



# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Plan de Investigación de fin de carrera titulado:  
“CUANTIFICACIÓN DEL PODER CALÓRICO SUPERIOR E  
INFERIOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: TEXTIL Y  
MIXTO DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA. AÑO 2015 – 2016”

Realizado por:  
ANDREA CELESTE NINABANDA OCAMPO

Director del proyecto:  
ING. ESTEBAN OVIEDO

Como requisito para la obtención del título de:  
INGENIERA AMBIENTAL

JULIO 2016





ECUADOR UNIVERSIDAD  
INTERNACIONAL  
**SEK**

### **DECLARATORIA JURAMENTADA**

Yo, ANDREA CELESTE NINABANDA OCAMPO, con cédula de identidad #172216338-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Andrea Celeste Ninabanda Ocampo

CC. 172216338-1



ECUADOR  
UNIVERSIDAD  
INTERNACIONAL  
**SEK**

## DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:  
**“CUANTIFICACIÓN DEL PODER CALÓRICO SUPERIOR E INFERIOR DE LOS  
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: TEXTIL Y MIXTO DE LA PARROQUIA  
LIMONCOCHA. AÑO 2015-2016.”**

Realizado por:

**ANDREA CELESTE NINABANDA OCAMPO**

como Requisito para la Obtención del Título de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

ha sido dirigido por el Profesor

**Ing. ESTEBAN OVIEDO**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

**ING. ESTEBAN OVIEDO MSC  
DIRECTOR**



ECUADOR  
UNIVERSIDAD  
INTERNACIONAL  
**SEK**

## DECLARATORIA PROFESORES TRIBUNALES

### LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

**ESTEBAN OVIEDO**

**KATTY CORAL**

**ANA RODRÍGUEZ**

Después de revisar el trabajo presentado, por el alumno

**ANDREA CELESTE NINABANDA OCAMPO**

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador

**ESTEBAN OVIEDO**

  
**KATTY CORAL**  
**ANA RODRÍGUEZ**

Quito, 1 de Julio de 2016

## Dedicatoria

A mis padres, quienes son mi orgullo y admiración,  
por su esfuerzo y dedicación en formarme  
como profesional y como ser humano.

Por su amor y confianza  
para alcanzar mis sueños.

## Agradecimientos

A mi familia, quienes han sido el pilar  
que me da fortaleza para seguir adelante  
a pesar de las adversidades.

Su incondicional cariño ha hecho  
que cada día sea una maravillosa experiencia.

A la Facultad de Ciencias Ambientales y a sus docentes,  
quienes han dedicado su esfuerzo  
en educar no sólo profesionales competentes  
sino también seres humanos con valores.

# Índice

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. IMPORTANCIA .....	5
1.3. OBJETIVOS .....	6
1.1.1. GENERAL.....	6
1.1.2. ESPECÍFICOS.....	6
1.4. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR.....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>13</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO .....	13
2.1.1. ESTUDIOS PREVIOS .....	16
2.2. MARCO LEGAL .....	19
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador .....	19
2.2.2. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización .....	20
2.2.3. Ley Orgánica de Salud.....	20
2.2.4. Ley de Gestión Ambiental.....	21
2.2.5. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.....	21
2.2.6. Manejo integral de residuos sólidos en el Cantón Shushufindi .....	22
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	24
2.3.1. Residuo sólido.....	24
2.3.2. Botadero de basura .....	25
2.3.3. Poder calórico .....	26
2.3.4. Valorización energética .....	28
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>29</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>29</b>
3.1. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA.....	29
3.2. METODOLOGÍA PARA CALCULAR EL PODER CALÓRICO SUPERIOR E INFERIOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	30
3.2.1. Fase documental.....	31
3.2.2. Fase de campo.....	31
3.2.3. Fase de laboratorio.....	32



3.2.4.	<i>Levantamiento de Datos</i> .....	43
3.2.5.	<i>Cálculos</i> .....	48
3.2.6.	<i>Análisis estadísticos de datos</i> .....	49
<b>CAPÍTULO IV</b> .....		<b>52</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....		<b>52</b>
4.1.	RESULTADOS .....	52
4.1.1.	<i>Caracterización de la muestra</i> .....	55
4.1.2.	<i>Porcentaje de humedad</i> .....	56
4.1.3.	<i>Poder calórico</i> .....	57
4.2.	DISCUSIÓN.....	59
4.2.1.	<i>Composición anual de residuos</i> .....	60
4.2.2.	<i>% Humedad</i> .....	61
4.2.3.	<i>PCI</i> .....	62
4.2.4.	<i>PCS/PCI/%H</i> .....	64
4.2.5.	<i>Clúster</i> .....	65
<b>CAPÍTULO V</b> .....		<b>67</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....		<b>67</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	67
5.2.	RECOMENDACIONES .....	70
<b>CAPÍTULO VI</b> .....		<b>72</b>
<b>REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA</b> .....		<b>72</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> MAPA DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA.....	7
<b>FIGURA 2.</b> DIVISIÓN PARROQUIAL DEL CANTÓN SHUSHUFINDI .....	8
<b>FIGURA 3.</b> MAPA DE LA RESERVA BIOLÓGICA LIMONCOCHA.....	12
<b>FIGURA 4.</b> BOTADERO A CIELO ABIERTO CONTROLADO CANTÓN SHUSHUFINDI, SUCUMBÍOS.....	26
<b>FIGURA 5.</b> METODOLOGÍA DE MUESTREO .....	32
<b>FIGURA 6.</b> MUESTRA MIXTA HOMOGENIZADA Y TRITURADA.....	33
<b>FIGURA 7.</b> MUESTRAS SECAS .....	34
<b>FIGURA 8.</b> MUESTRA MIXTA COMPRIMIDA (PELLET).....	37
<b>FIGURA 9.</b> INCREMENTO DE TEMPERATURA.....	46
<b>FIGURA 10.</b> COMPOSICIÓN HABITUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PARROQUIA LIMONCOCHA.....	55
<b>FIGURA 11.</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD MES A MES .....	56
<b>FIGURA 12.</b> PODER CALÓRICO SUPERIOR (PCS) TEXTIL Y MIXTO MES A MES.....	57
<b>FIGURA 13.</b> PODER CALÓRICO INFERIOR (PCI) TEXTIL Y MIXTO MES A MES .....	58
<b>FIGURA 14.</b> DESVIACIÓN ESTÁNDAR TEXTIL Y MIXTO .....	59
<b>FIGURA 15.</b> COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PARROQUIA LIMONCOCHA PERIODO 2015.....	60
<b>FIGURA 16.</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS RSU (MUESTRA MIXTA) DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA PERÍODO 2015 .....	61
<b>FIGURA 17.</b> PODER CALÓRICO INFERIOR DE LOS RSU (MUESTRA MIXTA) DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA PERÍODO 2015 .....	62
<b>FIGURA 18.</b> DESVIACIÓN ESTÁNDAR MIXTO 2015.....	63
<b>FIGURA 19.</b> PCS vs PCI vs %HUMEDAD DE LA MUESTRA MIXTA 2015.....	64
<b>FIGURA 20.</b> FLUJO ANUAL DE PCS PCI Y % HUMEDAD DE LA MUESTRA MIXTA 2015 .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA I.</b> POBLACIÓN DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA.....	8
<b>TABLA II.</b> SECTORIZACIÓN DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA.....	9
<b>TABLA III.</b> VALOR TEÓRICO DEL PODER CALÓRICO INFERIOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	27
<b>TABLA IV.</b> REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN .....	44
<b>TABLA V.</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD .....	44
<b>TABLA VI.</b> INCREMENTO DE TEMPERATURA .....	45
<b>TABLA VII.</b> PORCENTAJE DE AZUFRE.....	46
<b>TABLA VIII.</b> INCREMENTO DE TEMPERATURA Y CORRECCIONES TERMOQUÍMICAS.....	47
<b>TABLA IX.</b> CÁLCULO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD .....	48
<b>TABLA X .</b> CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS MES A MES .....	53
<b>TABLA XI.</b> PODER CALÓRICO INFERIOR, PODER CALÓRICO SUPERIOR Y % HUMEDAD DE LOS RSU DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA.....	54
<b>TABLA XII.</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	57
<b>TABLA XIII.</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	58
<b>TABLA XIV.</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	62

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN 1.</b> TAMAÑO DE LA MUESTRA .....	29
<b>ECUACIÓN 2.</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD.....	34
<b>ECUACIÓN 3.</b> CONSTANTE DEL EQUIPO .....	35
<b>ECUACIÓN 4.</b> PORCENTAJE DE AZUFRE .....	40
<b>ECUACIÓN 5.</b> AUMENTO DE TEMPERATURA.....	41
<b>ECUACIÓN 6.</b> PODER CALÓRICO SUPERIOR.....	43
<b>ECUACIÓN 7.</b> PODER CALÓRICO INFERIOR.....	43
<b>ECUACIÓN 8.</b> MEDIA ARITMÉTICA.....	50
<b>ECUACIÓN 9.</b> DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	50

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A .....	76
ANEXO B .....	77
ANEXO C .....	78

## **RESUMEN**

La sobreproducción de residuos sólidos urbanos es una problemática que aqueja tanto al ambiente como a la salud humana, y la parroquia Limoncocha no es la excepción, ya que disponen sus residuos en un botadero de basura a cielo abierto ubicado en el cantón Shushufindi, por otra parte, los pobladores toman sus propias medidas al disponer de sus residuos en fosas o quemándolas. En respuesta a ello este trabajo de investigación presenta un estudio de los residuos sólidos urbanos (RSU) de la parroquia Limoncocha, como una fuente potencial de energía renovable obtenida a través de procesos de aprovechamiento energético como lo es la incineración. La caracterización de los RSU revelan que los principales componentes de biomasa son materiales como: residuos de comida, plásticos, papel, cartón y en menor cantidad madera y textiles. Basado en estas características, se procede a determinar el potencial energético que podría ser recuperado. Los resultados obtenidos del análisis en la bomba calorimétrica de las muestras textil y mixto de los RSU, indican que el potencial energético que estos brindan son aptos para someterlos a procesos de aprovechamiento energético. Sin embargo se ha descartado la incineración como sistema de gestión en la parroquia Limoncocha, ya que el flujo anual de residuos es insuficiente para implementar dicho sistema.

**Palabras clave:** residuos sólidos, contaminación, poder calorífico, incineración.

## **ABSTRACT**

The overproduction of municipal solid waste (MSW) is a problem that affects not only the environment but the human health, and Limoncocha is not the exception. Nowadays, it's disposed into an open garbage dump located in Shushufindi. Moreover, the population also take their own measures by disposing their waste in pits or burning them. As a result, this document presents the study of municipal solid waste (MSW) from Limoncocha, as a potential source of renewable energy obtained through recovery energy projects as the incineration. The characterization revealed the main components of MSW to compose of biomass materials such as food waste, paper, cardboard, timber, textile and plastics. Based on the characteristics of the MSW the evaluation was conducted to determine the potential energy that would be recovered. The results obtained from the analysis using the calorimeter oxygen bomb of textile and mixed samples, showed that the energy potential of the MSW are appropriate for using in energy recovery projects. However, incineration has been ruled out as a management system in the Limoncocha parish, because of the annual flow of waste is insufficient to implement that system.

**Key words:** solid waste, pollution, heat power , incineration.

# CAPÍTULO I

## *INTRODUCCIÓN*

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son producto, tanto de las actividades humanas domésticas como de actividades comerciales e industriales, de modo que, si los residuos no se manejan adecuadamente y se tratan, tendrá un impacto negativo sobre las condiciones higiénicas en las zonas urbanas, a más de que contaminan el aire, el agua superficial y subterránea, así como el suelo y los cultivos (World Bank, 1999).

En función al incremento respecto a la generación de residuos sólidos urbanos y la problemática que conlleva su sobreproducción, se han desarrollado políticas que establecen prioridades para la prevención y tratamiento de los mismos. En primera instancia se busca reducir la generación de residuos en la fuente, y sólo cuando los materiales no puedan ser reciclados, ya sea porque la población no los clasifica en su hogar (clasificación en la fuente) o porque no existe un uso secundario para estos materiales, se considera como mejor opción alguna estrategia de recuperación de los residuos y, como opción menos deseada, la disposición final en vertederos (Moratorio et al, 2012).

Profundizando en los métodos de gestión de residuos se plantean diferentes alternativas para la recuperación de los mismos, en donde las soluciones más deseables son: la digestión anaerobia y el compostaje aerobio. Por otra parte se encuentran las tecnologías para conversión de residuos en energía, estas pueden darse de diferentes formas tales como: la incineración, la gasificación y combustión (Moratorio et al, 2012).

De acuerdo con Quezada (2007), entre los parámetros físico-químicos más importantes a considerar al momento de someter los residuos sólidos a procesos de aprovechamiento energético, es sin duda el Poder Calórico Superior (PCS) y el Poder Calórico Inferior (PCI), parámetros que centran su importancia al determinar que residuos brindan mayor cantidad de energía y conocer cuan óptimos son los distintos tipos de RSU para aprovecharlos, ya sea como combustible o en la obtención de energía térmica o eléctrica.

En vista de las elevadas tasas de producción de residuos sólidos urbanos y la posibilidad de aprovecharlos, es preciso analizar los métodos que permitan su recuperación. Para tal efecto,

este proyecto de fin de carrera tiene el propósito de determinar el Poder Calórico Inferior (PCI) y Poder Calórico Superior (PCS) de los residuos sólidos urbanos en lo que comprende el área de la parroquia Limoncocha, sitio que no dispone de un sistema de gestión adecuada, siendo este un botadero de basura a cielo abierto controlado en Shushufindi.

Para llevar a cabo el proceso de determinación del PCI y PCS se tomaron muestras mensuales de los residuos sólidos urbanos en la parroquia Limoncocha, los mismos que fueron trasladados al laboratorio de Química de la Universidad Internacional SEK para ser analizados. Durante esta etapa se procesaron dos muestras; textiles y mixto, obteniéndose la cantidad de energía en calorías de estos residuos al someterlos a un proceso de combustión en una bomba calorimétrica.

### ***1.1. ANTECEDENTES***

El primer paso para un manejo organizado de los residuos sólidos urbanos se dio en Estados Unidos a principios del siglo XX. Hasta ese momento, y dependiendo de los lugares, los residuos eran vertidos en el suelo; enterrados o a cielo abierto, se descargaban en cuerpos de agua, se incineraban o se entregaban, y cuando eran restos de comida servían como alimento de cerdos (OPDS, sf)

A comienzos de la década de los 40, Nueva York y California dieron inicio al vertido controlado y, a través del ejército norteamericano se implementaron programas para el control de vectores y prevención de enfermedades, al tiempo que se efectuaron modulaciones típicas de vertederos, adaptadas según distintos tamaños poblacionales. En virtud de consideraciones económicas y ambientales, entre los años 40 y 70 surgió una nueva forma de administración de los RSU, denominada Gestión Iluminada, que se focalizó en el control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final, con especial énfasis en los efectos ambientales y en la salud de la población (OPDS, sf).

La decisión de incinerar los residuos en lugar de enviarlos a un vertedero, requiere de una cuidadosa consideración de criterios, de tal modo que a mediados de 1980 una serie de ciudades de Europa y Asia del Este saltó directamente desde el simple vertido hacia la



incineración de RSU. Cualquier éxito fue, sin embargo, cuestionable en muchas de estas ciudades, desafortunadamente algunas de estas plantas nunca se completaron, otras se interrumpieron, y el resto están operando a capacidad reducida debido a deficiencias financieras, administrativas y operativas (World Bank, 1999).

Respecto a la experiencia en Europa, en el año 2000 ya se contaba con 304 sitios de incineración a gran escala (en donde “grande” supone un flujo de 30.000 toneladas por año o más), 291 de estos procesos de RSU con recuperación de energía operan en 18 países de Europa occidental. Estos sitios procesan alrededor de 50 millones de toneladas de residuos al año, lo que representó 50 kWh de energía recuperada (40 millones de toneladas equivalentes de petróleo) (DEFRA, 2007).

En los años 2005 y 2006, la eliminación del 9% del total de los RSU producidos en Inglaterra fue de aproximadamente 2,8 millones de toneladas por año. El Reino Unido posee 19 incineradoras en operación para el procesamiento de los RSU. La escala de estas instalaciones en términos de producción anual de residuos varía de 23.000 a 600.000 toneladas (DEFRA, 2007).

La media del vertedero en Europa es del 40% y la de incineración del 20%, pero es preciso resaltar que ambos valores están fuertemente condicionados por la contribución de los países del Este de la Unión Europea, que tienen tasas de vertedero muy elevadas: 100% en Bulgaria, 99% en Rumania, 96% en Lituania, 97% en Malta y 87% en Polonia; mientras que en países más avanzados en materia de gestión de residuos, como Bélgica, Dinamarca, Alemania, Holanda o Suecia presentan valores inferiores al 5% (Rodrigo, 2010).

Por otra parte, muchos países latinoamericanos han realizado mejoras significativas en la gestión de los residuos sólidos urbanos en los últimos años. Al comparar los datos EVAL 2010 con datos recogidos por una encuesta regional anterior (EVAL 2002), la evaluación revela que las tasas de cobertura de los servicios han mejorado en toda la región para el barrido de calles, recolección y disposición final. Más de la mitad de la población urbana en América Latina tiene ahora sus residuos dispuestos en rellenos sanitarios adecuados, frente a menos de un cuarto hace ocho años. Muchos de estos rellenos sanitarios han sido financiados en parte por créditos de carbono provenientes de la recuperación y combustión de gas metano en rellenos sanitarios, y la venta de energía recuperada. Estos son logros impresionantes,

aunque no son necesariamente uniformes en todos los países, o en todas las ciudades dentro de un país (OPS et al, 2010).

A pesar de los logros señalados anteriormente en los servicios de limpieza pública (recolección y disposición final), los datos de la EVAL 2010 muestran que algunas de las actividades de gestión de residuos en América Latina y el Caribe son incipientes, por ejemplo las relacionadas con reducción, recuperación y reciclaje de residuos. Además de los beneficios en la recuperación de biogás, la región está retrasada en áreas tales como recolección selectiva, compostaje, reciclado de materiales y tratamiento térmico de residuos con recuperación de energía (OPS et al, 2010).

En cuanto a la realidad ecuatoriana, según el Censo de Población y Vivienda del año 2010 su población era de 14.483.499 millones de habitantes, registrándose que un 77% de los hogares elimina la basura a través de carros recolectores y el restante 23% la elimina de diversas formas, así por ejemplo la arroja a terrenos baldíos o quebradas, la quema, la entierra, la deposita en ríos acequias o canales, etc (MAE, 2016).

Según datos provistos por el Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos, el MIDUVI y otras instituciones, se determinó que el servicio de recolección de residuos sólidos tiene una cobertura nacional promedio del 84.2% en las áreas urbanas y de 54.1% en el área rural, la fracción no recolectada contribuye directamente a la creación de micro basurales descontrolados (MAE, 2016).

El 73,4% de los vehículos de recolección del país son compactadores y se tiende a no utilizar equipos abiertos. El 70% de los equipos supera la vida útil de 10 años. Solo el 28% de los residuos son dispuestos en rellenos sanitarios, sitios inicialmente controlados que con el tiempo y por falta de estabilidad administrativa y financiera, por lo general, terminan convirtiéndose en botaderos a cielo abierto. El 72% de los residuos restante es dispuesto en botaderos a cielo abierto (quebradas, ríos, terrenos baldíos, etc.), que provocan inconvenientes e impactos de diferente índole como taponamiento de cauces de agua y alcantarillados, generación de deslaves, proliferación de insectos y roedores; que traen consigo problemas ambientales y de salud a la población (MAE, 2016).

Actualmente la generación de residuos en el país es de 4,06 millones de toneladas métricas al año con una generación per cápita de 0,74 kg. Se estima que para el año 2017 el país generará 5,4 millones de toneladas métricas anuales, por lo que se requiere de un manejo integral planificado de los residuos (MAE, 2016).

Es evidente que el éxito del aprovechamiento energético de los RSU depende de minuciosos estudios y criterios a considerar, y siendo Ecuador un país con una elevada tasa poblacional generadora de toneladas de residuos sólidos al año, es preciso realizar estudios que permitan determinar la factibilidad de implementación de tecnologías de aprovechamiento energético de los residuos sólidos en el país.

En cuanto a los residuos generados en la parroquia Limoncocha, esta no cuenta con un sistema de gestión adecuado a las necesidades del sitio, ya que por una parte sólo un 13,30% tiene acceso al servicio de recolección, un 29,06% lo desechan en terrenos baldíos y el 30,66% la queman, mientras que el porcentaje restante elige otras medidas tales como: enterrar, arrojar a ríos y a pozos (GADPL, 2011).

En función a lo expuesto anteriormente, es evidente la deficiente gestión y disposición final de los residuos generados en la parroquia, lo que pone a discusión la implementación de un sistema de gestión apropiado. Para llevar a cabo cualquier medida, es indispensable contar con datos respecto a la generación de residuos, por lo cual, a partir del año 2015 la Universidad Internacional SEK ha dado inicio al estudio de cuantificación del Poder Calórico Superior e Inferior de los residuos sólidos urbanos en la parroquia Limoncocha, lo que permite tener pautas para realizar y dar seguimiento a futuras investigaciones.

## **1.2. IMPORTANCIA**

La parroquia Limoncocha representa un sitio estratégico desde el punto de vista ambiental, ya que aloja un sin número de especies tanto animales como vegetales, a más de ello aquí se encuentra la laguna Limoncocha, catalogada sitio RAMSAR, ocupando el segundo lugar en importancia de humedales del país. La parroquia también alberga una población en constante crecimiento, lo cual indica un incremento en la generación de residuos sólidos. Como consecuencia, es de suma importancia estudiar tanto el flujo como las características fisicoquímicas de los residuos generados, a fin de establecer las condiciones óptimas para

establecer un sistema de gestión de residuos sólidos, el cual posibilite la conservación de las características naturales del sitio, a más de sostener una localidad limpia y una población sana.

Debido a las ventajas que presenta el mecanismo de incineración de residuos sólidos, el cual representa no solo una mejora en el sistema de gestión y reducción de espacios para vertederos, sino también permite aprovechar la energía generada al combustionar los mismos, resulta importante realizar la investigación de cuantificación del PCI y PCS de los residuos sólidos urbanos en la parroquia Limoncocha, ya que el buen resultado de un proyecto de aprovechamiento energético de residuos depende en primer lugar de datos bastante exactos sobre las futuras cantidades de residuos y las características de los mismos, los cuales darán la base para el diseño de un sistema de gestión adecuado.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. GENERAL**

Determinar el poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos (textil y mixto) generados en la Parroquia Limoncocha, utilizando una bomba calorimétrica, con el fin de conocer el potencial energético que brindan al someterlos a un proceso de aprovechamiento energético.

#### **1.1.2. ESPECÍFICOS**

- Determinar la humedad de los residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha, a través del secado, para conocer la influencia que esta ejerce durante los procesos de aprovechamiento energético.
- Determinar la composición y porcentaje de los residuos sólidos urbanos generados por la población de la parroquia Limoncocha por medio de la caracterización, para establecer la viabilidad de aplicar mecanismos térmicos de aprovechamiento energético.

### **1.4. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR**

#### **Parroquia Limoncocha**

La parroquia Limoncocha, se estableció el 30 de abril de 1972 y su nombre hace referencia al color del agua de la laguna y de las plantas de limón que se encontraron en sus orillas. Está

ubicada al sur de la provincia de Sucumbíos y posee una extensión de 59 853,15 hectáreas, limita al norte con las parroquias Shushufindi y San Roque, por el sur y oeste con la provincia de Orellana y al este la parroquia de Pañacocha (GADPL, 2011).

**Figura 1.** Mapa de la parroquia Limoncocha



**Fuente:** GADPL, 2011

El tipo de vegetación que abunda en la zona es el bosque secundario maduro, el mismo que presenta dos tipos de clima: megatérmico lluvioso que se caracteriza por una temperatura mayor a los 22 °C y precipitaciones superiores a los 5500 mm y megatérmico muy húmedo, las lluvias se distribuyen regularmente en todo el año y la humedad es muy alta alcanzando hasta el 80% (GADPL, 2011).

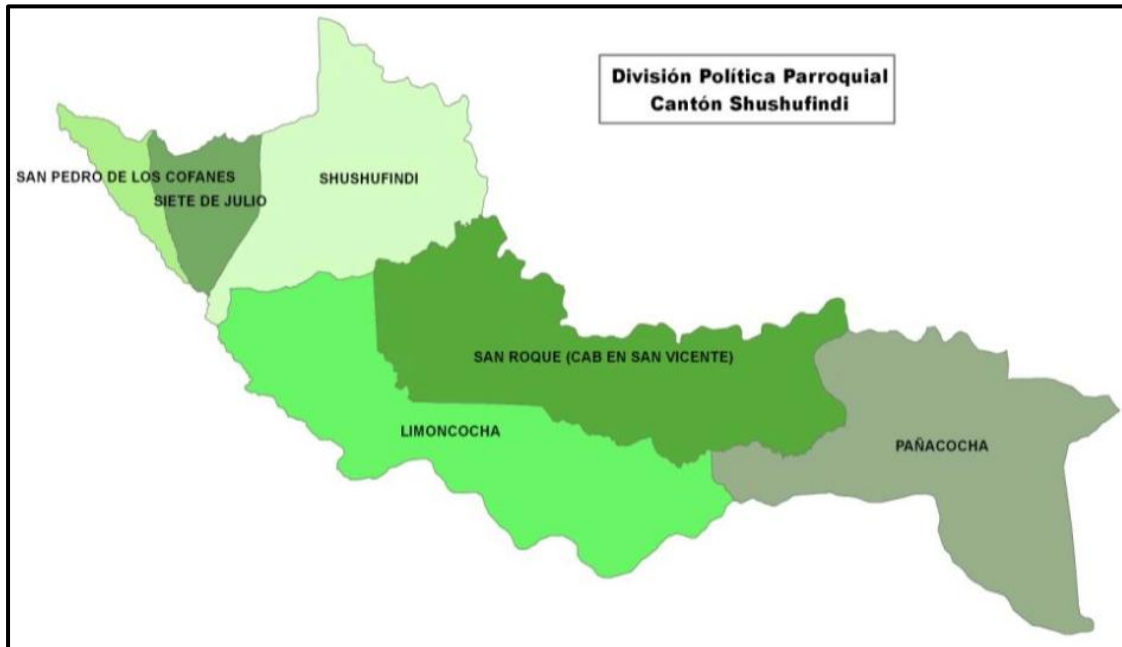
Aquí también se localizan siete campos petroleros: Quilla, Limoncocha, San Francisco, Jivino, Laguna e Indillana, correspondientes al Bloque 15 y operados por la estatal Petroamazonas y el campo Shushufindi-Aguarico por Petroecuador (GADPL, 2011).

En cuanto al uso del suelo se pueden distinguir algunas variedades, en donde las áreas productivas de la parroquia se concentran en el bosque natural con un porcentaje del 46,47%, la arboricultura tropical-pasto, que ocupa un 16,01% del total del área productiva y el pasto que ocupa un 7,14% de las 55 237,89 hectáreas de áreas productivas. Sin embargo, 4 615,44 hectáreas de esta superficie corresponden al área protegida (GADCS, 2011).

Respecto a los recursos hídricos, la parroquia se encuentra dentro de la cuenca del Río Napo y en las sub cuencas del Río Aguarico y Río Jivino. La mayoría de los suelos del territorio son de color y textura casi uniforme, pardo rojizo oscuro, franco arcillosos a arcillosos,

cubiertos en su mayor superficie por bosque natural, sin embargo se identifican superficies de pastos asociados con arboricultura tropical (GADPL,2011).

**Figura 2.** División parroquial del cantón Shushufindi



**Fuente:** Almeida, 2013

*Población*

De acuerdo al censo de 2010, la parroquia Limoncocha contaba con 6 817 habitantes con una tasa de crecimiento del 3,48%, mientras que según datos poblacionales del INEC (2016), la parroquia Limoncocha está conformada por 7 146 habitantes, dispuestos en tres asentamientos principales; Limoncocha, Yamanunka y 18 de Noviembre. En cuanto a la distribución étnica de la población, el 43,39% se califica como mestizo mientras que el 51,56% se considera indígena cuyos principales grupos son los Quichua y los Shuar (INEC, 2010).

**Tabla I.** Población de la parroquia Limoncocha

Comunidad	Población
LIMONCOCHA	3435
YAMANUNKA	2022
18 DE NOVIEMBRE	1689
<b>Total</b>	<b>7146</b>

Adaptado de INEC poblacional 2016

En cuanto a la población de estudio de este proyecto, se consideraron los 1341 habitantes pertenecientes al centro poblado de Limoncocha.

**Tabla II.** Sectorización de la parroquia Limoncocha

SECTORIZACION POR COMUNIDADES						
PARROQUIA	UNIDAD OPERATIVA	SECTOR	COMUNIDADES ASIGNADAS	TOTAL POBLACION	POBLACION SECTOR	
<b>LIMONCOCHA</b>	<b>LIMONCOCHA</b>	<b>SECTOR SUR</b>	PILCHE	434	<b>3435</b>	
			ITAYA	675		
		<b>SECTOR NORTE</b>	RIO JIVINO	985		
		<b>SECTOR CENTRO</b>	<b>Centro Poblado</b>	<b>1341</b>		
	<b>YAMANUNKA</b>	<b>YAMANUNKA</b>	<b>YAMANUNKA</b>	COM. YAMANUNKA	1367	<b>2022</b>
				COM. TUNTIK	22	
				COM. SAN JUAN BOSCO	29	
				COM. YAMARANZUKO	119	
				COM. WAMPUTZAR	93	
				COM. KUKUSHU	24	
				COM. SAN JOSE	54	
				COM. 8 DE DICIEMBRE	51	
				COM. LAS VEGAS	43	
				COM. TSANIMP	175	
				COM. WUAMPUISH	45	
	<b>18 DE NOVIEMBRE</b>	<b>18 DE NOVIEMBRE</b>	<b>18 DE NOVIEMBRE</b>	18 de NOVIEMBRE	964	<b>1689</b>
				EL RECREO	131	
				29 DE JUNIO	89	
				LA SHARIAN	311	
LA CADENA				74		
LUIS VARGAS TORRES				120		

Adaptado de Ministerio de Salud, 2016

De acuerdo con los datos del INEC (2010), el índice de analfabetismo de la parroquia asciende a un 5%. La gran mayoría de la población logra completar al menos la educación primaria (37,89%), el 21,8% tiene estudios secundarios y el 7,45% ha accedido a la educación superior.

Las actividades que se desarrollan en la zona son la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, la explotación de recursos naturales y la docencia. En general, las condiciones socioeconómicas de la población de Limoncocha poseen bajos ingresos, en donde el 84% de los pescadores dependen de esta actividad para vivir y el 16% utilizan la pesca como complemento de sus dietas (GADPL, 2011).

### *Salud y Servicios*

La parroquia de Limoncocha cuenta con un subcentro de salud, articulado al Ministerio de Salud Pública (MSP), que dispone de infraestructura, servicios básicos, equipamiento y personal médico (PDOT Shushufindi, 2015).

Limoncocha cuenta con ejes viales de primer nivel que atraviesan la parroquia y que a su vez coexisten con carreteras lastradas y trochas que posibilitan el acceso a las comunas del sector. La zona cuenta con transporte público que permite su vinculación con Shushufindi, Lago Agrio y Coca (PDOT Shushufindi, 2015).

En cuanto a los servicios básicos, de acuerdo con los datos del INEC (2010), un 26,23% de la población de la parroquia tiene acceso a agua proveniente de una red pública, mientras que un 43,02% obtienen el agua de pozos, un 19,62% de ríos, el 11,04% de agua lluvia y el 0,09% de carros repartidores del líquido vital.

Respecto a la eliminación de aguas servidas, únicamente el 1,51% cuenta acceso a la red de alcantarillado, mientras que el 21,42% posee pozos sépticos, el 15,09% pozos ciegos, el 6,89% emplea letrinas y 0,38% descarga las aguas servidas en ríos y riachuelos. Sin embargo, un importante porcentaje de la población (54,72%) no posee ningún tipo de sistema para la eliminación de las aguas servidas. En cuanto a la recolección de residuos sólidos, el 13,30% tiene acceso al servicio de recolección, un 29,06% lo desechan en terrenos baldíos y el 30,66% la queman (GADPL, 2011). Los residuos son recolectados por el camión de basura



los días martes y viernes aproximadamente a las 10 de la mañana, para posteriormente ser transportados a un botadero de basura controlado, mismo que se encuentra junto a una fuente de agua.

Por otra parte, la parroquia cuenta con 86,19 km de redes eléctricas (GADPL, 2011), brindando una cobertura al 62,74% de la población a través de las redes públicas, el 2,08% de la población obtiene energía eléctrica a través de generadores y el 0,38% emplea otros mecanismos. Pero aún, el 34,81% de los habitantes de la parroquia no tienen acceso a este servicio (GADPL, 2011).

### **Reserva Biológica Limoncocha**

La Reserva Biológica Limoncocha (RBL), se encuentra ubicada al lado nororiental de la Amazonía ecuatoriana, en la región suroccidental de la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi, parroquia Limoncocha, a una altura aproximada de 230 msnm, con una temperatura anual de 24,9 °C y una precipitación anual que alcanza hasta los 3065 mm (Bastidas, 2009 y Montenegro, 2015).

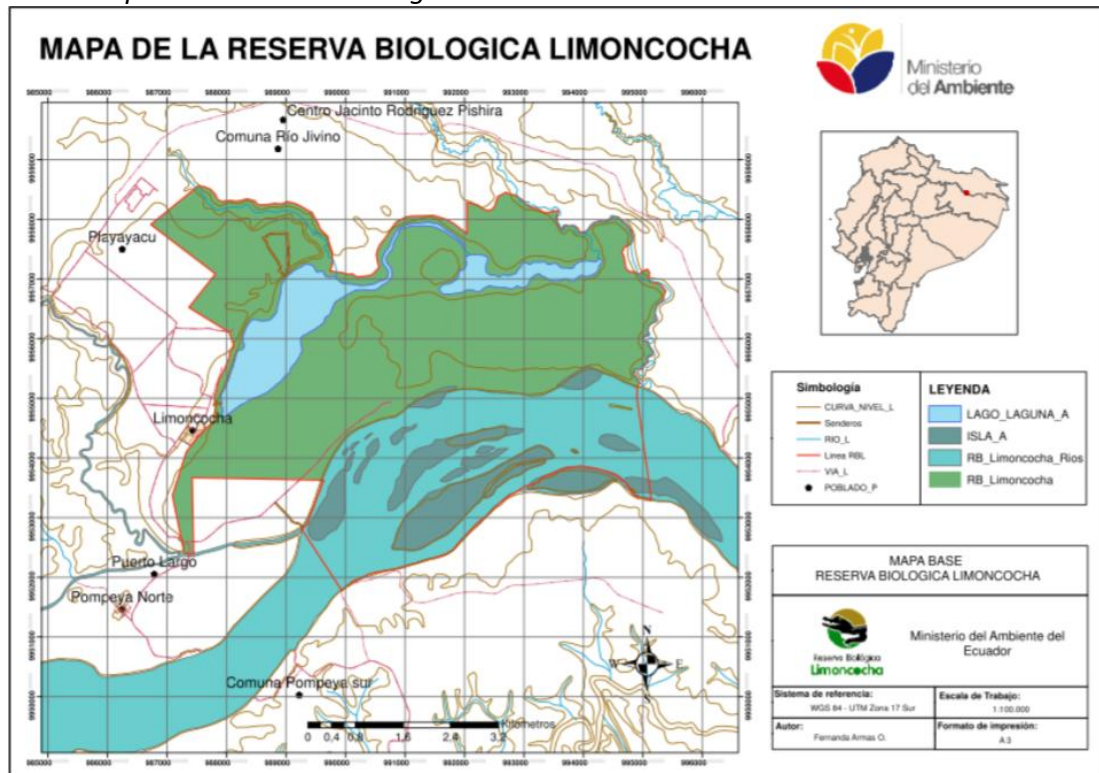
La RBL constituye un área protegida a partir del Acuerdo Ministerial N° 394 del 23 de septiembre del 1985, siendo esta una de las áreas protegidas más pequeñas del Ecuador con una extensión de 4.613 hectáreas (Sistema Nacional de Áreas Protegidas MAE, 2015), la cual comprende la laguna de Limoncocha, la laguna Negra o Yanacocha y un sistema hidrológico interconectado que integra los ríos Capucuy, Itaya, Jivino e Indillana (Moscoso, 2013).

De acuerdo con el Acuerdo Ministerial N° 394, los límites de la RBL se extienden: por el norte desde el río Copachi hasta su encuentro con la comuna Santa Elena y el río Pishira; por el oeste, el límite recorre el lidero determinado por el IERAC para la adjudicación de los terrenos a las comunidades nativas de Limoncocha; por el sur, el curso del río Jivino hasta el lindero establecido por el IERAC en favor de las comunidades nativas hasta toparse con la ribera del río Napo; finalmente, por el este, circunvala una isla localizada en las orillas del río Napo hasta tocarse con el río Copachi que es el punto inicial.

En el sistema de clasificación de Ecosistemas del Ecuador continental, la RBL pertenece al Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen andino y de Cordilleras Amazónicas, Bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía, Bosque inundado de

palmas de llanura aluvial de la Amazonía y Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía (MAE, 2013). Finalmente, se ha catalogada a la Reserva Biológica Limoncocha como un sitio RAMSAR y a lo largo de los estudios realizados en varios años, se han identificado hasta 464 especies de aves, 97 mamíferos, 94 anfibios y reptiles y 345 especies de plantas (Bastidas et.al, 2014).

**Figura 3.** Mapa de la Reserva Biológica Limoncocha



**Fuente:** MAE, 2011

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

El tratamiento de los RSU comprende todas las formas y conceptos por los cuales los residuos son procesados para delimitar los potenciales impactos que puedan causar al ambiente, ya sea por la disminución de su volumen o por su peligrosidad, para acondicionarlos de cara a una adecuada disposición final o para maximizar su aprovechamiento (OPDS, sf).

De acuerdo con Centeno (2010) el 40% de los materiales que constituyen los RSU son recuperables a través de la recogida selectiva, mientras que el 60% restante está constituida por materiales no separables fácilmente o no recuperables, pero ricos en energía. Por lo cual, con una gestión adecuada de los RSU y el control apropiado de sus efectos contaminantes sobre el medio ambiente y el cambio climático, los residuos sólidos urbanos tienen la oportunidad de convertirse en un recurso precioso de combustible para la energía sostenible urbana del mañana (UNEP / Bloomberg NEF, 2012).

La tecnología denominada Waste to Energy (WTE) utiliza los residuos sólidos urbanos para producir energía calórica o eléctrica a través de la combustión de los desperdicios. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), WTE es una fuente de energía limpia que produce electricidad con menos impacto ambiental que la mayoría de las fuentes de energía disponibles. También la Comisión Nacional de Energía de Europa, clasifica a Waste to Energy como energía renovable dentro de la categoría de biomasa (quema de material orgánico disponible sobre una base renovable), debido a que los componentes de la basura son derivados de materia orgánica (OPDS, sf).

De acuerdo a lo mencionado por la OPDS, además de producir energía limpia a partir de residuos, la WTE resuelve otros problemas como; que al partir de la reducción del volumen de los residuos, se aprovecha mejor el terreno que siempre es escaso para la disposición final de los residuos, lo que prolonga la vida del relleno sanitario en un 500%; al reducir la generación de metano, que es 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),

contribuye a disminuir el efecto invernadero y finalmente permite eliminar los malos olores, las fuentes de enfermedades y los posibles perjuicios para el suelo y el agua.

Haciendo hincapié en la premisa de que los residuos contienen energía, sirve de base para justificar los procesos de WTE en los cuales se recupera energía a partir de los diferentes residuos, transformándolos en gas combustible mediante procesos de biometanización, gasificación, pirólisis y plasma, o en calor mediante procesos de incineración (Muruais & Maíllo, 2010).

Un parámetro que puede diferenciar los distintos procesos de tratamiento es la temperatura. Así, existen procesos a baja temperatura (biológicos) y procesos a alta temperatura, conocidos como tratamientos térmicos, los cuales operan a temperaturas superiores a los 850°C pudiendo llegar a cerca de los 3 000°C (Muruais & Maíllo, 2010).

Otro elemento determinante en el tipo de proceso térmico es la cantidad de oxígeno presente, de modo que si existe un exceso moderado de oxígeno puede hablarse propiamente de incineración, mientras que si existe un defecto de oxígeno, de forma deliberada o momentánea, los procesos combinados de transferencia de masa y calor pueden desarrollarse de dos formas distintas; pirólisis y termólisis (Centeno, 2010).

En cuanto a la incineración, es un proceso exotérmico de oxidación completa de los elementos combustibles de los residuos, en donde cede una importante cantidad de energía y a la vez destruye gran parte de los productos sólidos, convirtiéndolos en gas y vapor de agua (Muruais & Maíllo, 2010). Respecto a la emisión de gases por chimenea, su cantidad depende del valor nominal estequiométrico, en función de la cantidad de carbono e hidrógeno que tengan los residuos y del exceso de aire que cada tecnología necesite para garantizar la más perfecta combustión posible. En general los productos de la reacción de combustión a elevadas temperaturas son las especies más oxidadas: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> (Centeno, 2010).

La decisión de implementar un sistema de incineración debe considerar algunos factores que determinan su viabilidad, en función a ello, el World Bank (1999) expone el informe de orientación técnica “Municipal Solid Waste Incineration”, en el cual menciona que el éxito de un proyecto de incineración de residuos sólidos depende en primera instancia de la exactitud respecto al conocimiento de datos de la generación de residuos, ya que para operar una planta

de incineración continuamente, la generación de residuos debe ser bastante estable durante el año.

La generación de residuos depende en gran medida de las condiciones socioeconómicas y el grado de urbanización y la industrialización del área intervenida. En general, la generación de residuos y los datos de composición no se pueden proyectar de un lugar a otro, por lo tanto, su producción se basa en un estudio integral de residuos local. A más de ello, es importante conocer el contenido energético que brindan los residuos de la localidad al ser combustionados de forma completa (World Bank, 1999).

Por otra parte, un sistema de incineración depende también de la actitud de los múltiples grupos de interés (el estado o el sector privado) y en el marco legislativo e institucional aplicado al sitio (World Bank, 1999).

Entre los principales criterios establecidos en este informe técnico se encuentra que:

- Las previsiones de generación y composición de los residuos se establecen sobre la base de residuos del área de influencia de la planta de incineración.
- La cantidad anual de residuos para la incineración no debe ser inferior a 50 000 toneladas métricas y las variaciones semanales en el suministro de residuos a la planta no deben exceder el 20%.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos de los residuos, Alonso, Martínez, & Olías (2003) establecen que el porcentaje de humedad óptimo que deben tener los residuos sólidos urbanos es del 55%, mientras que Romero (2010) indica que para que una planta incineradora alcance un rendimiento energético de entre el 20 y 30 %, el valor de PCI de los RSU debe ser de aproximadamente 3100 kcal/kg.

Finalmente, el coste real de la inversión para una planta de incineración de residuos depende de una amplia gama de factores, especialmente del tamaño (capacidad) de la planta, de la cantidad de toneladas métricas por año o el día y el correspondiente poder calórico inferior de los residuos. Plantas de baja capacidad son relativamente más caras que las plantas de alta capacidad en términos de costo de inversión por tonelada métrica de capacidad. La maquinaria (y por tanto, los costes de inversión) depende del tipo de producción de energía, que van desde el simple enfriamiento de todo el exceso de calor (no venta de energía) a

componente de producción de calor y energía combinada. Además, los equipos necesarios para la limpieza del gas de combustión es en gran medida determinada por el nivel de calidad de emisión deseada o requerida, que por lo tanto influye en los costes de inversión (World Bank, 1999).

#### 2.1.1. ESTUDIOS PREVIOS

La cantidad de energía recuperada (rendimiento energético) depende de varios parámetros, entre los que figuran con mayor importancia el Poder Calórico de los residuos incinerados, así también se considera el tipo de tecnología y proceso utilizado, las dimensiones de la caldera y selección de las condiciones de vapor, las condiciones climáticas donde se instala la planta, entre otras (Muruais & Mañlo, 2010).

En general, el poder calórico determina el contenido energético de los materiales y es un parámetro primario durante el proceso y diseño de sistemas de conversión termoquímica. Hasta ahora, existen dos formas principales para la determinación de poder calórico; la predicción y la medición. Aunque la predicción es conveniente y barata, la medición se considera como un método principal y sólido para garantizar la exactitud de la determinación del poder calórico. En función de ello, resulta esencial conocer estudios realizados anteriormente, de modo que de acuerdo a su experiencia, tomar referencias que sirvan de base a este trabajo.

Durante el estudio realizado por Shen et al (2012) denominado “Medición del poder calórico de la cáscara de arroz mediante el uso de la Bomba Calorimétrica de oxígeno con ácido benzoico como auxiliar de combustión”, el poder calórico es un parámetro primario para el diseño del aparato de conversión termoquímica de la cáscara de arroz, ya que los datos publicados para este material son diferentes debido a las variedades de cáscara y a la diversidad de condiciones de prueba, en donde y de acuerdo al documento GB 5186-85 (China), las condiciones de prueba se especifican como 0,8 g de masa de la muestra y 1,5 MPa de presión manométrica de oxígeno. Sin embargo, en el CEN / TS 14918: 2005 (Gran Bretaña) y GB / T 213-2008 (China) la masa de la muestra y la presión manométrica del oxígeno aumentan a 1,0 g y 3,0 MPa, respectivamente.

Cabe destacar que las condiciones de ensayo especificadas anteriormente en las normas de ensayo para producir biocarburantes o carbón no se pueden aplicar a todos los materiales de la

biomasa, debido a las grandes diferencias entre los materiales. Por ejemplo, para algunos materiales de biomasa de combustión incompleta puede producirse sobre la base de las normas de ensayo anteriores, lo que significa que las condiciones de ensayo son inapropiadas. Respecto a los combustibles con alto contenido de cenizas (por ejemplo la cáscara de arroz) o difíciles de encender, el ácido benzoico se utiliza comúnmente como auxiliar de combustión. Sin embargo, pocos estudios se han preformado en cuanto a la medición del valor de poder calórico superior de la cáscara de arroz mediante el uso de la bomba calorimétrica de oxígeno con ácido benzoico como auxiliar de combustión (Shen et al, 2012).

En este estudio, se examinaron los efectos de la masa de la muestra, la presión manométrica de oxígeno y la relación de masa de la cáscara de arroz y ácido benzoico. Los resultados indican que el valor medido de poder calórico superior de cáscara de arroz aumenta, en primer lugar con el aumento de la presión manométrica de oxígeno y la relación de masa de ácido benzoico y cáscara de arroz, y luego disminuye. Cuando la masa de la muestra de cáscara de arroz es 0,6 g, la presión manométrica de oxígeno es 3,0 MPa, y la relación de masa de la cáscara de arroz y el ácido benzoico es 1,2: 1, el valor de calentamiento más alto de la cáscara de arroz alcanza el máximo, i.e.c.  $15944 \pm 55$  J/g que corresponde a una combustión completa y las condiciones de ensayo adecuadas. El valor calórico medido en este estudio es mayor que la basada en las condiciones de ensayo especificadas en las normas de ensayo británico y chino (Shen et al, 2012).

En cuanto a estudios realizados con RSU, la International Journal of Renewable Energy Technology Research, expone un estudio acerca del potencial de los residuos sólidos urbanos (RSU) como una fuente de energía renovable en la ciudad de Arusha. Para el caso estudiado, el total de residuos generados es de alrededor de 43 772 toneladas, de los cuales la caracterización de los RSU reveló que los principales materiales que componen la biomasa corresponden a alimentos, papel y residuos de madera.

Los resultados de los análisis de los residuos sólidos urbanos mostraron un valor de poder calórico medio de aproximadamente 12 MJ/kg, que indican un potencial de energía anual de 128,9 GWh. El valor de la energía se obtuvo mediante la bomba calorimétrica, energía que contienen los residuos sólidos municipales en base seca (PCS). En este caso la energía de 1 kg de los residuos sólidos municipales es equivalente a la energía de 1,60 kg de residuos sólidos municipales netos. Esto se debe a que los residuos poseen aproximadamente un 60% de

humedad, la misma que requiere 1.411MJ/kg para secar los residuos sólidos municipales. Esta energía, en última instancia se debe obtener de los 12 MJ/kg. El saldo de 10,6 MJ/kg (PCI) es la energía que se podría recuperar por kg de residuos sólidos urbanos en seco de la conversión energética de residuos sólidos urbanos (International Journal of Renewable Energy Technology Research, 2014).

Los resultados apuntan que hay un potencial considerable de energía para recuperarse de los RSU, siendo la proporción más grande de energía renovable. La composición de los residuos procedentes de países en desarrollo y desarrollados fue comparada con los de la ciudad de Arusha. Los resultados indicaron que en los países en vías de desarrollo las características de los RSU se componen principalmente de residuos de alimentos como fue el caso de la ciudad de Arusha (International Journal of Renewable Energy Technology Research, 2014).

En cuanto a la realidad ecuatoriana, el manejo de residuos sólidos urbanos dentro del Distrito Metropolitano de Quito se ha basado únicamente en su disposición en el Relleno Sanitario “El Inga”, más no en su aprovechamiento energético. Este hecho, junto al creciente consumismo de la población, ha incrementado la producción de desechos que dificultan su manejo, generando pérdidas ambientales y económicas para el Distrito (Mafla, 2015).

En función a la problemática que representa la gestión inadecuada de los RSU en el Distrito Metropolitano de Quito, se han realizados algunos estudios al respecto, entre los cuales figura el proyecto de fin de carrera realizado por Dueñas (2012) acerca de la “Cuantificación del porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas contenido en los residuos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito”, estudio que dio apertura a la determinación de humedad como parámetro elemental para la determinación del poder calórico.

El primer trabajo enfocado a la cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos, realizado en la Universidad Internacional SEK corresponde al trabajo de fin de carrera de Ayala (2013) en el cual se establece la metodología para la determinación del poder calórico superior e inferior, mismo que se ha tomado como referencia para la elaboración de trabajos posteriores. En su trabajo expone la cuantificación del PCI y PCS de cuatro tipos de residuos papel, cartón, madera y materia orgánica, mismos que fueron sometidos a un análisis de laboratorio a través de la bomba calorimétrica.



Por otra parte, la información más próxima a la realidad de este trabajo corresponde al estudio realizado por Pacheco durante el año 2015 quien cuantificó el poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha, en el cual ratifica la metodología aplicada por Ayala, con la diferencia de que aquí también se analizaron otras categorías de muestras de residuos, siendo la primera una muestra de textiles y la segunda corresponde a una muestra compuesta.

## 2.2. *MARCO LEGAL*

La generación de residuos sólidos urbanos representa tanto una problemática ambiental como sanitaria, como resultado a partir de los años 70, corrientes ambientalistas internacionales dieron inicio a la discusión de la contaminación ambiental, dando apertura a la creación de una normativa legal ambiental.

A continuación se presenta un marco legal dispuesto de acuerdo con la pirámide de Kelsen, el mismo que está dirigido a la gestión de Residuos Sólidos Urbanos y a sus responsables, con el fin de establecer un control y vigilancia de los impactos que produce la contaminación causada por los residuos sólidos urbanos y sus efectos tanto en el ambiente como en la salud.

### 2.2.1. **Constitución de la República del Ecuador**

De acuerdo al artículo 10 de la Constitución de la República del Ecuador, se reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos, mientras que el artículo 14 estipula el derecho que tiene la población de vivir en un ambiente sano, libre de contaminación, ecológicamente equilibrado y en armonía con la naturaleza que garantice la sostenibilidad y el buen vivir. De tal modo que se declara de interés público la preservación del ambiente, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

En concordancia con lo mencionado anteriormente, el artículo 15 indica que el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

En cuanto al artículo 264 numeral 4, este indica que entre las competencias de los gobiernos municipales se deben prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento

ambiental y aquellos que establezca la ley. Así también de acuerdo al artículo 415, los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos.

### **2.2.2. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización**

El artículo 55 indica que entre las competencias del gobierno autónomo descentralizado municipal consta el prestar los servicios de manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental, entre otros; de tal forma que de acuerdo al artículo 136, los gobiernos autónomos descentralizados municipales establecerán sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminación de vertidos en redes de alcantarillado.

En cuanto a las competencias de prestación de servicios públicos, el artículo 137 menciona al alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, y actividades de saneamiento ambiental, cuando estos servicios se presten en las parroquias rurales se deberá coordinar con los gobiernos autónomos descentralizados.

Los bienes afectados al servicio público de acuerdo al artículo 418 inciso (e), corresponden a los activos destinados a servicios públicos como el de recolección, procesamiento y disposición final de desechos sólidos.

Respecto a la gestión integral del manejo ambiental, el artículo 431 indica que los gobiernos autónomos descentralizados establecerán normas para la gestión integral del ambiente y de los desechos contaminantes que comprenden la prevención, control y sanción de actividades que afecten al mismo.

### **2.2.3. Ley Orgánica de Salud**

Esta ley establece en su artículo 97, que la autoridad sanitaria nacional dictará las normas para el manejo de todo tipo de desechos y residuos que afecten la salud humana; normas que serán de cumplimiento obligatorio para las personas naturales y jurídicas. Por lo cual de acuerdo al artículo 98, la autoridad sanitaria nacional en coordinación con las entidades públicas o

privadas, promoverá programas y campañas de información y educación para el manejo de desechos y residuos.

En cuanto a la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de desechos, el artículo 100 indica que es responsabilidad de los municipios, y se realizarán de acuerdo con las leyes, reglamentos y ordenanzas que se dicten para el efecto, con observancia de las normas de bioseguridad y control determinadas por la autoridad sanitaria nacional. El Estado entregará los recursos necesarios para el cumplimiento de lo dispuesto en este artículo.

#### **2.2.4. Ley de Gestión Ambiental**

El artículo 2 indica que la gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respeto a las culturas y prácticas tradicionales.

En el apartado (j) del artículo 9 se expresa que le corresponde al ministerio del ramo coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes.

#### **2.2.5. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental**

Para los efectos de esta ley, de acuerdo al artículo 9 serán consideradas como fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.

Art 13 los ministerios de Salud y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, en coordinación con las municipalidades, planificarán, regularán, normarán, limitarán y supervisarán los sistemas de recolección, transporte y disposición final de basuras en el medio urbano y rural.

### **2.2.6. Manejo integral de residuos sólidos en el Cantón Shushufindi**

El concejo del gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Shushufindi, a través de la Ordenanza Municipal 2, establece como objetivo implementar y regular el Sistema Integral de los Residuos Sólidos del Cantón Shushufindi y determinar las políticas, principios, normativas y procedimientos de todo el sistema y fija los derechos, deberes y responsabilidades que son de obligatorio cumplimiento para las ciudadanas y ciudadanos residentes en el Cantón y de las instituciones, organizaciones y empresas de todo tipo, tanto públicas como privadas.

Respecto a los fines del Sistema Integral del Manejo de Residuos Sólidos, en el Cantón Shushufindi, en los apartados (k) y (l) del artículo 6, se propone incrementar alternativas de disposición final en la zona urbana y en las zonas rurales de tal manera que disminuyan la eliminación de desechos procurando la ampliación de la vida útil del relleno sanitario, así también se menciona incluir a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales Rurales en el programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos con una responsabilidad social compartida.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi en el artículo 8 expresa que la gestión se realizará a través de la Dirección de Ambiente, Higiene y Salubridad, en donde se impulsará el plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos que incluye la recolección clasificada en la fuente, la aplicación de las alternativas de manejo adecuado como la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de los residuos sólidos; manejo que se dará mediante las fases de barrido, recolección, transporte, tratamiento, disposición final, comercialización e industrialización, cumpliendo un proceso que sea económicamente sustentable y ambientalmente sostenible, con la finalidad de garantizar el buen vivir de los habitantes del Cantón.

En el artículo 9 se menciona que entre los componentes de la gestión integral de desechos y residuos sólidos, se incluye las siguientes; barrido y limpieza de calles, avenidas y espacios públicos, recolección clasificada en la fuente, transporte, disposición final de los desechos sólidos inorgánicos en el relleno sanitario, disposición final de los desechos orgánicos en la planta de procesamiento y recuperación de residuos inorgánicos susceptibles de reciclaje.

Por otra parte, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi en su artículo 10 indica que es el propietario legítimo de los residuos sólidos aprovechables que se generan en toda la jurisdicción del Cantón y está facultado para concesionar o entregar bajo cualquier figura jurídica a empresas o asociaciones dedicadas al reciclaje, reutilización o cualquier forma legal de aprovechamiento de los residuos sólidos aprovechables; y se lo hará bajo contrato o convenio, según el caso lo amerite.

Respecto a los desechos resultantes de las actividades en viviendas e instituciones, el artículo 31 indica que estos deberán ser recolectados por los vehículos recolectores hasta su llenado total, luego deberán ser depositados en el relleno sanitario que deberá construirse para el efecto.

El artículo 34 indica que residuos sólidos en el Cantón Shushufindi deben recolectarse, obligatoriamente y ser clasificados en la fuente por parte de sus entes generadores, de tal modo que la recolección de desechos orgánicos se hará separada de los desechos inorgánicos. Para tal efecto el generador de residuos y desechos sólidos inorgánicos deberá almacenar separadamente los residuos sólidos reutilizables y/o reciclables y los no aprovechables del mismo modo los desechos sanitarios deberán recolectarse en fundas plásticas y cerrarlas antes de ser depositados en el recipiente de desechos inorgánicos no aprovechables.

De acuerdo a lo expresado en el artículo 48, la disposición final de los desechos sólidos no peligrosos sólo podrán hacerse en rellenos sanitarios manejados técnicamente y observando el respeto al medio ambiente, por lo tanto, los botaderos a cielo abierto están totalmente prohibidos. Para el efecto el GAD Municipal tiene la obligación de proporcionar este servicio y también es el encargado del control, mantenimiento y adecuado funcionamiento. Por otra parte, los residuos sólidos no peligrosos también podrán servir como insumos para la conversión en energía eléctrica o ser industrializados si las condiciones y los recursos lo permiten, y de darse el caso este tipo de plantas deberán ser administradas por el Gobierno Municipal.

En cuanto al relleno sanitario, el artículo 49 señala que este deberá contar con todos los permisos y autorizaciones que las leyes ambientales determinen y ser manejado tal como determina el Plan de Manejo, que debe crearse para el efecto.

En el artículo 59, se incluye a la incineración y pirolisis como otras tecnologías a considerar

para la disposición final de los residuos; en donde la incineración es el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante la oxidación química con cantidades excesivas de oxígeno, mientras que la pirólisis es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno. Estos procedimientos son obligatorios en el manejo de desechos sólidos peligrosos.

Para el efecto del uso de tecnologías alternativas limpias, el artículo 60 menciona que el GAD Municipal, evaluará nuevas formas de industrialización de los residuos sólidos, especialmente aquellos que promueven la generación de energía. En caso de decidir el uso de esta alternativa, deberá ser aprobada por el Concejo Municipal previo informe favorable de la Dirección de Ambiente, Higiene y Salubridad, la misma que deberá incluir el reglamento específico para la aplicación de la misma.

En caso de aplicarse alguno de los procesos de incineración, pirólisis y uso de alternativas limpias, el artículo 61 indica que deberán ser implantados bajo aprobación del Concejo Municipal previo informe favorable de la Dirección de Ambiente, Higiene y Salubridad y bajo el cumplimiento de todos los parámetros técnicos y la normativa legal ambiental correspondiente.

### *2.3. MARCO CONCEPTUAL*

#### *2.3.1. Residuo sólido*

Los residuos o desechos son aquellas sustancias u objetos abandonados o descartados de forma permanente por quien los produce, por considerarlos ya sin utilidad en su provecho, esto no significa que los residuos descartados, o al menos algunos de los materiales que contienen, no puedan configurar un recurso en otro marco, o ser útiles para otro actor distinto del generador (OPDS, sf).

Los residuos sólidos urbanos (RSU), en tanto, pueden definirse como los desechos generados en la comunidad urbana, provenientes de los procesos de consumo y desarrollo de las actividades humanas. Normalmente son sólidos a temperatura ambiente cuya naturaleza varía de una región a otra (OPDS, sf). Las características y cantidad de los residuos sólidos generados en una región no sólo es una función del nivel y estilo de vida de los habitantes de la región, sino también de la abundancia y el tipo de los recursos naturales (UNEP, 2005).

Además de los residuos producidos por los usos residenciales, comerciales e institucionales, y por el aseo del espacio público, los RSU incluyen los residuos originados en las industrias y establecimientos de salud, siempre que no tengan características tóxicas no peligrosas, en cuyo caso constituyen corrientes de residuos de otro tipo que deben ser manejadas según lo establecen las normativas específicas (OPDS, sf).

Si bien los RSU están constituidos por un conjunto heterogéneo de materiales, dividen su composición en dos categorías básicas; el primero corresponde a residuos orgánicos que comprenden restos de materiales resultantes de la elaboración de comidas, así como sus restos vegetales y animales (huesos, verduras, frutas, cáscaras). Se descomponen rápidamente, con fuertes olores, y son fuente de proliferación bacteriana. Atraen a roedores, insectos y también a los animales domésticos (gatos, perros, etc.) que, además de romper las bolsas contenedoras, son vectores de enfermedades (OPDS, sf).

Por otra parte los residuos inorgánicos corresponden a restos de elementos que no son fruto directo de la naturaleza sino de la industrialización de recursos naturales (plástico, vidrio, papeles, latas, textiles). Proviene mayormente del desperdicio de envases y embalajes característicos de la presentación de productos comerciales (OPDS, sf).

Los residuos generados en los países situados en zonas húmedas, tropicales, subtropicales por lo general se caracterizan por una alta concentración de restos vegetales; mientras que los generados en áreas sujetas a los cambios estacionales en la temperatura o aquellas en las que el carbón o la madera se utilizan para cocinar y calentar puede contener una gran cantidad de cenizas (UNEP, 2005).

### 2.3.2. Botadero de basura

El botadero de basura es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de deshacerse de los residuos que él mismo produce en sus diversas actividades. De acuerdo con Jaramillo (2002), se conoce como botadero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos, en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural, etc. Allí no existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente; el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemados y humos, polvo y olores nauseabundos.

Los botaderos de basura a cielo abierto son cuna y hábitat de fauna nociva transmisora de múltiples enfermedades, por lo cual representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores de la zona, especialmente para las familias de los segregadores que sobreviven en condiciones infrahumanas sobre los montones de basura o en sus alrededores. Por otra parte, la segregación de subproductos de la basura promueve la proliferación de negocios relacionados con la reventa de materiales y el comercio ilegal. Ello ocasiona la depreciación de las áreas y construcciones colindantes; asimismo, genera suciedad, incremento de contaminantes atmosféricos y falta de seguridad por el tipo de personas que concurren a estos sitios (Jaramillo, 2002).

En la actualidad, el hecho de que los municipios abandonen sus basuras en botaderos a cielo abierto es considerado una práctica irresponsable para con las generaciones presentes y futuras, así como opuesta al desarrollo sostenible (Jaramillo, 2002).

**Figura 4.** Botadero a cielo abierto controlado cantón Shushufindi, Sucumbíos.



**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016

### 2.3.3. Poder calórico

La ATECYR (2010) define como poder calórico de un combustible a la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión atmosférica, de los componentes de la unidad de masa (o volumen) de dicho combustible.

De acuerdo a la ATECYR (2010), el poder calórico se expresa en las siguientes unidades



- Combustibles sólidos: kWh/kg.
- Combustibles líquidos: kWh/kg o kWh/L.
- Combustibles gaseosos: kWh/kg o kWh/Nm<sup>3</sup>.

En la combustión, por la oxidación del hidrógeno se forma agua; además, los combustibles pueden tener un cierto grado de humedad en su composición; dependiendo del estado en que aparezca el agua en los humos, se distinguen dos tipos de poderes calóricos. El primero de ellos corresponde al poder calórico inferior (PCI), que es el calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor. Una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua y por ello ese calor no se aprovecha. Con las temperaturas de humos habituales el agua se evacua con los mismos en fase vapor, por lo que el poder calórico más comúnmente utilizado es el inferior. En cuanto al segundo, este corresponde al poder calórico superior (PCS), el cual representa la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa del combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado (ATECYR, 2010).

En cuanto al valor teórico del poder calórico inferior (PCI) de los residuos sólidos urbanos, la Tabla II. presenta algunas de las categorías típicas que conforman los residuos sólidos urbanos, en donde se representa el valor mínimo recomendado de poder calórico inferior (PCI) de cada tipo de material para ser aprovechado mediante tratamientos térmicos con recuperación energética.

**Tabla III.** Valor teórico del poder Calórico inferior de los residuos sólidos urbanos

<i><b>Residuos</b></i>	<i><b>PCI (kcal/kg)</b></i>
Papel y cartón	3821 4538
Textiles	4538
Madera	4538
Residuos de Comida	3582
Plásticos	9553
Metales	0
Vidrio	0

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

Adaptado de World Bank, 1999

#### 2.3.4. Valorización energética

De acuerdo con Grau y Farré (2011), la “*valorización*” es cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.

Para la valorización energética, la utilización principal de los residuos será como combustible u otro modo de producir energía. Por tal efecto Muruais & Maíllo (2010) mencionan que la recuperación de calor se realiza normalmente a través de vapor y este se transforma en energía eléctrica en turbogeneradores formados por una turbina y un alternador.

# CAPÍTULO III

## METODOLOGÍA

### 3.1. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

La determinación del tamaño de muestra en una investigación es de vital importancia, tanto para caracterizar la distribución de la variable, como para fijar el grado de precisión del estudio (Valdivieso et. al 2011).

Marrugat et al. (1998) sostiene que la estimación del tamaño de muestra puede considerarse un instrumento del que dispone el investigador para evaluar la factibilidad y la necesidad de recursos de su proyecto. Sin embargo, la utilización de hipótesis verosímiles deberá prevalecer sobre otros intereses como las posibilidades económicas, la disponibilidad de recursos u otros. No es ético realizar un estudio con un tamaño de muestra que no ofrezca un poder estadístico suficiente, ya que, desde el punto de vista de la metodología científica, el diseño no es adecuado.

Aquellos investigadores que llevan a cabo grandes investigaciones donde el costo de la recolección de datos es alto, la determinación del tamaño de muestra resulta crítica, ya que el interés radica en conseguir la mejor información al menor costo (Camacho-Sandoval, 2008).

Un tamaño de muestra demasiado grande representa un desperdicio de recursos, tanto materiales como humanos, mientras que un tamaño demasiado pequeño es un desperdicio de esfuerzo, pues no podrá detectar un efecto significativo o se tendrán menos probabilidades de hacerlo (Fuentelsaz, 2004).

Para determinar el número de muestras a tomar, se aplicó la ecuación estadística aplicada a poblaciones finitas, es decir menos de 99.999 individuos. La fórmula aplicada para el cálculo es:

**Ecuación 1.** Tamaño de la muestra

$$n = \frac{z^2 pqN}{z^2 pq + Nze^2}$$

**Fuente:** Webster, 1998

En donde:

n = tamaño de la muestra

Z = nivel de confianza

P = probabilidad de que ocurra el suceso

Q = probabilidad de que no ocurra el suceso

N = tamaño de la población

e = error muestral

Respecto al tamaño de la población, se puede considerar como población un período de tiempo o toneladas diarias. Para este caso, se utilizó como población (N) los 24 meses que dura el estudio, para el nivel de confianza se tomó el valor estandarizado de 95.0%, obteniéndose valores de  $Z=1.96$  y  $e=0.05$  con un error del 5%. De igual manera, se utilizaron valores estándares para P y Q asignando valores de  $P=0.5$  y  $Q=0.5$ , siendo estos valores la probabilidad de éxito y de fracaso que significan el 50% respectivamente.

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 24}{(1,96^2 \times 0,5 \times 0,5) + (24 \times 1,96 \times 0,05^2)}$$

$$n = 21,3818$$

Reemplazando los valores en la fórmula, se obtuvo un valor de  $n= 21$  muestras, todas ellas repartidas en un periodo de dos años (2015 - 2016), de las cuales, siete muestras fueron realizadas por Pacheco a partir del mes de enero de 2015, concluyendo en Julio del mismo año. Este proyecto contará con 10 muestras, tomadas en muestreos mensuales realizados a partir del mes de Agosto de 2015 hasta el mes de Mayo de 2016. Sin embargo la cantidad de muestreos restantes serán cubiertos por otro investigador, ya que se continuará con el trabajo hasta cumplir con el número de muestras propuesto.

### 3.2. METODOLOGÍA PARA CALCULAR EL PODER CALÓRICO SUPERIOR E INFERIOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La determinación del PCS y PCI de los RSU (textiles y mixto) de la parroquia Limoncocha, inició con la revisión de estudios previos, los cuales forman parte de la fase documental de este proyecto. Una vez asimilado el conocimiento técnico se procedió a realizar la fase de

campo, la cual comprende la planificación y obtención de las muestras, mientras que durante la fase de laboratorio se procede a analizar las mismas.

### 3.2.1. Fase documental

Durante esta etapa del proyecto se realizó una profunda investigación bibliográfica de proyectos realizados dentro y fuera del país, de tal manera que se obtenga un sustento para la realización y análisis de datos obtenidos a lo largo de esta investigación. Además, se revisó la legislación correspondiente al área de estudio y se determinó la gestión actual de los residuos. Durante la fase de laboratorio fue preciso revisar constantemente el manual de la bomba calorimétrica Parr (No. 204M) tanto para conocer el funcionamiento del equipo como para determinar las variables y realizar los respectivos cálculos.

### 3.2.2. Fase de campo

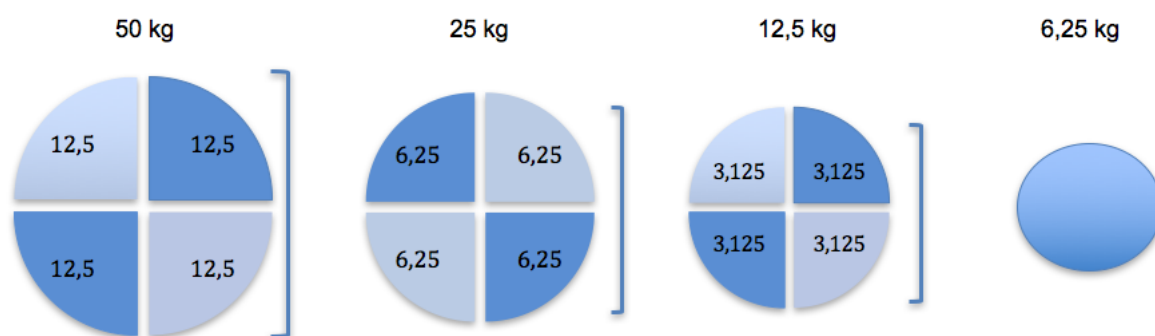
La fase de campo comprendió la planificación y la toma de muestras. En cuanto a la planificación, los muestreos fueron realizados una vez por mes a partir del mes de Agosto de 2015. Los muestreos debían realizarse los días martes o viernes hasta antes de las 10 am, debido a que en estos días se contaba con el servicio de recolección de basura en la parroquia Limoncocha.

Para realizar muestreos de RSU, es preciso contar con las medidas preventivas tanto de salud como de seguridad, de tal forma que previo al inicio de la fase de muestreo se debía contar con las vacunas contra la fiebre amarilla, tétanos y tifoidea.

#### 3.2.2.1. Muestreo

La metodología establecida como base para muestreos de RSU de la parroquia Limoncocha fue el “METODO SENCILLO DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS” del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), desarrollado por el Dr. Kunitoshi Sakurai. La metodología indica que se deben elegir bolsas al azar, las mismas que son previamente pesadas hasta conseguir 50 kg de RSU. Una vez recolectado el peso deseado se traslada a un sitio de preferencia pavimentado, en donde se vierte y se forma un montón. Posteriormente se realizan tres cuarteos, obteniéndose finalmente una muestra representativa de aproximadamente seis kilogramos de RSU (CEPIS, 2000).

**Figura 5. Metodología de muestreo**



**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

Basada en el Método de CEPIS, 2000

El muestreo realizado en la parroquia Limoncocha tuvo el siguiente procedimiento:

- Seleccionar un área de trabajo el cual no interfiera con la obtención de la muestra.
- Recolectar bolsas de basura de diversas casas, hasta alcanzar un peso de 50 kg.
- Romper las fundas y homogenizar la muestra.
- Cuartear la muestra de 50 kg aplicando la metodología indicada anteriormente, hasta obtener una muestra de aproximadamente 6 kg.

Una vez obtenida la muestra, se la clasificó en categorías, se las cuales etiquetó y finalmente fueron transportadas en un cooler hasta el Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

### 3.2.3. Fase de laboratorio

Esta fase inicia cuando las muestras ingresan al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales y son refrigeradas, con el fin de conservar sus características originales, por lo cual es importante realizar su análisis lo antes posible.

#### 3.2.3.1. Preparación de las muestras para análisis

El primer paso para el análisis consiste en homogenizar y picar las muestras en trozos de tamaño inferior a un centímetro. Para obtener una muestra representativa se deben mezclar las proporciones de todos los componentes pertenecientes a cada categoría (textiles y mixto).

**Figura 6.** Muestra mixta homogenizada y triturada



**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016

### 3.2.3.2. Secado de muestras y determinación del porcentaje de humedad (%H)

La determinación del porcentaje de humedad no forma parte del proceso de cuantificación del poder calórico de los residuos, pero resulta importante al momento de determinar la eficiencia de los distintos residuos al ser utilizados como combustibles en procesos de incineración. El porcentaje de humedad afecta directamente el desarrollo de este tratamiento, ya que mientras mayor cantidad de agua contenga el residuo, menor va a ser su poder calórico (Ayala, 2013).

La determinación del porcentaje de humedad según Dueñas (2012), indica que una vez trituradas las muestras, se colocan alrededor de seis gramos de cada categoría (textil y mixto) en crisoles tarados de aproximadamente 30 mL y se procede a pesarlos en la balanza analítica (cada crisol debe ser previamente marcado, con un código que indique el tipo de residuo y el número de muestra analizada). A continuación se coloca los crisoles en la estufa a 105 ° C durante 24 horas. Una vez culminadas las 24 horas se pesa cada crisol con la muestra seca en una balanza analítica.

**Figura 7. Muestras secas**



**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016

Dueñas (2012) menciona que para la obtención del porcentaje de humedad se aplica la fórmula establecido por el Laboratorio de Suelos y Agua de Sáenz Peña (2005).

**Ecuación 2.** Porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{A - B}{A - C} \times 100$$

**Fuente:** Laboratorio de análisis Suelo Chaco, Argentina (2005)

En donde:

A = Peso Crisol + Muestra Húmeda (g).

B = Peso Crisol + Muestra Seca (g).

C = Peso del Crisol vacío y seco (g).

### 3.2.3.3. Cálculo de la constante del equipo

Previo al procesamiento de las muestras, es necesario calcular la constante de la bomba calorimétrica, cada bomba presenta una constante específica que está determinada por las pequeñas diferencias que se puedan generar al momento de la fabricación (Ayala, 2013). Esta constante es obtenida al procesar una muestra estándar de ácido benzoico de aproximadamente un gramo. El proceso se lo realizó a una de las bombas calorimétricas que se encuentran en el Laboratorio de Química de la Universidad Internacional SEK, obteniéndose así su constante. Al conocer el poder calórico de esta muestra estándar, es posible también utilizar el mismo proceso para verificar y validar la metodología implementada. La constante, identificada con la letra W, fue determinada con la siguiente fórmula obtenida del Manual No 204M, propia del equipo:



### Ecuación 3. Constante del equipo

$$W = \frac{Hm + e_1 + e_3}{t}$$

En donde:

W = Constante (cal / °C)

H = Calor de combustión de la muestra estándar de ácido benzoico (cal/g)

m = masa de la muestra estándar (g)

e1 = corrección en calorías por el calor de formación de ácido nítrico

e3 = corrección en calorías por el calor de combustión del cable de ignición

t = aumento de temperatura (°C)

Procedimiento para el cálculo de la constante del equipo (W)

- El calor de combustión de la muestra estándar de ácido benzoico (H) viene dado en la etiqueta del frasco de las muestras de ácido benzoico, siendo este de 6 318 cal/g.
- La masa de la muestra estándar de ácido benzoico (m), es de aproximadamente un gramo.
- La corrección por el calor de formación de ácido nítrico (e<sub>1</sub>), se debe utilizar el valor de la solución alcalina estándar usada en la titulación (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).
- Para la corrección por el calor de combustión del cable de ignición (e<sub>3</sub>), se debe utilizar el valor en centímetros del cable de ignición consumido durante la combustión, mismo valor que debe ser multiplicado por la constante 2,3 que corresponde al tipo de cable utilizado (Parr 45C10 de níquel-cromo).
- Para el aumento de temperatura (t), se sigue el procedimiento que se detallará más adelante en el apartado “Cálculo del aumento de temperatura”.

#### 3.2.3.4.Cálculo del poder calórico

El cálculo del poder calórico involucra una serie de materiales y procesos a seguir, los cuales se detallaran a continuación.

Materiales y equipos

- El calorímetro Parr contiene:

- Motor de accionamiento del agitador
  - Polea del motor
  - Cinturón del agitador
  - Agitador con rodete
  - Cubeta ovalada
  - Sobrecubierta de calorímetro con tapa
  - Bomba de combustión de oxígeno
  - Conector para el termómetro
  - Cable de ignición
  - Termómetro digital
- Agua Destilada
  - Alambre Parr 45C10 de níquel-cromo.
  - Balanza analítica
  - Balón aforado
  - Bomba de oxígeno
  - Bureta
  - Cápsulas
  - Crisol
  - Embudo
  - Estufa
  - Hilo de Algodón
  - Indicador (Anaranjado de Metilo)
  - Muestras Estándar (ácido benzoico)
  - Muestra combustible (residuos)
  - Papel filtro
  - Prensa de Pellets o Tabletas
  - Piceta
  - Pinzas
  - Pipeta
  - Solución de Cloruro de Bario
  - Solución de Carbonato de Sodio (0.0709 N)
  - Soporte
  - Tanque de oxígeno

- Vaso de precipitación
- Vidrio reloj

#### 3.2.3.4.1. Compresión de muestras

Con el fin de obtener una combustión total de la muestra seca, se comprime cada muestra (textil y mixto), mediante el uso de la prensa Parr. La muestra comprimida, denominada pellet, debe pesar aproximadamente un gramo, siendo los límites superior e inferior 0.90 g y 1.5 g respectivamente (Parr Instrument Company, s.f). El Pellet debe ser manejado con cuidado debido a su fragilidad, y su manipulación se realizó con la ayuda de pinzas para evitar que absorba humedad proveniente del ambiente y de las manos de quien lo manipula, la cual podría alterar los resultados del análisis.

**Figura 8.** Muestra mixta comprimida (pellet)



**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016

#### 3.2.3.4.2. Preparación del equipo y procesamiento de muestras

Al combustionar las muestras secas se obtiene el dato del poder calórico superior. El poder calórico inferior se determinó por medio de la fórmula establecida por el Dr. Kunitoshi Sakurai (2000) en “Método sencillo del análisis de residuos sólidos”.

Antes de dar inicio a la combustión de las muestras, se deben realizar los siguientes pasos:

- Conectar los cables de ignición a la unidad de ignición, uno de ellos se conecta a la terminal etiquetada “10cm” y otro se conecta a la terminal etiquetada “Common”.
- Llenar la cubeta ovalada de la bomba calorimétrica con 2000 gramos de agua destilada
- Ubicar la cabeza de la bomba en el soporte.
- Introducir el cable de ignición Parr 45C10 de níquel-cromo en la bomba.

- Colocar la muestra (pellet) en la cápsula de acero inoxidable.
- Atar el pellet con un hilo de algodón de tal forma que entrecruce con el cable de ignición. El hilo es el encargado de conducir la energía hasta la muestra para que este inicie su combustión.
- Colocar la tapa de la bomba sobre el cilindro y cerrarla firmemente, tomando en cuenta que la válvula de ingreso de oxígeno este abierta.
- Acoplar la conexión de llenado de oxígeno en el tanque y ajustarla fuertemente, manteniendo el manómetro hacia arriba.
- Abrir lentamente la válvula de control de la conexión de llenado de oxígeno, hasta alcanzar una presión de 35 atm para las dos muestras (textil y mixto) (Ayala, 2013).
- Cerrar la válvula de control, la válvula de entrada de la bomba se cierra automáticamente.
- Una vez que se ha terminado de llenar la bomba calorimétrica, liberar la presión residual de la manguera de oxígeno empujando hacia abajo la palanca unida a la válvula de alivio.

#### 3.2.3.4.3. Manejo de la bomba

- Colocar la cubeta ovalada con 2000g de agua destilada dentro de la camisa adiabática.
- Introducir cuidadosamente la bomba dentro de la cubeta, ya que se podría caer la muestra.
- Conectar los dos cables de ignición en los terminales de la cabeza de la bomba.
- Encender el motor de agitación a la fuente de energía.
- Encender el termómetro digital.
- Registrar el tiempo y la temperatura inicial.
- Continuar registrando la temperatura en intervalos de un minuto durante cinco minutos. Procurar mantener una distancia cuando el equipo esté operando.
- Alejarse del equipo y presionar el botón de encendido de la unidad de ignición por aproximadamente 2 segundos.
- Tomar las lecturas de la temperatura con un intervalo de 30 segundos hasta que esta permanezca constante.
- Registrar la temperatura durante los siguientes 5 minutos, con intervalos de 30 segundos.
- Apagar y desconectar de la corriente los equipos.

Una vez concluido el procesamiento de la muestra, se liberan los gases de combustión. Por lo cual se debe extraer cuidadosamente la bomba calorimétrica y enjuagar su interior con agua

destilada. Finalmente se debe recolectar 50 mL de este lavado en un vaso de precipitación para realizar el respectivo análisis.

#### 3.2.3.4.4. Determinación de ácido nítrico y ácido sulfúrico

La determinación tanto de ácido nítrico como de ácido sulfúrico es necesaria dentro del proceso de cuantificación de poder calórico ya que la formación de estos compuestos durante la combustión libera pequeñas cantidades de calor, las cuales deben ser corregidas en el resultado final con el objetivo de que este no se vea alterado. Previo a la determinación de Ácido Nítrico y Azufre, se debe preparar Anaranjado de Metilo al 3% en peso, Carbonato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y Cloruro de Bario ( $\text{BaCl}_2$ ) al 5% en peso.

La preparación de las soluciones:

##### **Indicador Anaranjado de Metilo (3% en Peso)**

- Aforar un vaso de precipitación con 100 mL de etanol.
- Colocar tres gramos de Anaranjado de Metilo.
- Agitar la solución y filtrar
- Colocar el filtrado en un frasco con tapa tipo gotero.

##### **Solución Carbonato de Sodio $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (5% en Peso)**

- Aforar un vaso de precipitación con 500 mL de agua destilada.
- Colocar 25 gramos de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (0.0709N).
- Agitar la solución y filtrar.
- Colocar el filtrado en un frasco de vidrio.

##### **Solución Cloruro de Bario $\text{BaCl}_2$ (5% en Peso)**

- Aforar un vaso de precipitación con 500 mL de agua destilada.
- Colocar 25 gramos de  $\text{BaCl}_2$ .
- Agitar la solución y filtrar.
- Colocar el filtrado en un frasco de vidrio.

## **Determinación de Ácido Nítrico**

El nitrógeno se encuentra en forma de ión nitrato, por lo cual, para determinar la cantidad de ácido nítrico contenida se utiliza el lavado de la bomba recolectado previamente, y se procede a realizar una titulación:

- Llenar un vaso de precipitación con 50 mL del lavado de la bomba.
- Colocar tres gotas de Anaranjado de Metilo (3% en peso) en el lavado.
- Titular el lavado de la bomba con la solución de Carbonato de Sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (5% en peso) colocada gota a gota hasta observar un cambio de coloración, de un color rojizo a un color amarillo.
- Registrar el volumen de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  consumido ya que este será utilizado en cálculos posteriores.

#### **Determinación de % de Azufre:**

El azufre se encuentra en forma de ión sulfato y su cuantificación en esta titulación es directa ya que se realiza mediante filtración, secado y pesaje.

- En la solución utilizada anteriormente, colocar gota a gota la solución de Cloruro de Bario ( $\text{BaCl}_2$ ) al 5% en peso hasta observar la formación de Sulfato de Bario (precipitado de color blanco).
- Precipitar la solución por 2 minutos.
- Filtrar el precipitado con un papel filtro previamente pesado.
- Secar el papel filtro en la estufa a 150 °C durante 24 horas.
- Dejar enfriar la muestra y pesar.

El cálculo del porcentaje de azufre de la muestra se lo realizó mediante la fórmula determinada en el Manual de instrucciones No. 204M, establecido por Parr Instrument Company.

#### **Ecuación 4. Porcentaje de Azufre**

$$\%S = \frac{Wt. BaSO_4 \times 13,734}{Wt. Muestra}$$

En donde:

Wt.  $\text{BaSO}_4$  = Peso neto del sulfato de bario (g)

Wt. Muestra = Peso inicial de la muestra (g)

#### 3.2.3.4.5. Aumento de temperatura

Una vez registrados los datos de temperatura, se procede a realizar el cálculo del aumento de la temperatura, con la siguiente fórmula:

##### **Ecuación 5.** Aumento de temperatura

$$t = tc - ta - r1(b - a) - r2(c - b)$$

En donde:

t = aumento de temperatura (°C)

a = tiempo del encendido (min)

b = tiempo en el que la temperatura alcanza el 60% del aumento total (min)

c = tiempo en el que la temperatura se vuelve constante (min)

ta = temperatura al momento de encendido (°C)

tc = temperatura en el tiempo c (°C)

r1 = velocidad (°C/minutos) a la que la temperatura se elevó durante los 5 minutos antes del encendido

r2 = velocidad (°C/minutos) a la que la temperatura se elevó durante los 5 minutos después del tiempo c

Para determinar las variables de la fórmula de aumento de temperatura se deben tomar las siguientes consideraciones:

- El tiempo de encendido (a): corresponde al tiempo en minutos cuando se realiza el encendido de la fuente de ignición, es decir el minuto 5.
- El tiempo en el que la temperatura alcanza el 60% del aumento total de la temperatura (b): se obtiene restando el último valor de temperatura registrado menos el primero. El resultado se multiplica por 0,6 (60%) y este a su vez se le suma el primer valor de temperatura, siendo este último correspondiente a la temperatura correspondiente al tiempo de (b), en minutos.
- El tiempo en el que la temperatura se vuelve constante (c): es el tiempo en minutos correspondiente al primer registro de temperatura en donde esta empieza a repetirse.
- Temperatura al momento de encendido (ta): es el valor de temperatura en grados centígrados registrada en el momento de encendido de la fuente de ignición, es decir la temperatura al minuto cinco.

- Temperatura en el tiempo c (tc): hace referencia a la temperatura en grados centígrados correspondiente al tiempo en donde la temperatura se vuelve constante.
- Velocidad (r1) (°C/minutos): se obtiene mediante la diferencia entre el quinto y el primer valor de temperatura, y su resultado se divide para cinco, número que representa el intervalo de tiempo antes del encendido (cinco minutos).
- Velocidad (r2) (°C/minutos): se obtiene mediante la diferencia entre la última temperatura registrada y la primera temperatura registrada después de que la temperatura se vuelve constante. Finalmente, este valor obtenido se divide para 5 minutos.

#### 3.2.3.4.6. Correcciones termoquímicas

Determinar el calor de combustión, involucra efectuar correcciones en calorías por la formación de ácido nítrico (e1), ácido sulfúrico (e2) y una corrección para el calor de combustión del cable de ignición (e3).

e1 = corrección en calorías para el calor de formación de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)  
 = c1 (mililitros de solución alcalina estándar usada en la titulación)

e2 = corrección en calorías para el calor de formación de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)  
 = (13.7) (c2) (m)

c2 = porcentaje de azufre en la muestra

e3 = corrección en calorías para el calor de combustión del cable de ignición  
 = (2.3) (c3) cuando se utiliza cable de ignición de níquel-cromo

= (2.7) (c3) cuando se utiliza cable de ignición de hierro

c3 = centímetros de cable de ignición consumido durante la combustión

Las constantes expuestas son valores propios del equipo, los cuales fueron proporcionados por Parr Instrument Company por medio del Manual de instrucciones para el funcionamiento de la bomba calorimétrica de oxígeno No. 204M.

#### 3.2.3.4.7. Poder calórico superior (PCS)

El cálculo del poder calórico superior o calor de combustión, se realizó reemplazando los datos en la siguiente fórmula:



**Ecuación 6.** Poder Calórico Superior

$$PCS = \frac{tW - e1 - e2 - e3}{m}$$

En donde:

PCS = Calor de combustión (cal/g)

t = aumento de temperatura (°C)

W = Constante (cal/°C)

m = masa de la muestra (g)

e1 = corrección en calorías por el calor de formación de ácido nítrico

e2 = corrección en calorías para el calor de formación de ácido sulfúrico

e3 = corrección en calorías por el calor de combustión del cable de ignición

3.2.3.4.8. Poder calórico inferior (PCI)

El cálculo del poder calórico inferior se realizó por medio de una fórmula establecida por el Dr. Kunitoshi Sakurai, en su texto Método sencillo del análisis de residuos sólidos.

**Ecuación 7.** Poder Calórico Inferior

$$PCI = PCS - \frac{W}{100} \times 600$$

En donde:

PCS = Poder calórico superior (cal/g)

PCI = Poder calórico inferior (cal/g)

W = % Humedad

3.2.4. Levantamiento de Datos

En este apartado se incluirá únicamente el formato de las tablas utilizadas para el levantamiento de datos a lo largo del proyecto, la información restante se encuentra en la sección de anexos.

La siguiente tabla corresponde a un registro empleado en la caracterización de la muestra, en donde cada tipo de residuo que compone la muestra se encuentra expresado en porcentaje en peso.

**Tabla IV.** Registro de caracterización

Nº de muestreo	Fecha	Peso total muestra recogida (Kg)	% Cartón	% Madera	% Materia orgánica	% Papel	% Plástico	% Otros
1								
2								
3								
4								

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

- **Porcentaje de humedad**

La toma de datos de humedad consiste en un registro en donde se incluye los pesos del crisol y de la muestra picada antes y después del secado.

**Tabla V.** Porcentaje de humedad

% Humedad					
Nº	Muestra	Peso crisol	Peso crisol + Muestra húmeda	Peso crisol + Muestra seca	% Humedad

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

Finalizada la obtención de los datos de laboratorio, se da inicio a la determinación del poder calórico superior e inferior, para ello se empleó una hoja de cálculo la cual ha sido validada por Mafla (2015).

- Incremento de temperatura

**Tabla VI.** Incremento de Temperatura

<b>Datos Temperatura</b>		
Muestra: AN-06M		
Peso muestra: 0,9623 g		
Nº Bomba: 3		
Nº	Tiempo (min)	T °C
1	0,15	23,667
2	1	23,606
3	2	23,556
4	3	23,522
5	4	23,495
6	5	23,479
7	5,5	23,568
8	6	23,994
9	6,5	24,303
10	7	24,497
11	7,5	24,608
12	8	24,682
13	8,5	24,716
14	9	24,741
15	9,5	24,758
16	10	24,766
17	10,5	24,765
18	11	24,763
19	11,5	24,762
20	12	24,762
21	12,5	24,756
22	13	24,753
23	13,5	24,75
24	14	24,746
25	14,5	24,743
26	15	24,742
27	15,5	24,74
28	16	24,738
29	16,5	24,736
30	17	24,733

Pre-combustión

Combustión

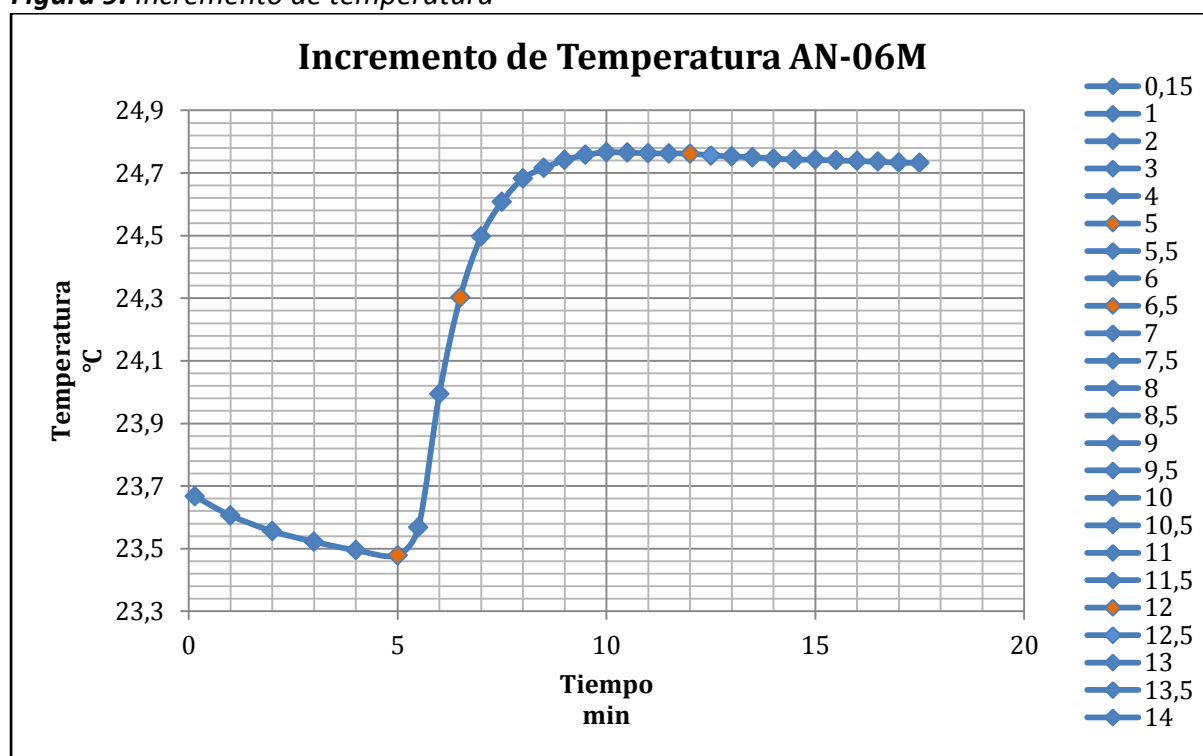
Post-combustión

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

- **Gráfica incremento temperatura**

Una vez ingresados los datos de temperatura, la hoja de cálculo genera una curva del incremento de la misma, en la cual se puede apreciar la variación de la temperatura antes y después de la combustión de la muestra analizada.

**Figura 9.** Incremento de temperatura



Elaborado por: Andrea Ninabanda, 2016

- **Cuantificación de Carbonato de Sodio y %Azufre**

**Tabla VII.** Porcentaje de Azufre

% Azufre							
Muestra	Peso Muestra (g)	Volumen Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (mL)	Volumen BaCl <sub>2</sub> (mL)	Peso Papel Filtro (g)	Peso Seco (g)	Peso BaSO <sub>4</sub> (g)	% Azufre

Elaborado por: Andrea Ninabanda, 2016

- **Recopilación de datos**

**Tabla VIII.** Incremento de temperatura y correcciones termoquímicas

z	=	24,3066 °C	z= temperatura al 60% (°C)
a	=	5 min	a = tiempo del encendido (min)
b	=	6,5 min	b = tiempo en el que la temperatura alcanza el 60% del aumento total (min)
c	=	12 min	c = tiempo en el que la temperatura se vuelve constante (min)
ta	=	23,479 °C	ta = temperatura al momento del encendido (°C)
tc	=	24,762 °C	tc= temperatura en el tiempo c (°C)
r1	=	-0,038 °C/min	r1 = velocidad (°C/minutos) a la que la temperatura se elevó durante los 5 minutos antes del encendido
r2	=	-0,0058 °C/min	r2 = velocidad (°C/minutos) a la que la temperatura se elevó durante los 5 minutos después del tiempo c
c1	=	1 ml	c1 =mililitros de solución alcalina usada en la titulación (mL de Na2CO3)
c2	=	0,09 %	c2 = porcentaje de azufre en la muestra
c3	=	7,6 cm	c3 = consumo del cable de ignición
W 1	=	2538 cal/°C	W = constante energía equivalente al equipo (cal/°C)
m	=	0,9623 g	m= peso de la muestra (g)
PCS	=	$tW-e1-e2-e3/m$	PCS= calor bruto de combustión
m	=	0,9623 g	t = aumento de temperatura (°C)
e1	=	1 cal	W = constante energía equivalente al equipo (cal/°C)
e2	=	1,204 cal	e1 = corrección en calorías de formulación de HNO3 = c1 (mL de Na2CO3)
e3	=	17,48 cal	e2 = corrección en calorías para el calor de formación de H2SO4 = 13,7 x c2 x m
PCS	=	3596 cal/g	e3= consumo del cable de ignición
t	=	$tc-ta-r1(b-a)-r2(c-b)$	m= peso de la muestra (g)
t	=	1,371 °C	t = aumento de temperatura (°C)
% S	=	Wt. BaSO4 x 13.734/ Wt. Muestra	%S = Porcentaje de azufre
BaSO4	=	0,0064 g	BaSO4 = Precipitado
Muestra	=	0,9623 g	Wt.BaSO4= Peso neto del sulfato de bario(g)
% S	=	0,09 %	Wt. Muestra= Peso inicial de la muestra(g)

### 3.2.5. Cálculos

- **Cálculo de humedad**

Los cálculos se realizaron de acuerdo a lo expuesto en la **Ecuación 1**.

**Tabla IX.** Cálculo de porcentaje de humedad

% Humedad	
% Humedad	= $\frac{\text{Muestra Húmeda} - \text{Muestra Seca}}{\text{Muestra Húmeda} - \text{Crisol}} \times 100$
Peso Húmedo	= 212,97 g
Peso Seco	= 152,68 g
Crisol	= 113,27 g
%Humedad	= 60,47 %

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

- Cálculo de la constante del equipo

La constante del equipo W fue calculada en tres ocasiones a lo largo del proyecto, ya que esta sufrió algunos cambios estructurales los cuales modificaron las propiedades de la misma. El cálculo de la constante del equipo se lo realizó conforme a lo descrito por la **Ecuación 4**.

$$W = \frac{Hm + e_1 + e_3}{t}$$
$$W = \frac{\left(6\,318 \frac{\text{cal}}{\text{g}}\right) (1\text{ g}) + 1,5\text{ cal} + 17,48\text{ cal}}{2,497\text{ }^\circ\text{C}}$$
$$W = 2538\text{ cal}/^\circ\text{C}$$

En donde:

W = Constante (cal / °C)

H = Calor de combustión de la muestra estándar de ácido benzoico

m = masa de la muestra estándar

e1 = corrección por el calor de formación de ácido nítrico

e3 = corrección por el calor de combustión del cable de ignición

t = aumento de temperatura

- Cálculo del poder calórico superior

El cálculo de poder calórico superior se realizó de acuerdo a lo indicado en la **Ecuación 6.**, empleando las variables calculadas en la Tabla 11.

$$PCS = \frac{tW - e1 - e2 - e3}{m}$$

$$PCS = \frac{(1,371 \text{ } ^\circ\text{C}) \left(2538 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}\right) - 1 \text{ cal} - 1,2014 \text{ cal} - 17,48 \text{ cal}}{0,9623 \text{ g}}$$

$$PCS = 3596 \text{ cal/g}$$

En donde:

PCS = Calor de combustión (cal/g)

t = aumento de temperatura ( $^\circ\text{C}$ )

W = Constante (cal/ $^\circ\text{C}$ )

m = masa de la muestra (g)

e1 = corrección en calorías por el calor de formación de ácido nítrico

e2 = corrección en calorías para el calor de formación de ácido sulfúrico

e3 = corrección en calorías por el calor de combustión del cable de ignición

- Cálculo del poder calórico inferior

El cálculo de poder calórico inferior se realizó de acuerdo con lo descrito en la **Ecuación 7.**

$$PCI = PCS - \frac{W}{100} \times 600$$

$$PCI = 3596 \frac{\text{cal}}{\text{g}} - \frac{60,47}{100} \times 600$$

$$PCI = 3233 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

En donde:

PCS = Poder calórico superior (cal/g)

PCI = Poder calórico inferior (cal/g)

W = % Humedad

### 3.2.6. Análisis estadísticos de datos

Una vez obtenidos los datos de poder calórico y humedad, se inicia un proceso de análisis estadísticos como componente del análisis de datos, para describir la naturaleza de los datos y explorar la relación entre los mismos, de tal manera que sea posible emplearlos en un análisis predictivo para ejecutar escenarios que permitirán orientar acciones futuras.

### 3.2.6.1. Media aritmética

La media aritmética, es la medida de la tendencia central que usualmente se la llama promedio. En este proyecto se aplicará la fórmula establecida por Murray (1997), y la media calculada de cada parámetro será el valor representante del conjunto datos.

#### **Ecuación 8.** Media Aritmética

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

En donde:

X = Promedio

$X_i$  = Valores obtenidos.

n = Número de datos

### 3.2.6.2. Desviación estándar

Para conocer a detalle un conjunto de datos, no basta con calcular las medidas de tendencia central, sino que es preciso conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética. En otras palabras, la desviación estándar representa la variabilidad de los datos, y se la calculó con la fórmula establecida por Murray (1997).

#### **Ecuación 9.** Desviación Estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n-1}}$$



En donde:

$\sigma$  = Desviación Estándar

$\bar{x}$  = Promedio

$X_i$  = Valores obtenidos

N = Número de datos

### 3.2.6.3. ANOVA

El "análisis de varianza" ANOVA, se basa en el enfoque en el cual el procedimiento utiliza las varianzas para determinar si las medias son diferentes. El procedimiento funciona comparando la varianza entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos.

Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población son iguales, mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente, por lo que si el valor p es menor que el nivel de significancia (0,05), entonces se concluye que al menos una media es diferente.

En este proyecto el análisis de la varianza ANOVA analizó los datos obtenidos en este estudio en contraste con los resultados obtenidos en el estudio realizado por Pacheco (2015), de tal forma que permita establecer no solo la varianza en cada estudio sino entre estudios. La relevancia de este análisis radica en que la variación de poder calórico es un factor determinante al momento de establecer el diseño de una planta incineradora.

### 3.2.6.4. Clúster

El análisis clúster es un conjunto de técnicas multivariantes utilizadas para clasificar a un conjunto de individuos en grupos homogéneos. Se trata, fundamentalmente, de clasificarlos de manera que los individuos pertenecientes a un grupo (clúster) sean tan similares entre sí como sea posible, siendo los distintos grupos entre ellos tan disimilares como sea posible.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el apartado “Resultados” se incluirán únicamente los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación (Agosto 2015 – Mayo 2016). Mientras que en la “Discusión” se han tomado en cuenta los datos calculados en los trabajos de fin de carrera de Baca (2015) y Pacheco (2015), junto con los datos obtenidos en este proyecto. Esto con el fin de ejecutar un escenario anual que permita orientar acciones futuras dirigidas a la implementación de un tratamiento térmico de incineración de residuos sólidos urbanos en la parroquia Limoncocha.

#### 4.1. RESULTADOS

La siguiente tabla presenta la composición de los residuos sólidos urbanos generados en la parroquia Limoncocha mes a mes, expresados en % en peso.

La categoría “otros” incluye residuos tales como: vidrio, metales y residuos sanitarios (papel higiénico, toallas sanitarias y pañales).

**Tabla X .** Caracterización de los residuos sólidos urbanos mes a mes

<b>Caracterización de RSU en % en peso</b>										
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<i>Madera</i>	2,14	1,28	2,40	0,80	4,00	0,80	0,24	0,16	1,00	0,95
<i>Textil</i>	3,85	1,28	1,28	3,68	2,40	3,84	24,42	3,36	0,00	0,00
<i>Papel</i>	5,34	3,20	0,48	1,28	0,48	0,32	2,69	1,12	2,49	2,86
<i>Cartón</i>	10,68	1,92	3,84	1,60	0,80	2,24	4,27	0,80	3,48	0,95
<i>Plástico</i>	24,57	7,20	20,00	3,84	5,60	6,00	6,11	16,00	0,00	0,00
<i>Otros</i>	2,14	13,12	13,12	43,84	0,96	0,48	1,22	2,56	0,00	0,00
<i>MO</i>	51,28	72,00	58,88	44,96	85,76	86,33	61,05	76,00	93,04	95,24

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

MO: materia orgánica

A continuación se presenta un resumen de los datos de poder calórico superior, poder calórico inferior y porcentaje de humedad. Los cálculos de poder calórico utilizan las unidades cal/g, sin embargo; los resultados finales se expresaron en kcal/kg, estas unidades son equivalentes, por lo que el valor de PCS y PCI no varía.

**Tabla XI.** Poder calórico inferior, Poder calórico superior y % humedad de los RSU de la parroquia Limoncocha

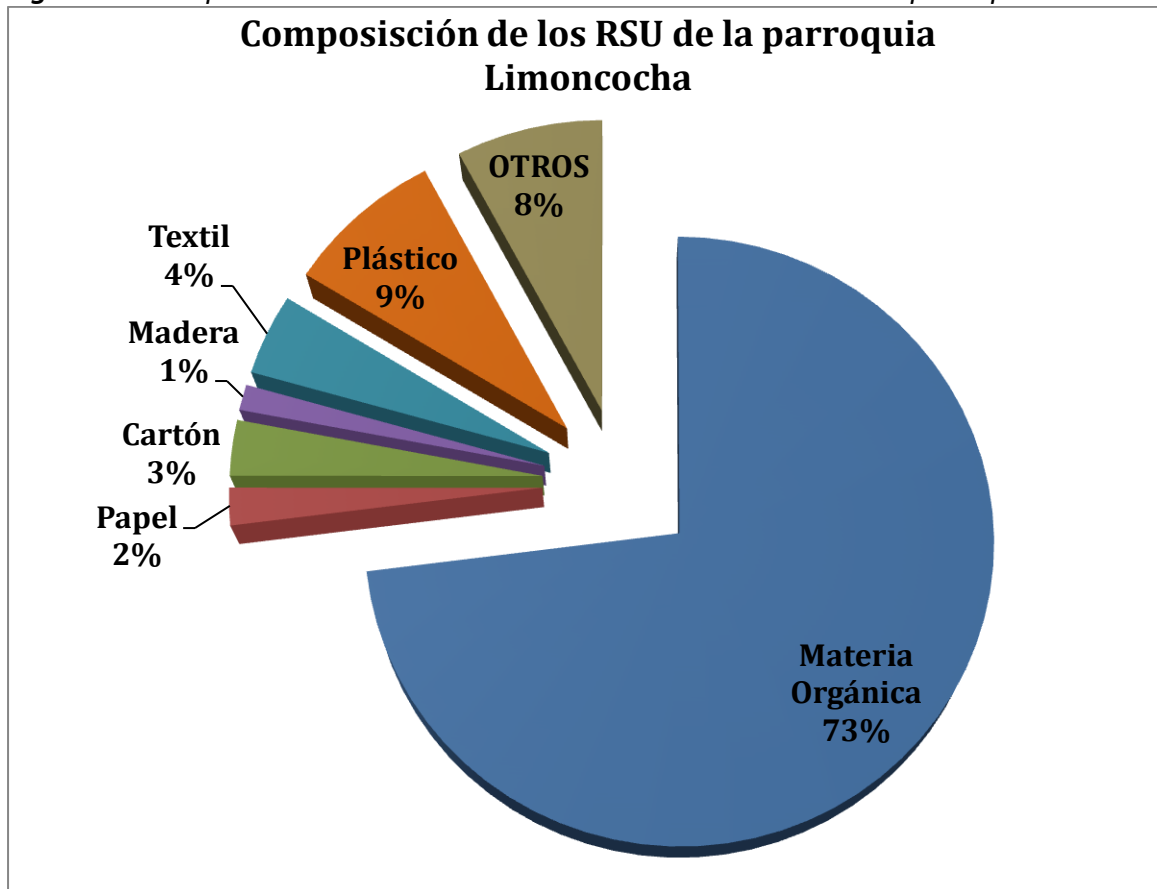
	TEXTIL			MIXTO		
	PCI (kcal/kg)	PCS (kcal/kg)	% Humedad	PCI (kcal/kg)	PCS (kcal/kg)	% Humedad
AGOSTO	4588	4688	16,76	3848	4256	68,04
SEPTIEMBRE	5424	5536	18,77	2959	3399	73,24
OCTUBRE	4380	4449	11,56	2576	2908	55,38
NOVIEMBRE	4452	4555	17,19	2920	3301	63,55
DICIEMBRE	4485	4579	15,67	2571	2936	60,77
ENERO	3420	3515	15,8	3233	3596	60,47
FEBRERO	3817	4189	61,92	3970	4402	71,97
MARZO	4919	4972	8,69	3787	4231	73,99
ABRIL	-	-	-	3362	3828	77,78
MAYO	-	-	-	3292	3705	68,76
<b>PROMEDIO</b>	<b>4436</b>	<b>4560</b>	<b>21</b>	<b>3252</b>	<b>3656</b>	<b>67</b>

Elaborado por: Andrea Ninabanda, 2016

En la **tabla XI.** se puede evidenciar la ausencia de textil en los meses de abril y mayo, por lo cual no fue posible evaluar los parámetro de PCS, PCI y % de humedad.

#### 4.1.1. Caracterización de la muestra

**Figura 10.** Composición habitual de los residuos sólidos urbanos en la parroquia Limoncocha



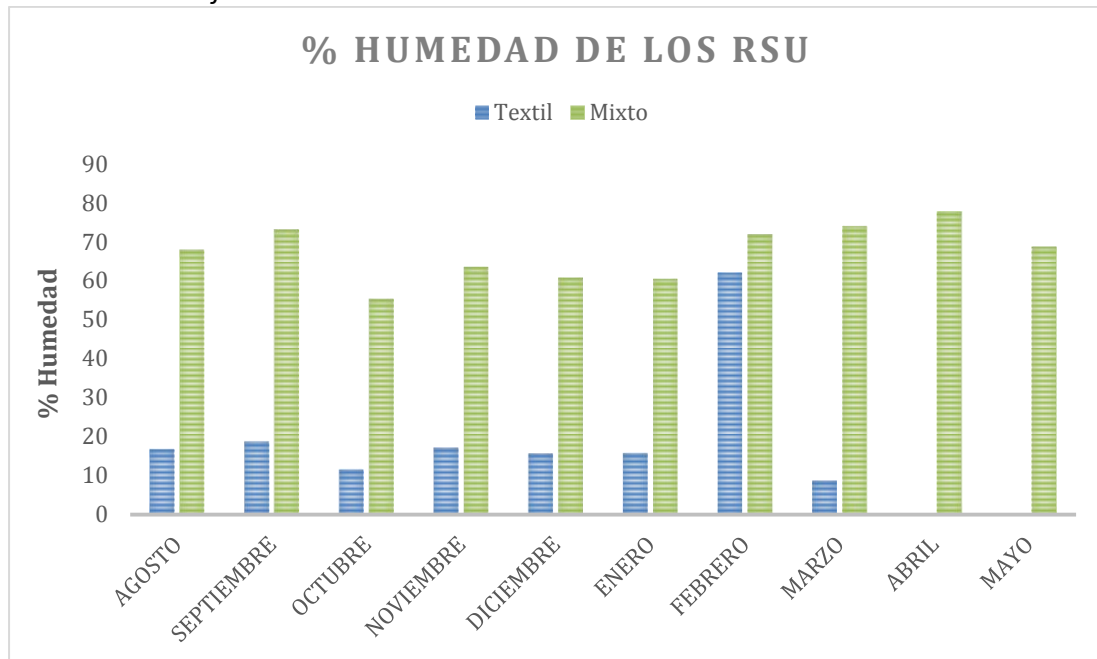
Elaborado por: Andrea Ninabanda, 2016

La caracterización que presenta la **figura 10.** indica que los residuos generados en la parroquia Limoncocha tienen en su composición una cantidad mayoritaria de materia orgánica, siendo esta del 73%. El porcentaje de textiles es superior al de papel y cartón, a pesar de ello los textiles no se generan de forma constante. En cuanto a la producción de plásticos, ésta incrementa considerablemente durante las fechas festivas de la parroquia.

A lo largo de los muestreos no se evidenció una cantidad apreciable de residuos sanitarios, en su mayoría fueron pañales, mientras que el resto de residuos pertenecientes a esta categoría son quemados o arrojados en fosas.

#### 4.1.2. Porcentaje de humedad

**Figura 11.** Porcentaje de humedad mes a mes



**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

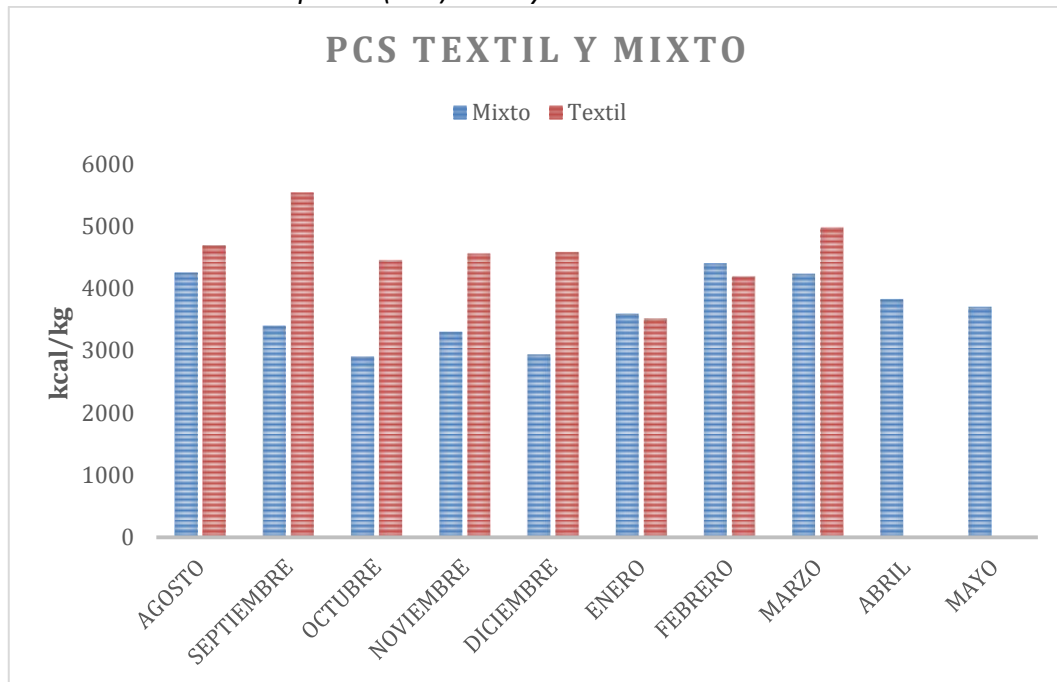
En cuanto a la cantidad de humedad presente en las muestras analizadas durante este proyecto, se determinó que la humedad contenida en la muestra textil se encuentra estrechamente relacionada a las costumbres de la población, esto como resultado de que en la parroquia no se clasifican los residuos, por lo que los materiales más húmedos transfieren su humedad al resto de residuos, así lo revela la muestra del mes de febrero, en donde la humedad alcanzó el 61,9%. A pesar de ello la humedad de los textiles es relativamente baja, siendo su media del 20,8%.

No ocurre lo mismo con la muestra mixta, la cual posee una media de 67,4% de humedad. Este valor está reflejado por el alto contenido de materia orgánica que compone la muestra mixta.

La cantidad de humedad contenida en los RSU puede verse también influenciada por las condiciones meteorológicas del sitio, ya que la parroquia Limoncocha se encuentra ubicada en una zona tropical.

#### 4.1.3. Poder calórico

**Figura 12.** Poder calórico superior (PCS) textil y mixto mes a mes



**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

**Tabla XII.** Análisis estadísticos

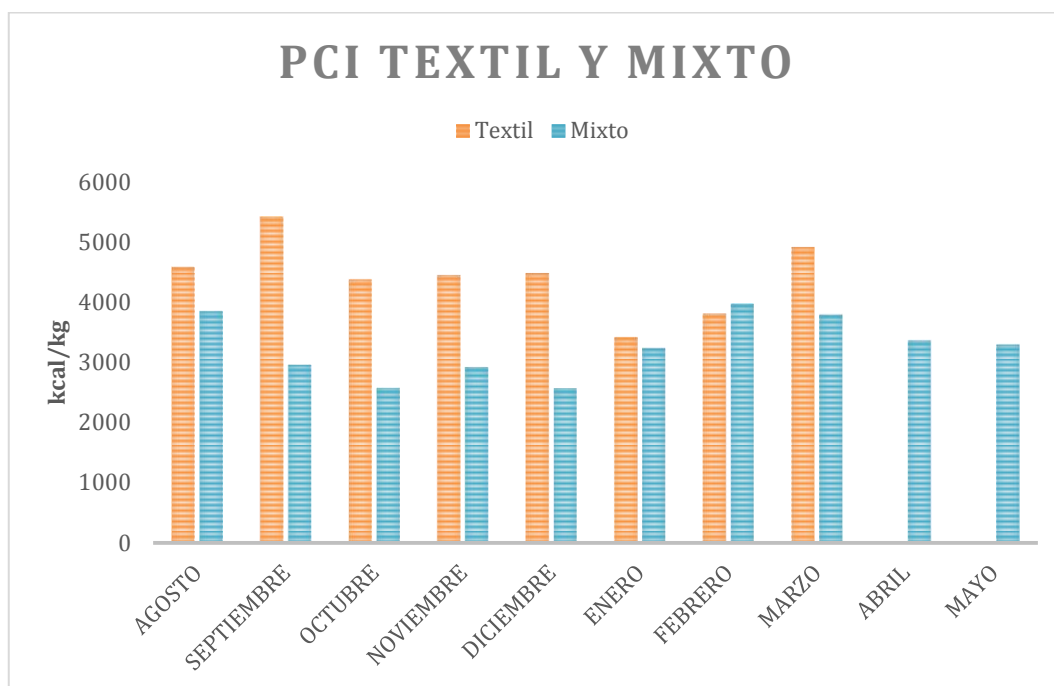
	Textil	Mixto
<b>Media</b>	4560 kcal/kg	3656 kcal/kg
<b>Desviación estándar</b>	583,3 kcal/kg	532,6 kcal/kg
<b>Mínimo</b>	3515 kcal/kg	2908 kcal/kg
<b>Máximo</b>	5536 kcal/kg	4402 kcal/kg
<b>Coef. de variación</b>	12,8%	14,6%

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

La **figura 12.** indica en primera instancia la superioridad de PCS del textil con un promedio de 4560 kcal/kg respecto a la muestra mixta, la cual tiene en promedio 3656 kcal/kg.

También se puede apreciar que tanto la muestra textil como la muestra mixta son variables mes a mes, siendo la desviación estándar del textil superior a la de la muestra mixta, a pesar de ello, los datos de la muestra mixta son un tanto más variables (14,6%) que los de la muestra textil (12,8%).

**Figura 13.** Poder calórico inferior (PCI) textil y mixto mes a mes



**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

**Tabla XIII.** Análisis estadísticos

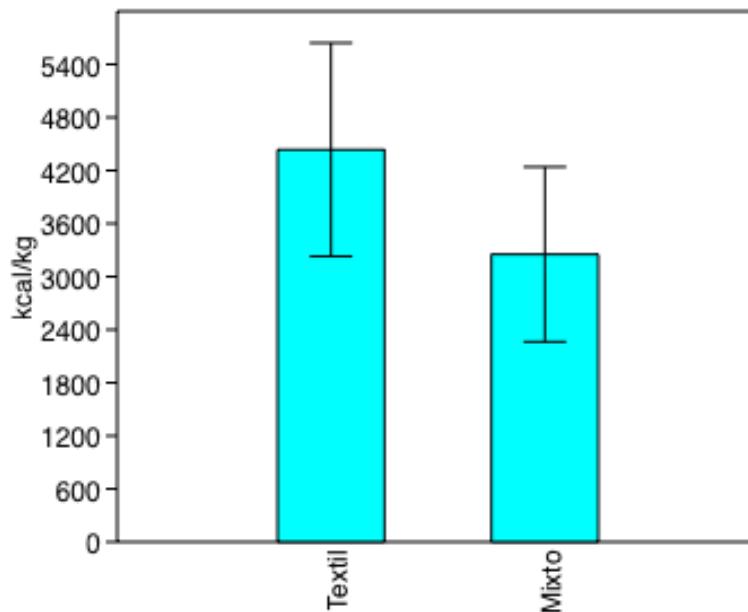
Análisis estadísticos	Textil	Mixto
<b>Media</b>	4436 kcal/kg	3252 kcal/kg
<b>Desviación estándar</b>	615,7 kcal/kg	504,2 kcal/kg
<b>Mínimo</b>	3420 kcal/kg	2571 kcal/kg
<b>Máximo</b>	5424 kcal/kg	3970 kcal/kg
<b>Coef. De variación</b>	13,9%	15,5%

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

Tomando en cuenta la cantidad de energía invertida para eliminar la humedad de cada material, la muestra textil no presenta cambios significativos respecto a su PCS ya que en promedio su PCI es de 4436 kcal/kg. No ocurre lo mismo con el PCI de la muestra mixta, la cual debido a la gran cantidad de humedad sufrió una reducción de 404 kcal/kg respecto a su PCS.



**Figura 14.** Desviación estándar textil y mixto



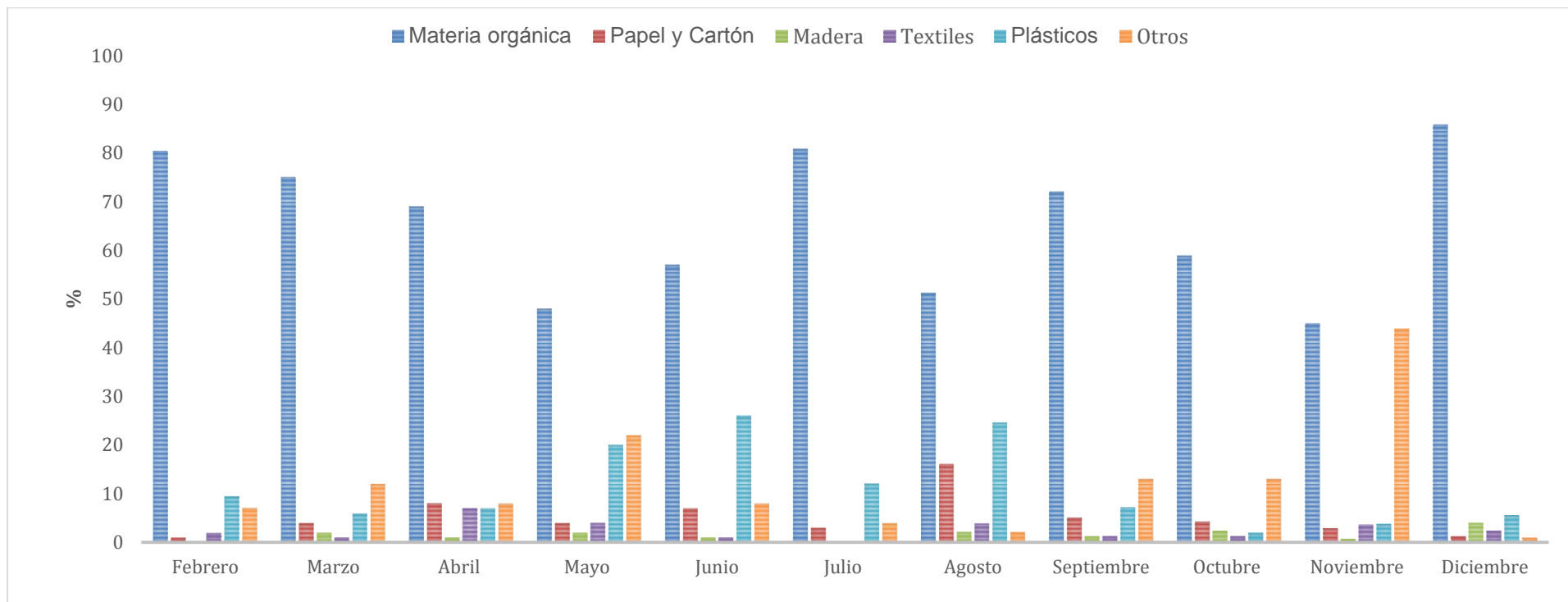
**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

La **figura 14.** indica que el promedio de PCI en la muestra textil está muy por encima que el de la muestra mixta. Del mismo modo la desviación estándar de la muestra textil es mayor que la muestra mixta, esta variación se debe a la diversa gama de textiles desechados en las distintas épocas del año. Estas variaciones dan lugar a ciertos valores atípicos los cuales incrementan la amplitud de la desviación estándar, a pesar de ello su coeficiente de variación es menor que el de la muestra mixta. Respecto a la desviación estándar de la muestra mixta, los valores mínimos y máximos de PCI se encuentran más próximos a su media, pero en general sus datos tienen mayor variabilidad, esto queda reflejado en el coeficiente de variación que es de 15,5%.

#### 4.2. DISCUSIÓN

#### 4.2.1. Composición anual de residuos

**Figura 15.** Composición de los residuos sólidos urbanos en la parroquia Limoncocha periodo 2015

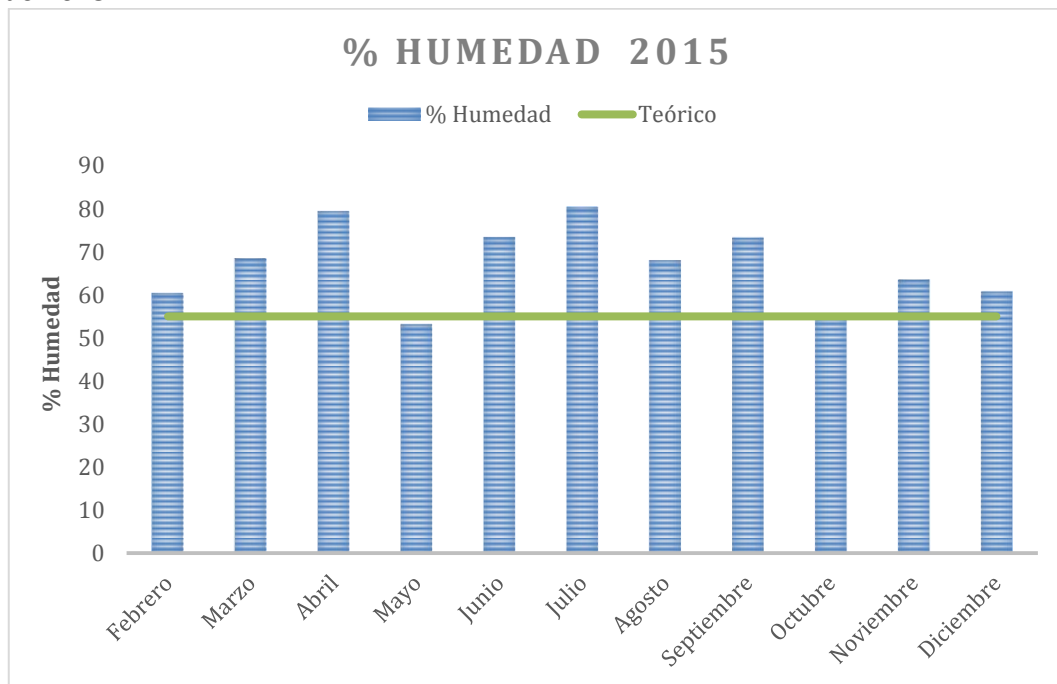


**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

La **figura 15.** ratifica el predominio de materia orgánica en la composición anual de los RSU de la parroquia Limoncocha siendo esta de 66%, este valor pone al descubierto que los habitantes no aprovechan sus residuos orgánicos, por lo cual lo disponen al botadero de basura controlado..

#### 4.2.2. % Humedad.

**Figura 16.** Porcentaje de humedad de los RSU (muestra mixta) de la parroquia Limoncocha período 2015

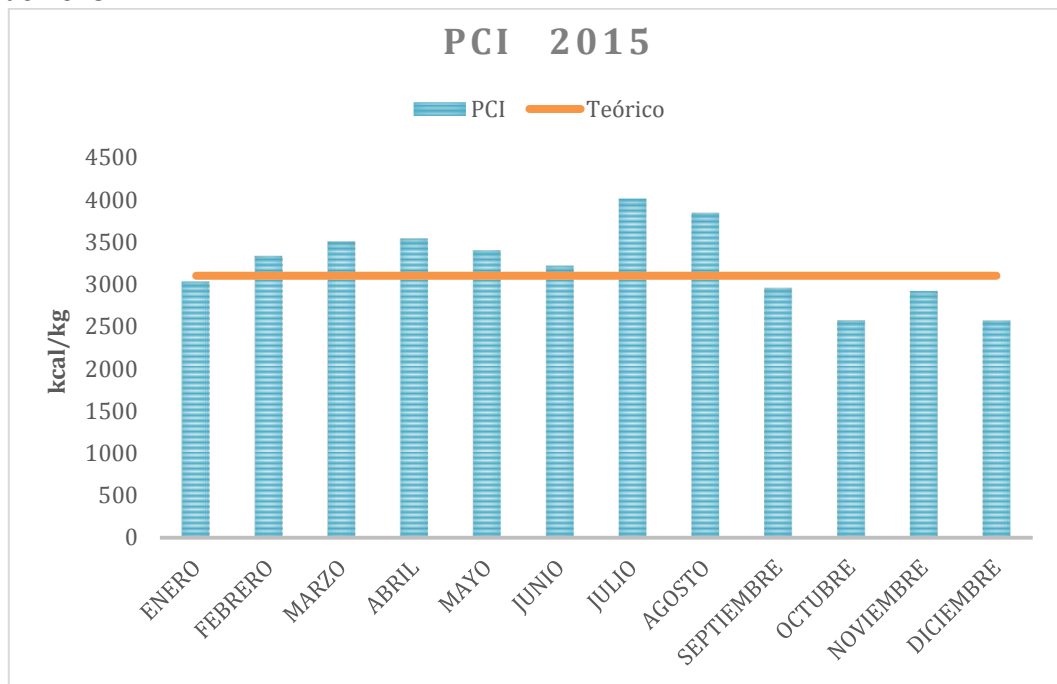


**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

En función de que los residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha no son clasificados, el porcentaje de humedad expresado en la **figura 16.** representa la humedad de la muestra mixta. De acuerdo con Alonso, Martínez, & Olías (2003), el porcentaje de humedad óptimo que deben tener los residuos sólidos urbanos es del 55%. Respecto al porcentaje de humedad de los RSU de la parroquia Limoncocha, estos presentan cierta desventaja ya que en promedio su humedad oscila el 66,92%, reduciendo el valor de PCI y por consiguiente disminuyendo el aprovechamiento energético.

#### 4.2.3. PCI

**Figura 17.** Poder calórico inferior de los RSU (muestra mixta) de la parroquia Limoncocha período 2015



**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

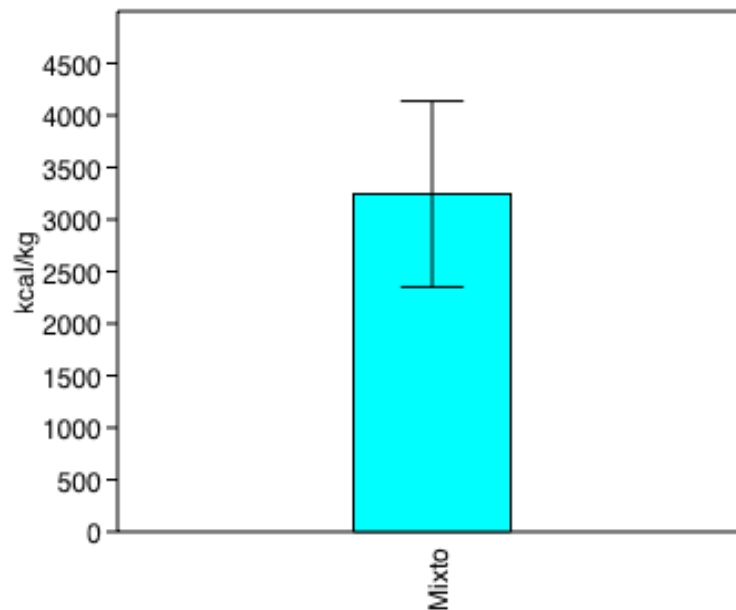
Al ser el PCI uno de los parámetros más significativos a considerar para la implementación de un sistema de incineración de residuos, Romero (2010) indica que para que una planta incineradora alcance un rendimiento energético de entre el 20 y 30 %, el valor de PCI de los RSU debe ser de aproximadamente 3100 kcal/kg. En función a ello, el PCI de los RSU de la parroquia Limoncocha presentan un promedio de 3245 kcal/kg, valor que ligeramente supera el recomendado para el aprovechamiento energético.

**Tabla XIV.** Análisis estadísticos

Análisis estadísticos muestra mixta	
<b>Media</b>	3245 kcal/kg
<b>Desviación estándar</b>	455,4 kcal/kg
<b>Mínimo</b>	2571 kcal/kg
<b>Máximo</b>	4014 kcal/kg
<b>Coef. de variación</b>	14 %
<b>ANOVA</b>	$p= 0,000649$

**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

**Figura 18.** Desviación estándar mixto 2015

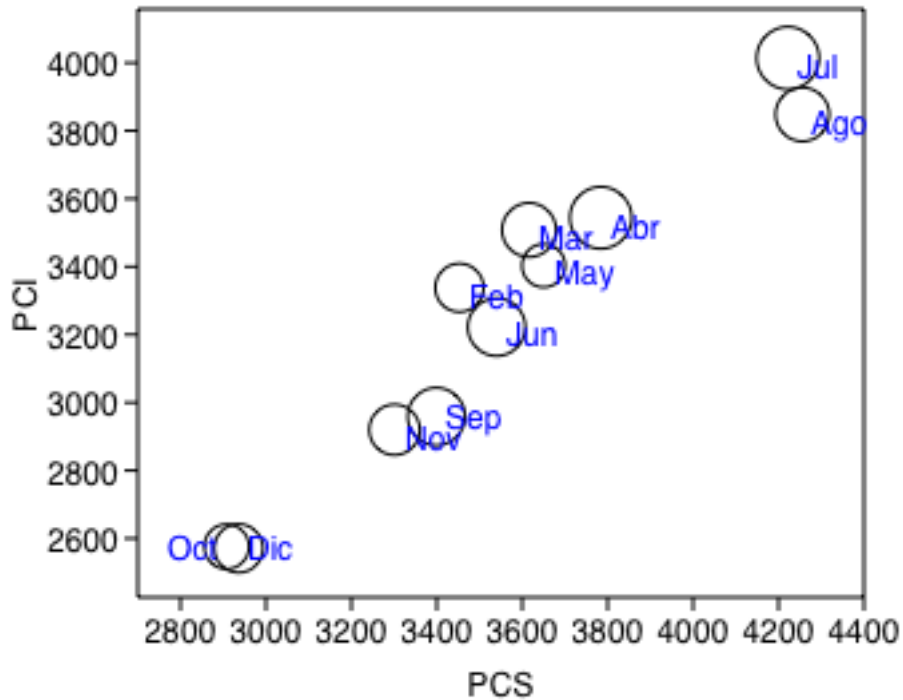


**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

La **figura 18.** indica una amplia desviación estándar de la muestra mixta a lo largo del 2015, siendo su valor mínimo de 2571kcal/kg y un máximo de 4014 kcal/kg, a pesar de ello sus datos tienen cierta similitud respecto a su media, así lo indica el coeficiente de variación que es del 14%. Es importante conocer las fluctuaciones de PCI ya que una amplia variabilidad puede ser desfavorable para una planta incineradora.

#### 4.2.4. PCS/PCI/%H

**Figura 19.** PCS vs PCI vs %Humedad de la muestra mixta 2015

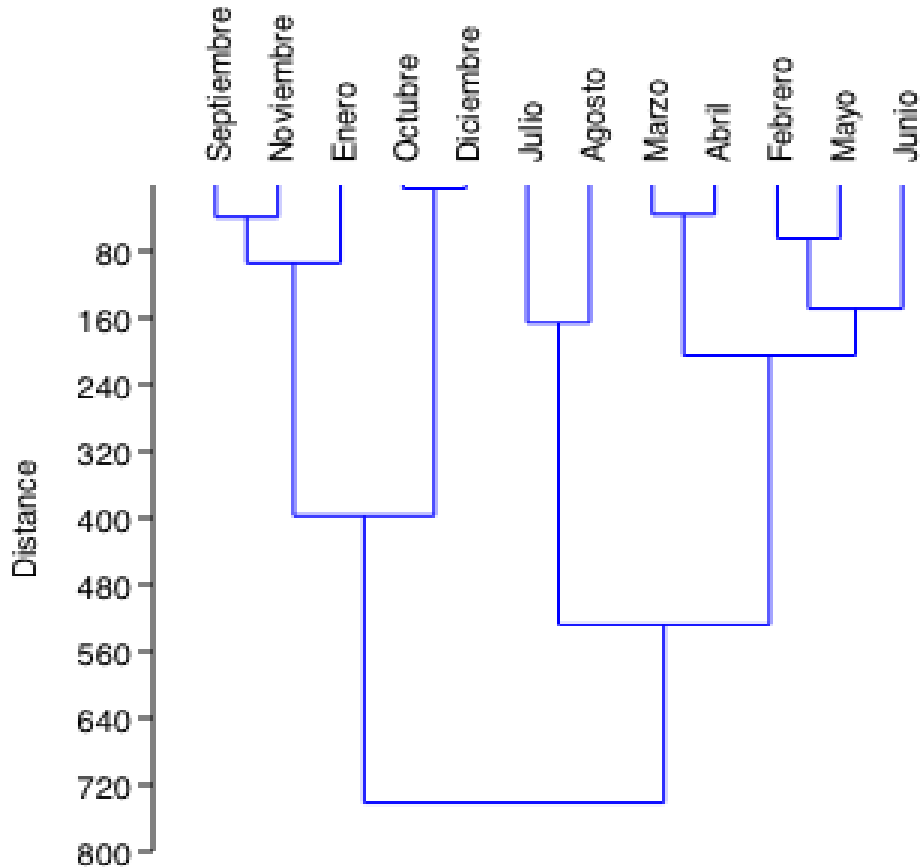


**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

En la **figura 19**, se puede apreciar que los meses de julio y agosto poseen los valores de PCS y PCI más altos durante el año 2015, sorprendentemente estos dos meses también poseen grandes cantidades de humedad (representada por el tamaño de burbuja), siendo este valor de 80,37% para el mes de julio y 68,04% en agosto. Lo cual en primera instancia podría significar una baja influencia de la cantidad de humedad durante el aprovechamiento energético.

#### 4.2.5. Clúster

**Figura 20.** Flujo anual de PCI de la muestra mixta 2015



**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

En la **figura 20.** se observan dos grandes grupos, el primero está conformado por los meses de enero, septiembre octubre noviembre y diciembre, los cuales representan el periodo de menor PCI, con valores por debajo del límite recomendado por Romero (2010) de 3 100 kcal/kg. Mientras que al segundo grupo lo conforman los meses restantes, los cuales superan las 3 100 kcal/kg, siendo julio y agosto los meses de mayor PCI.

Una vez obtenida la diferenciación de PCI en dos grupos, se aplicó ANOVA para comparar la varianza de los datos de PCI en estas dos temporadas, en donde el valor  $p= 0,000649$  indica que la variabilidad de los datos es significativa. Conocer las fluctuaciones de PCI de los RSU resulta importante para determinar cuan factible resulta una planta incineradora, así lo indica el World Bank (1999), quien afirma que si aumenta o disminuye el PCI de los residuos que alimentan a una planta de valorización energética a lo largo del año, la

viabilidad del proyecto puede verse afectada, por lo cual es necesario anticiparse inicialmente obteniendo datos certeros acerca del PCI de los residuos generados en el área de influencia.



# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- El potencial energético que brindan los residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha, tanto para la muestra mixta como textil, son aptos para someterlos a procesos de aprovechamiento energético con recuperación de energía, ya que en ambas muestras el promedio de PCI supera las 3 100 kcal/kg requeridas.
- La abundante humedad presente en la muestra mixta redujo el potencial energético, pese a ello este parámetro no impide el aprovechamiento de los residuos. En cuanto a la muestra de textil, el porcentaje de humedad fue insignificante para la mayoría de la muestras por lo cual no influyó determinadamente en la obtención del poder calórico inferior. Es decir, este parámetro no representa un limitante para el aprovechamiento energético de los RSU por medio de la incineración.
- La caracterización de los residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha reveló una composición mayoritaria de materia orgánica (73%), a pesar de ello esto no representa un limitante para el aprovechamiento energético, a diferencia de la cantidad de residuos generados, la cual es insuficiente para establecer una planta de incineración.
- Considerando tanto las características fisicoquímicas de los residuos como el flujo anual de los mismos, se descarta la incineración como sistema de gestión en la parroquia Limoncocha, ya que a pesar de que el PCI se encuentra dentro del rango recomendado y la composición y el porcentaje de humedad no fueron factores limitantes para la implementación de un sistema de incineración, la generación per cápita de los residuos en la parroquia resulta insuficiente, por lo que no justifica los costos de operación y tratamiento de gases, agua y cenizas, que implica establecer una planta incineradora.
- En vista de la deficiente disposición final de los residuos sólidos urbanos de la parroquia, y al descartar la incineración como posible sistema de gestión, se abre una puerta para establecer otras medidas de aprovechamiento de los residuos, y

conociendo que estos en su mayoría son de carácter orgánico, se los puede aprovechar a través de tecnologías de biodegradación (compostaje o biometanización).

- Debido a que la generación de residuos depende en gran medida de las condiciones socioeconómicas y el grado de urbanización y la industrialización del área intervenida (World Bank, 1999), se corrobora que los residuos de la parroquia rural Limoncocha están constituidos principalmente por residuos de comida provenientes de las viviendas y comedores.
- Los hábitos de disposición de los residuos de los habitantes de la parroquia Limoncocha son un limitante para el aprovechamiento energético.
- La muestra de textil es la que mayor PCI presenta, sin embargo la cantidad producida del mismo en la parroquia Limoncocha no es representativa para establecer un sistema de aprovechamiento energético.
- Fluctuaciones muy amplias en el suministro de residuos o cuando el poder calórico es menor de lo previsto, el coste real del tratamiento neto puede ser severamente influenciado.
- Las características del material del residuo son las que condicionan tanto el rendimiento como la tecnología a utilizar para su aprovechamiento.
- A lo largo de este proyecto no se incluyó el análisis de plásticos, a pesar de que estos poseen un elevado poder calórico. Esto debido a que la incineración de plásticos produce dioxinas y furanos, por lo cual el mejor sistema de gestión de los plásticos es el reciclaje.
- En cuanto a los residuos que pueden ser aprovechados como combustible representan el 83,3%, mientras que la proporción de residuos no combustibles representa el 7,7% (el 8,9% restante corresponde a los plásticos). La fracción de residuos combustibles tiene un alto porcentaje de materiales biodegradables, lo que significa que los residuos de la parroquia pueden aprovecharse por medio de tecnologías térmicas y de biodegradación.
- Los residuos que presentan mayor PCI se producen en cantidades insignificantes y muy variables, tanto que en algunos muestreos se encuentran ausentes. Esta condición, puede llegar a ser un limitante para la implementación de un tratamiento térmico de los RSU en la parroquia Limoncocha.

- La influencia de humedad ejercida en las muestras analizadas, dio origen al aumento del coeficiente de variación en las dos muestras, manteniéndose la muestra mixta como la más variable en el contenido de humedad.
- La desviación estándar de PCI en la muestra mixta de los residuos sólidos urbanos tiene una considerable amplitud, la cual que deriva de las características de los residuos desechados en la parroquia. En cuanto al coeficiente de variación en el período 2015, estos tienen una variabilidad del 14% lo que indica que sus valores están relativamente cerca del valor promedio. En este caso se debe considerar tanto la amplitud como la dispersión de datos, ya que datos muy diversos pueden ser desfavorables para una planta incineradora.
- Al conocer que la variabilidad de los datos de PCI es significativa, durante las dos temporadas señaladas en el Clúster en el año 2015, permite determinar que en caso de implementarse un tratamiento térmico a los RSU de la parroquia Limoncocha, deberían considerarse un diseño el cual anticipe estas variabilidades e incluya un pre tratamientos el cual evite el desperfecto de los equipos.
- A través de este estudio se ratifica que la incineración es un tratamiento el cual permite reducir el volumen de los residuos sólidos urbanos. A más de ello, al implementar un sistema de incineración, se prolonga el tiempo de vida de un relleno sanitario (ya que en estos ingresaría únicamente el volumen de residuos incinerados) y por lo tanto se reduce la demanda de nuevas construcciones.
- Dependiendo del volumen de RSU que ingresan al sistema y de la tecnología de aprovechamiento energético implementado, la incineración puede satisfacer la demanda energética propia de la planta como la de una localidad.

## 5.2.RECOMENDACIONES

- Considerar la recolección y tratamiento diferenciado de residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha, de tal forma que cada tipo de residuo sea mayormente aprovechado de forma individual y se reduzca la cantidad de residuos no aprovechables a ser depositados en el relleno sanitario.
- Se recomienda sustituir el botadero de basura a cielo abierto del cantón Shushufindi por un relleno sanitario el cumpla con los estándares de construcción y operación, los cuales aseguren que no exista contaminación ambiental en la zona. Esto con el fin de que ingrese únicamente el porcentaje de residuos no aprovechables, y al ser estos un menor volumen de residuos, se prolongaría el periodo de vida útil del relleno sanitario.
- Con esta investigación, se determinó que el porcentaje de humedad no limita el aprovechamiento energético, pero aun así se recomienda analizar este parámetro ya que las características de poder calórico de los residuos de la parroquia tienen un amplio rango de variabilidad.
- Se recomienda ampliar el área de estudio, de tal manera que futuras investigaciones incluyan la producción per cápita de residuos generadas por los 7 146 habitantes que conforman la parroquia Limoncocha. Al evaluar un mayor volumen se podrá contar con una muestra más representativa respecto a la producción de residuos en la parroquia y al mismo tiempo se podrá determinar si las tendencias determinadas en este estudio persisten.
- Determinar la viabilidad del aprovechamiento de la materia orgánica a través del compostaje, de tal manera que la comunidad tenga la posibilidad de generar sus propios recursos económicos y darle un adecuado aprovechamiento a sus residuos.
- Iniciar programas de educación ambiental en la población de la parroquia, con el fin de reducir el impacto ambiental que estos tienen en esta área tan importante como lo es la parroquia Limoncocha, de tal manera que la población reduzca la cantidad de residuos generados y se evite pérdidas de residuos por quema y depósito en fosas.
- Para futuros estudios se debe evaluar el potencial energético que brinda cada tipo de textil, ya que su variabilidad depende del origen del material.
- Una vez ingresadas las muestras al laboratorio, se debe refrigerarlas y analizarlas lo antes posible, para que no pierdan sus propiedades originales.

- El pellet de textil no debe exceder el gramo de muestra al analizar en la bomba calorimétrica, ya que produce deterioro del equipo.
- Se recomienda dar mantenimiento y vigilar que los equipos estén en óptimas condiciones.
- Se recomienda validar la bomba antes y durante el análisis de muestras. También es prudente validar la bomba si es que ésta ha sufrido alguna modificación, ya que esta pierde sus características iniciales.
- Se recomienda contar con las medidas preventivas tanto de salud, seguridad industrial, como de salud ocupacional, de tal forma que el investigador y los futuros trabajadores reduzcan los riesgos a los cuales se encuentra expuestos a lo largo de la investigación y el trabajo.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, C., Martínez, E., & Olías, J. (2003). Manual para la Gestión de los Residuos Urbanos. Madrid: Editora LA LEY.
- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (2010) “Guía técnica de diseño de centrales de calor eficientes”. Madrid. [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11\\_Guia\\_tecnica\\_de\\_diseno\\_de\\_centrales\\_de\\_calor\\_eficientes\\_e53f312e.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11_Guia_tecnica_de_diseno_de_centrales_de_calor_eficientes_e53f312e.pdf)
- Ayala, Inés (2013). “Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos del DMQ”. UISEK, Quito – Ecuador. Tesis de grado Universidad Internacional SEK. Quito.
- Baca, K. (2015). “Cuantificación del porcentaje de humedad y cenizas contenidas en los residuos sólidos urbanos de la Reserva Biológica Limoncocha”. Tesis de grado Universidad Internacional SEK. Quito.
- Bastidas, D. (2009). Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). Recuperado el 15 de abril de 2016 de: <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/GTRA/file/FIR%20Catamarca.pdf>
- Bastidas, O.; Freire, E.; Puertas, C.; Bejarano, P.; Pozo, G. y Tinoco, N. (2014). Estudio Socioambiental de la Reserva Biológica Limoncocha. Línea Base para el Plan de Manejo Sostenible del Área Protegida. Ministerio del Ambiente. Quito, Ecuador.
- Camacho-Sandoval J., “Tamaño de Muestra en Estudios Clínicos”, Acta Médica Costarricense (AMC), Vol. 50 (1), 2008.
- Centeno, L. (2010) “Guía de Aprovechamiento Energético: Aprovechamiento Energético de los residuos sólidos urbanos”. Capítulo 2., Madrid.
- Department for Environment Food and Rural Affairs (2007) “Incineration of Municipal Solid Waste”. Hampshire. <http://www.gloucestershire.gov.uk/extra/CHttpHandler.ashx?id=48248&p=0>
- Dueñas, D. (2012). “Validación del método de cuantificación del porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas contenido en los Residuos Sólidos Urbanos del Distrito Metropolitano de Quito 2013”. Tesis de grado. Universidad Internacional SEK. Quito.

- Fuentelsaz C., “Cálculo del Tamaño de la Muestra”, *Matronas Profesión*, Vol. 5, No 18, 2004.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Shushufindi. (2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial . Nueva Loja.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Limoncocha (2011).Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Parroquia “Limoncocha”. Geográficas SIS.
- Grau, A., Oriol, F. (2011) “Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020”. Madrid.  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e15\\_residuos\\_c3ead071.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e15_residuos_c3ead071.pdf)
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Censo de población y Vivienda. Ecuador.
- International Journal of Renewable Energy Technology Research (Junio 2014) “POTENTIAL OF MUNICIPAL SOLID WASTE, AS RENEWABLE ENERGY SOURCE - A CASE STUDY OF ARUSHA, TANZANIA”. Vol. 3, No. 6, pp. 1-9. (Omari, A., Kichonge, B., John, G., Njau, K. & Mtui, P.)  
[http://carbonn.org/uploads/tx\\_carbonndata/WTE%20study%20Arusha.pdf](http://carbonn.org/uploads/tx_carbonndata/WTE%20study%20Arusha.pdf)
- Jaramillo, J. (2002) “Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones”. Universidad de Antioquia, Colombia.
- Jianfeng Shen, Shuguang Zhu, Xinzhi Liu, Houlei Zhang, Junjie Tan (2012) “Measurement of Heating Value of Rice Husk by Using Oxygen Bomb Calorimeter with Benzoic Acid as Combustion Adjuvant”. International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems. ELSEVIER. Nanjing, China.
- Laboratorio de Suelos y Agua de Sáenz Peña (2005). *Procedimiento de Técnicas para Análisis Químico de Suelos*. Argentina, Chaco: Estación Experimental Agropecuaria.
- Mafla, L. (2015) “Cuantificación del Poder Calórico Superior e Inferior de los Residuos Sólidos Urbanos: papel, cartón, madera, materia orgánica del Distrito Metropolitano de Quito. Año 2014-2015”. UISEK., Quito, Ecuador. Tesis de grado Universidad Internacional SEK. Quito.
- Marrugat, Vila, Pavesi y Sanz, “Estimación del Tamaño de la Muestra en la Investigación Clínica y Epidemiológica”, Unidad de Lípidos y Epidemiología Cardiovascular. Unidad de Informática Médica. Instituto Municipal de Investigación Médica (IMIM), *Med Clin (Barc)*, 1998; 111: 267-276.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador “Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS ECUADOR”. Recuperado el 5 de abril de 2016 en: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>
- Ministerio de Salud Pública (2016) Dirección Distrital 21D04 –Shushufindi- Salud Tipo I.
- Montenegro, M. (2015) “Valoración y Gestión Económico Ambiental para la Conservación de la Reserva Biológica Limoncocha, Shushufindi, Sucumbios - Ecuador”. Quito, Ecuador.
- Moratorio, D., Rocco, I. & Castelli, M. (Agosto 2012) “Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía”. [http://www.um.edu.uy/docs/10\\_conversion\\_de\\_residuos\\_sólidos\\_urbanos-en\\_energia.pdf](http://www.um.edu.uy/docs/10_conversion_de_residuos_sólidos_urbanos-en_energia.pdf)
- Moscoso, Paola (Septiembre, 2013) “Reserva Biológica Limoncocha: Por el camino de la anaconda”. Revista Ecuador Terra Incógnita, N° 85. pp 46.
- Muruais, J., Maíllo, A. (2010) “Guía de Aprovechamiento Energético: La incineración de los residuos sólidos urbanos, aporte energético y ambiental”. Capítulo 3., Madrid.
- Murray, R. (1997). Estadística. México: Editorial McGraw-Hill.
- Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (sf). “Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos”. Buenos Aires, Argentina. [http://www.opds.gba.gov.ar/uploaded/File/residuos\\_03\\_10.pdf](http://www.opds.gba.gov.ar/uploaded/File/residuos_03_10.pdf)
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) (2010) “Evaluación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe al año 2010”. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>
- Pachecho, F. (2015) “Cuantificación del Poder Calórico Superior e Inferior de los Residuos Sólidos Urbanos de Limoncocha. Año 2015”. Tesis de grado Universidad Internacional SEK. Quito.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Shushufindi Actualizado (Enero, 2015). Recuperado el 24 de Mayo de 2016 en:



[http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1560001160001\\_Consolidado%20diagnostico%20final\\_15-03-2015\\_00-26-39.pdf](http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1560001160001_Consolidado%20diagnostico%20final_15-03-2015_00-26-39.pdf)

- Quezada, J. (2007) “Evaluación de la energía de combustión y otros parámetros físico-químicos del biodiesel obtenido a partir de cinco aceites vegetales”. Zamorano, Honduras.
- Rodrigo, M. (2010) “Guía de Aprovechamiento Energético: Aprovechamiento Energético de los residuos sólidos urbanos”. Capítulo 1., Madrid.
- Romero, A. (2010). LA INCINERADORA DE RESIDUOS: ¿ESTÁ JUSTIFICADO EL RECHAZO SOCIAL?. Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (104) 0 1, pp 175-187. Madrid.
- Sakurai K. (2010). Guía HDT 17: Método sencillo del análisis de residuos sólidos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Recuperado el 28 de Abril de 2016 en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt017.html>
- Sistema Nacional de Áreas Protegidas- MAE (2015) <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-biológica-limoncocha>
- The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank (1999) “Municipal Solid Waste Incineration”. Washington, D.C. 20433, U.S.A. [http://www.worldbank.org/urban/solid\\_wm/erm/CWG%20folder/Waste%20Incineration.pdf](http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG%20folder/Waste%20Incineration.pdf)
- United Nations Environment Programme, (2005) “Solid Waste Management”. Vol. 1. <http://www.unep.org/ietc/Portals/136/SWM-Vol1-Part1-Chapters1to3.pdf>
- UNEP / Bloomberg New Energy Finance (2012) “Global Trends in Renewable Energy Investment 2012”. Frankfurt, Germany. [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/WER\\_2013\\_7b\\_Waste\\_to\\_Energy.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/WER_2013_7b_Waste_to_Energy.pdf)
- Valdivieso, N. (2015) “Identidad, territorio y petróleo: la comuna kichwa Limoncocha y la extracción de crudo”. FLACSO. pp 67-69
- Valdivieso, C., Valdivieso, R. Y Valdivieso, O. (2011). “Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión”. Universidad privada Boliviana.
- Webster A. (1998). *Estadística aplicada a los Negocios y Economía (3ra Ed.)*. Bogotá: McGraw-Hill.

## ANEXO A

### REGISTRO DE TEMPERATURA, DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y PODER CALÓRICO LOS RESIDUO TEXTIL Y MIXTO

**2015**

**2016**

AGOSTO

ENERO

SEPTIEMBRE

FEBRERO

OCTUBRE

MARZO

NOVIEMBRE

ABRIL

DICIEMBRE

MAYO

## **ANEXO B**

### **MANUAL DE LA BOMBA CALORIMÉTRICA PARR** **NO.204M**

# ANEXO C

## REGISTRO FOTOGRÁFICO

Botadero de basura a cielo abierto, cantón Shushufindi

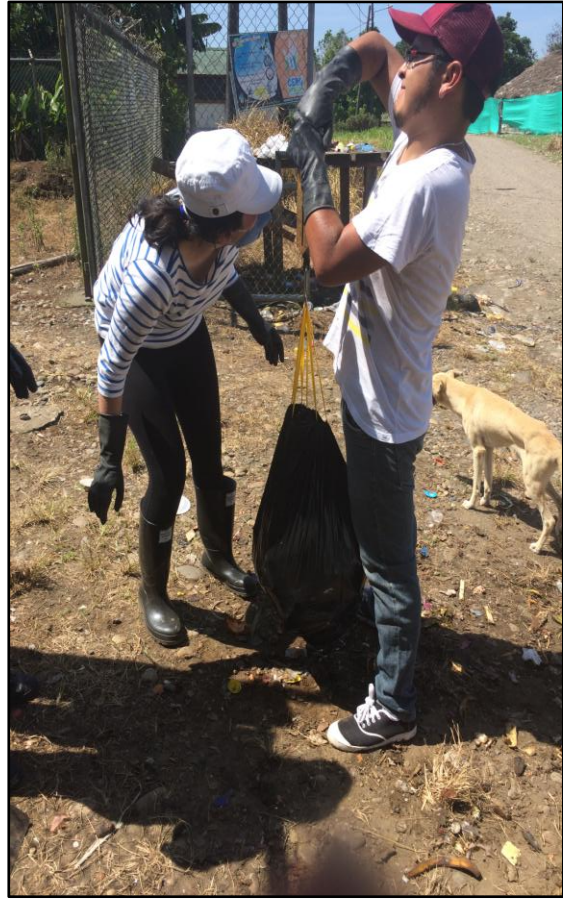


**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016



**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016

## Fase de campo



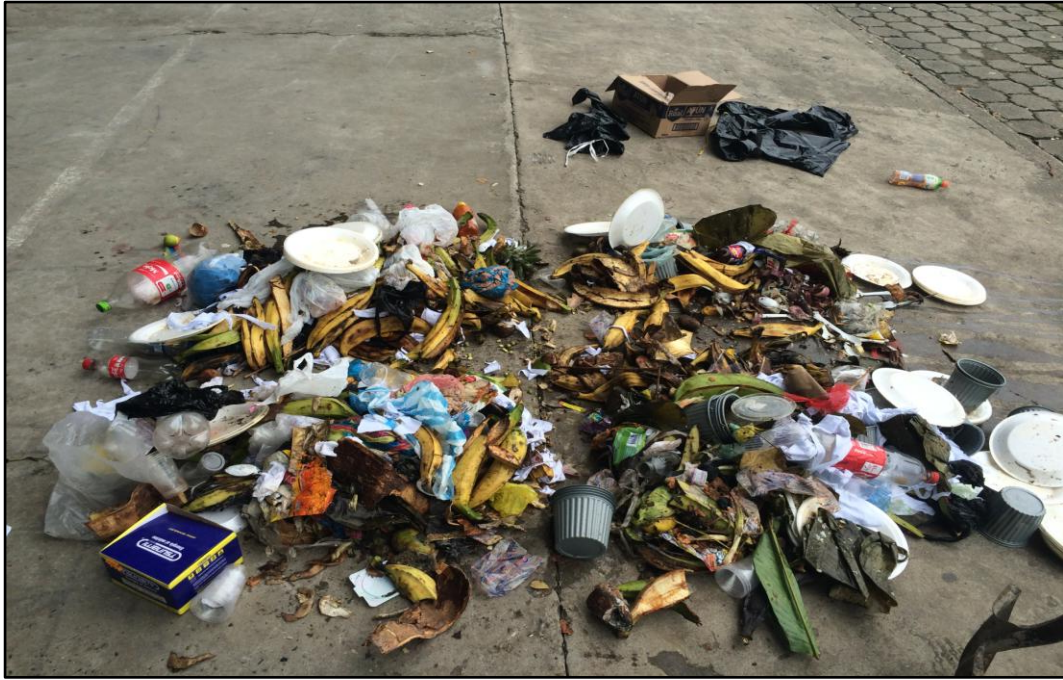
Homogenización del primer montón

**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016



Homegenizacion del primer montón

**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016



Cuarteo del primer montón

**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016



Selección de los lados opuestos

**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016

## Fase de laboratorio



Muestra triturada

**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016



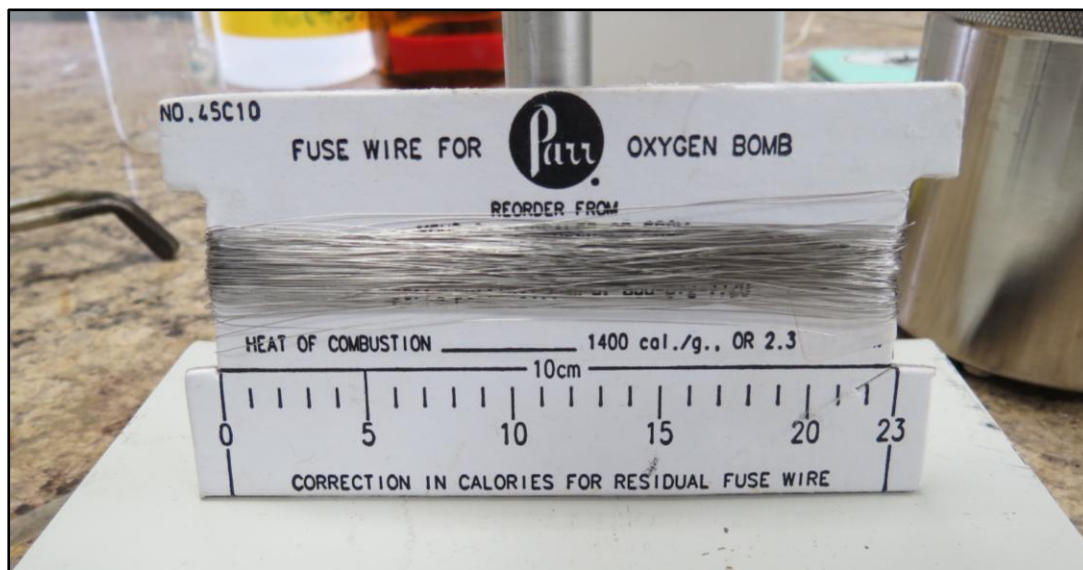
Prensa Parr

**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016



Bomba calorimétrica Parr

Fuente: Andrea Ninabanda, 2016



Alambre Parr 45C10 de níquel-cromo

Fuente: Andrea Ninabanda, 2016





Pesaje del papel filtro antes y despues de secar

**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016



Titulación

**Fuente:** Andrea Ninabanda, 2016