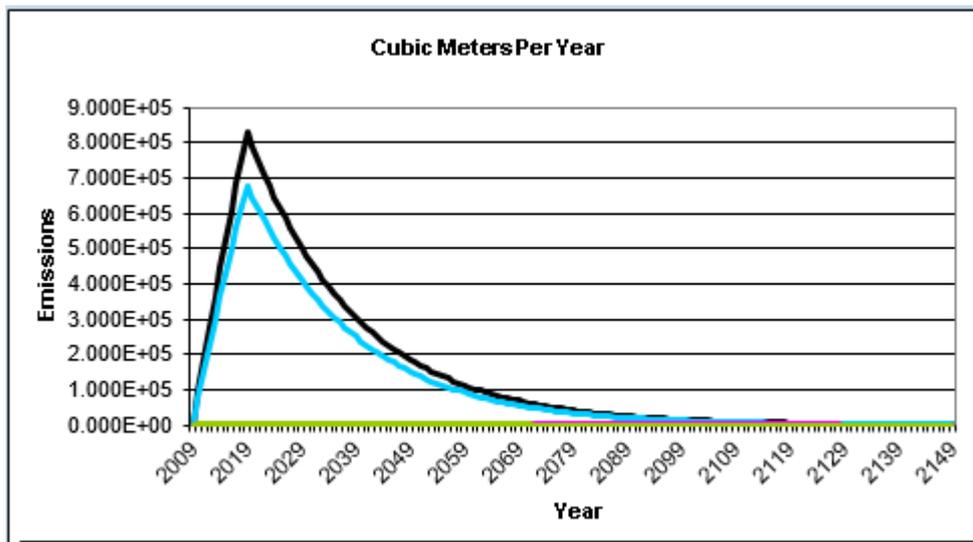
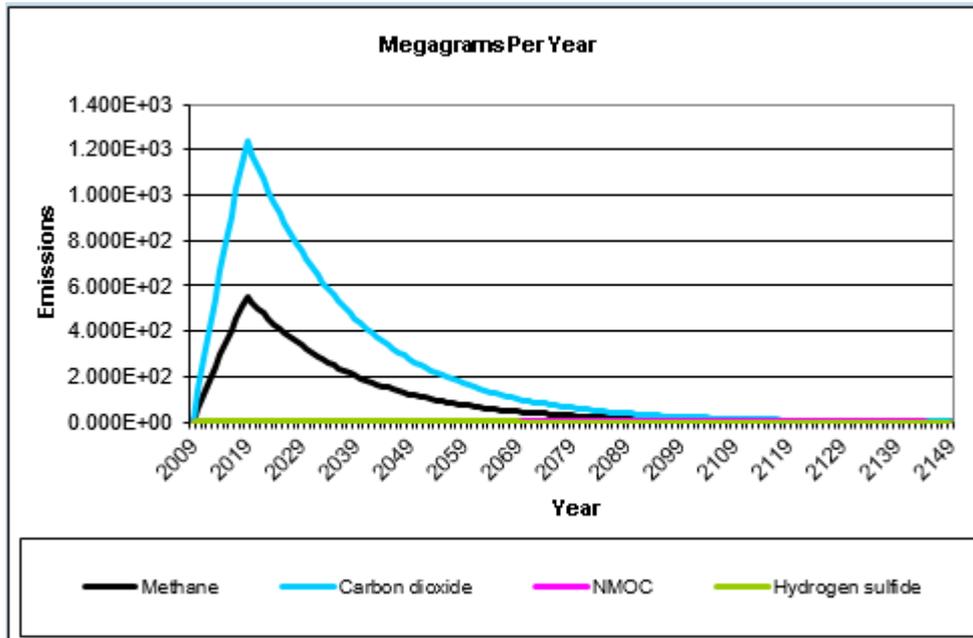
**ANEXO 6. Tablas de la generación de residuos en los hogares ciudad de Puyo, estudio de los residuos sólidos. Casas rechazadas en el estudio por no cooperación o ausencia en los días del estudio.**

# casa*	Hab	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	kg/hab/día	Total de residuos
30	4	0	5.04	0	0	0	0	0	0.18	5.04
35	6	0	0	0	1.11	0	0	0	0.026	1.11
55	8	1.82	0	0	5.6	0	0	0	0.13	7.42

\*Estas casas no se ubican en el estudio o son excluidas considerándolas dentro del 10% de margen de la toma de la muestra.

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

**ANEXO 7. Graficas de los modelos de emisiones gaseosas relleno sanitario, LandGem, 2005.**



FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

**ANEXO 8. Resultados de los análisis de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>feb-14</b>	<b>mar-15</b>	<b>nov-15</b>	<b>Promedio</b>
Caudal (Q)	L/s	0.31	0.36	-	0.34
pH	-	6.97	7.33	7.76	7.35
Sólidos totales disueltos	mg/L	1253	3566	5940	3586.33
DQO	mg/L	1225	1111	1560	1298.67
DBO5	mg/L	610	407	1080	699
Nitrógeno Total	mg/L	111.15	168.36	710.98	330.16
Fosforo	mg/L	0.1	8.5	-	4.3
Cromo total	mg/L	0.04	-	-	0.04
Cadmio	mg/L	0.012	-	-	0.012
Grasas y aceites	mg/L	2.1	2.9	2.5	2.5
Plomo	mg/L	0.02	0.16	0.014	0.0647
Arsénico	mg/L	0.02	0.0042	0.01	0.0114
Cianuros	mg/L	0.037	0.007	0.017	0.0203
Sulfatos	mg/L	5	-	-	5
Coliformes fecales	UFC/100ml	400	9400	20000	9933.33
Cloruros	mg/L	30	-	-	30
Fenoles	mg/L	0.8	0.5	0.83	0.71
Hierro	mg/L	2.65	-	-	2.65
Tensoactivos	mg/L	2.05	0.217	0.95	1.072
Sólidos Sedimentables	mg/L	-	0.5	0.3	0.4
Mercurio	mg/L	-	0.002	0.0001	0.0011

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).

**ANEXO 9. Tabla comparativa de las tecnologías analizadas Digestión Anaeróbica.**

CRITERIOS											
Nombre del proceso o sistema	Cantidad de RO que procesa (t/día)	Tipo de residuo	Tiempo de retención hidráulico	Tipo de sistema	Tipo de sistema por temperatura	Cantidad promedio de biogás	Cantidad de energía producida (aprox)	Estimación costo por operación por tonelada	Superficie	Porcentaje de sólidos totales que trata	Fuentes
<b>BTA</b>	5.5 a 548	RO separados en fuente o mezcla de residuos sólidos urbanos baja en inorgánicos o RO con lodos residuales o RO	15-20 días	Multi-etapa	Mesofílico o termofílico	60 a 90 para procesos de una etapa	13,698 kWh/día	80 a 120	2,2 ha para planta que procese 410 ton/día	n.d.	Verma Sh., 2002.
<b>DRANCO</b>	27 a 287	RO separados en fuente junto con residuos de jardín o papel	15-30 días	Seco	Mesofílico o termofílico	100 a 200	220 a 440 kWh/ton de residuos	50 A 70 euros	1 a 1.6 ha	15-40 % ST	Blischke, 2004. Rahn T. Y Gandolfi P., 2007 Karagiannidis A., Y Perkoulidis G., 2009;
<b>Kompogas</b>	10- 750	RO separados en fuente como frutas, verduras, de jardín o lodos de depuradoras	15 a 20 días	Seco	termofílico	100	350 kWh/ton residuos	60 a 160	0.5 ha para una planta que procese 55 ton/diarias, debido a la forma horizontal del digestor	30-40 % ST	Angelidaki I., et al.2003. Karagiannidis A., Y Perkoulidis G., 2009;

<b>Valorga</b>	27 a 822	RO separados en fuente o mezcla de residuos sólidos urbanos o RO industriales o RO con estiércol, RO con lodos residuales o con grasas vegetales	10-25 días	Semi-seco	Mesofílico	80 a 160	576 kWh/ton	50 A 70 euros	2 a 4.4 ha	20-66 % ST	Angelidaki I., et al. 2003. Karagiannidis A., &Perkoulidis G., 2009.
<b>Waasa</b>	8 a 245	RO separados en fuente con estiércol, se pueden agregar residuos de cultivos	10-20 días	Codigestión	Mesofílico o termofílico	100-150	620 a 3140 kWh/día	40 a 120 euros	n.d	10-15% ST	Verma Sh., 2002. Karagiannidis A., & Perkoulidis G., 2009

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA DE LOS AUTORES, 2016).