

## RESUMEN

Título: **CUANTIFICACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR E INFERIOR DE LOS RSU DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA. 2015-2016**

Autor: Andrea Celeste Ninabanda Ocampo. Cédula: 172216338-1 [celes94no@gmail.com](mailto:celes94no@gmail.com) Facultad de Ciencias Ambientales. Unidad de titulación.

Jorge Esteban Oviedo. Cédula: 170719256-1 Facultad de Ingeniería Ambiental. Profesor. Máster en Gestión Ambiental.

### **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 afflicts not only the environment but the human health, and Limoncocha is not the exception, nowadays they dispose their MSW into an open garbage dump located in Shushufindi. Moreover, the population also takes their own measures, 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, evaluation was conducted to determine energy potential that would be recovered. 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.

## **INTRODUCCIÓN.-**

Los residuos sólidos urbanos son producto, tanto de actividades humanas domésticas como de actividades comerciales e industriales, por tal efecto se busca reducir la generación de residuos en la fuente y solo cuando los materiales no puedan ser reciclados se considera alguna estrategia de recuperación de los residuos entre los que resaltan mecanismos térmicos de aprovechamiento energético como la incineración (Moratorio *et al*, 2012 ; World Bank, 1999).

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. En cuanto a la realidad latinoamericana, esta ha realizado varios esfuerzos, sin embargo algunas de las actividades relacionadas con la reducción, recuperación y reciclaje se muestran incipientes (World Bank, 1999).

Ecuador es un país con una elevada tasa poblacional generadora de toneladas de residuos sólidos al año, por lo que resulta preciso realizar estudios que permitan determinar la factibilidad de la implementación de tecnologías de aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos. En cuanto a los residuos generados en la parroquia Limoncocha, esta no cuenta con un sistema de gestión adecuado a las necesidades del sitio, siendo su disposición final un botadero de basura a cielo abierto controlado, ubicado en Shushufindi. Por otra parte, en la parroquia sólo un 13,30% tiene acceso al servicio de recolección, un 29,06% lo desechan en terrenos baldíos y el 30,66% la queman (GADPL, 2011).

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 (Montenegro, 2015).

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 implantar 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 poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI), 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.

En función a lo expuesto anteriormente, a partir del año 2015, la Universidad Internacional SEK dio inicio al estudio de determinación del Poder Calórico Superior e Inferior de los residuos sólidos urbanos en la parroquia Limoncocha, lo que permite tener pautas para dar seguimiento a dicha investigación. 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.

## Objetivos:

### 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 que brindan al someterlos a un proceso de aprovechamiento energético.

### Específicos

- Determinar la humedad de los residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha, a través del secado de las muestras, 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, a través de una caracterización en campo de los RSU, para establecer la viabilidad de aplicar mecanismos térmicos de aprovechamiento energético.

## MATERIALES Y MÉTODOS.-

### 1. Materiales y equipos

Materiales y equipos		
Balanza	Desecadora	Vaso de precipitación
Cooler	Estufa	Bureta
Fundas de basura	Ácido Benzoico	Soporte Universal
Palas	Bomba calorimétrica Parr	Papel filtro
Transporte	Agua destilada	Embudo
Refrigerador	Tanque de oxígeno	Balón aforado
Balanza analítica	Anaranjado de metilo	Pelletizadora
Pizas	Carbonato de sodio	Crisol
Tijeras	Cloruro de bario	Hilo de algodón

## 2. Metodología

### 2.1. Muestreo

Para llevar a cabo determinación del PCS y PCI de los RSU (textiles y mixto) de la parroquia Limoncocha, se realizaron muestreos mensuales a partir del mes de Agosto de 2015, obteniéndose un total de 10 muestras ha analizar a lo largo del proyecto.

En cuanto a la fase de campo, la metodología establecida como base para muestreos de RSU fue el “METODO SENCILLO DEL ANALISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS” del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), desarrollada 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).

### 2.2. Análisis de las características fisicoquímicas de los RSU

Respecto a la fase de laboratorio, se realizó un análisis que 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).

Estas muestras serán sometidas a un proceso de secado en una estufa durante 24 horas a una temperatura de 105°C, con el fin de eliminar la humedad contenida en los residuos. Para el cálculo del porcentaje de humedad se aplica la fórmula establecida por el Laboratorio de Suelos y Agua de Sáenz Peña (2005).

#### **Ecuación 1.** Porcentaje de humedad

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

Una vez seca la muestra, se procede a realizar un pellet de las mismas, el cual será procesado en una bomba calorimétrica, equipo el cual brinda la posibilidad de determinar el PCS a través de la fórmula establecida por el manual de instrucciones para el funcionamiento de la bomba calorimétrica de oxígeno No. 204M.

#### **Ecuación 2.** Poder Calórico Superior

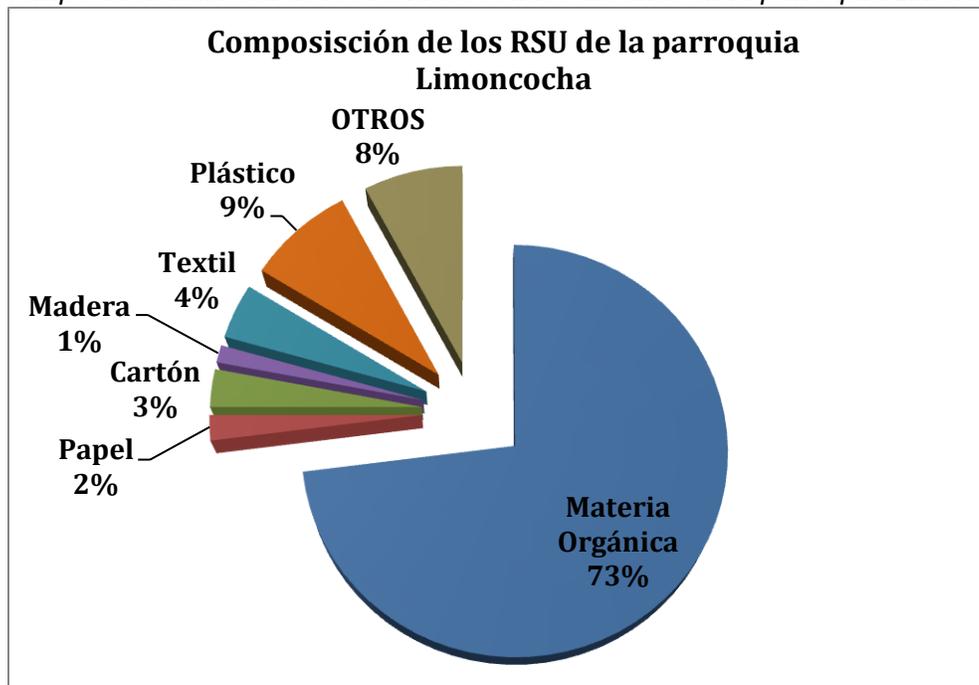
$$PCS = \frac{tW - e1 - e2 - e3}{m}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de resultados se incluyeron los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación (Agosto 2015 – Mayo 2016) junto con los datos calculados en los trabajos de fin de carrera de Baca (2015) y Pacheco (2015). 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.

### Caracterización

**Figura 1.** Composición habitual de los residuos sólidos urbanos en la parroquia Limoncocha



Elaborado por: Andrea Ninabanda, 2016

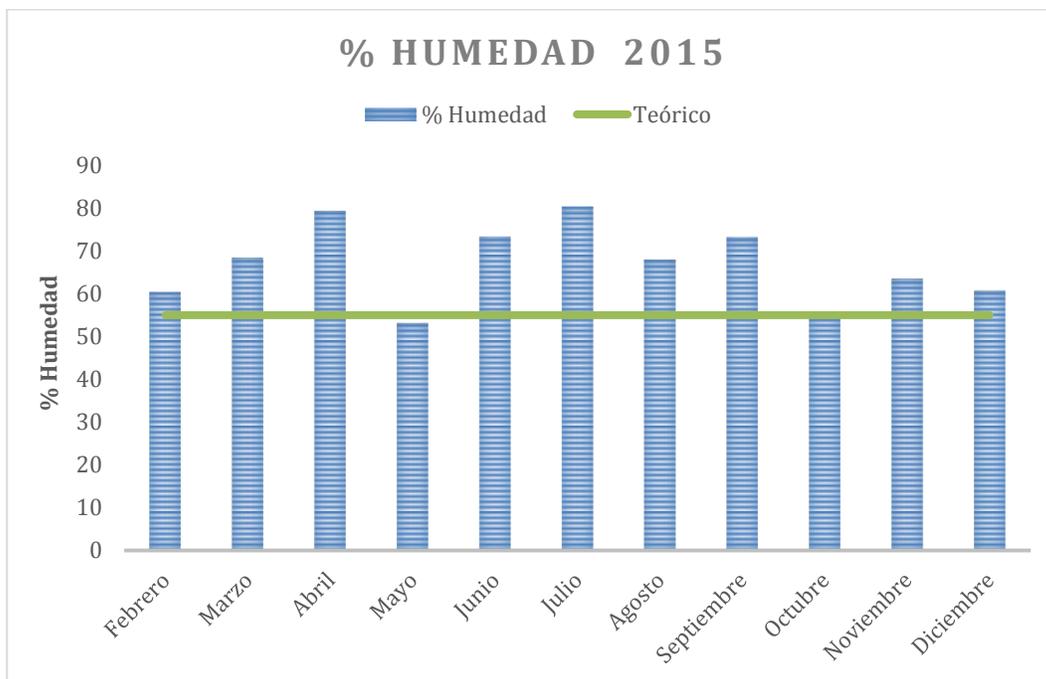
La caracterización que presenta la **figura 1.** indica que los residuos generados en la parroquia Limoncocha tienen en su composición una cantidad mayoritaria de materia orgánica, siendo esta del 73%. El porcentaje de textiles es superior al de papel y cartón, a pesar de ello los textiles no se generan 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.

La caracterización anual de los RSU en el año 2015 ratifica el predominio de materia orgánica, siendo esta del 66%. Este valor pone al descubierto que los habitantes de la parroquia Limoncocha no aprovechan sus residuos orgánicos, por lo cual lo disponen al botadero de basura controlado del cantón Shushufindi.

## %Humedad

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 la 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. 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.

**Figura 2.** Porcentaje de humedad de los RSU (muestra mixta) de la parroquia Limoncocha período 2015



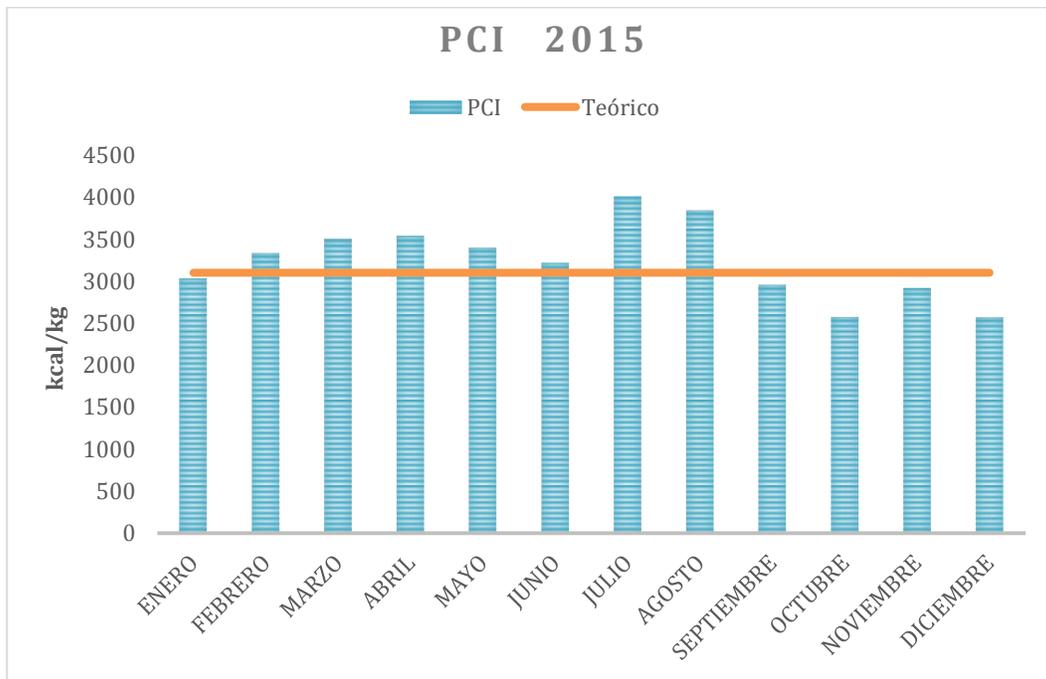
**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

En función de que los residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha no son clasificados, el porcentaje de humedad expresado en la **figura 2.** representa la humedad de la muestra mixta durante el año 2015. 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.

## Poder Calórico Inferior

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 (4 560 kcal/kg) 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 (3 656 kcal/kg).

**Figura 3.** Poder calórico inferior de los RSU (muestra mixta) de la parroquia Limoncocha período 2015



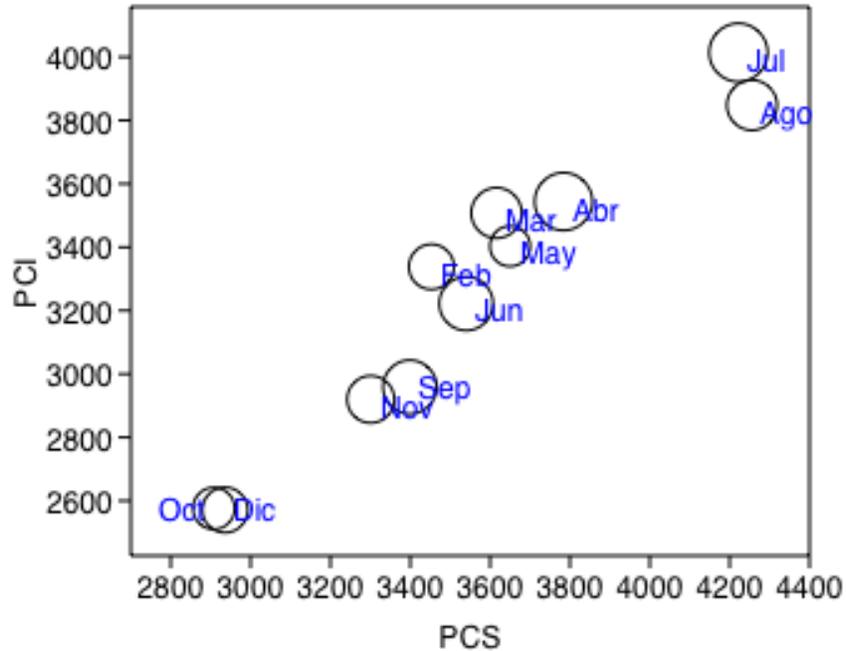
Elaborado por: Andrea Ninabanda, 2016

La **figura 3.** 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, siendo los materiales sintéticos derivados de petróleo mayormente desechados en la época de invierno y materiales de origen natural tendrían su predominio durante el verano. 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%.

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 anual de 3 245 kcal/kg, valor que ligeramente supera el recomendado para el aprovechamiento energético.

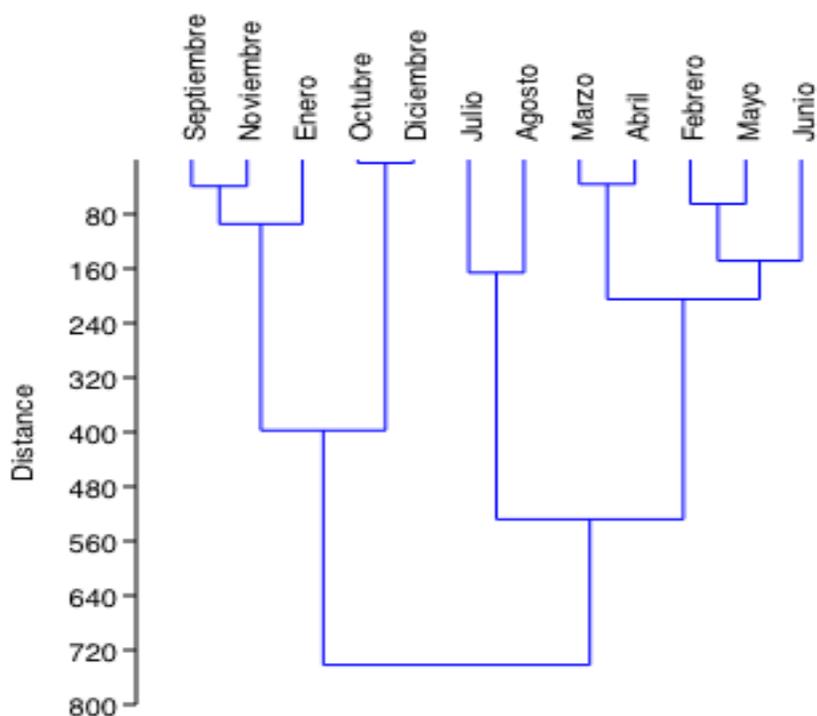
**Figura 4.** PCS vs PCI vs %Humedad de la muestra mixta 2015



**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

En el gráfico de burbujas **figura 4.** 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.

**Figura 5.** Flujo anual de PCS PCI y % Humedad de la muestra mixta 2015



**Elaborado por:** Andrea Ninabanda, 2016

La **figura 5.** representa un Clúster en donde 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 ciertos acerca del PCI de los residuos generados en el área de influencia.

## **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 las muestras por lo cual no influyó determinantemente en la obtención del poder calorífico 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.
- 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.
- 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.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.-

- Moratorio, D., Rocco, I. & Castelli, M. (Agosto 2012) “Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía”.
- The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank (1999) “Municipal Solid Waste Incineration”. Washington, D.C. 20433, U.S.A.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Limoncocha (2011). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Parroquia “Limoncocha”. Geográficas SIS.
- Montenegro, M. (2015) “Valoración y Gestión Económico Ambiental para la Conservación de la Reserva Biológica Limoncocha, Shushufindi, Sucumbios - Ecuador”. Quito, Ecuador.
- Parr Instrument Company. (s.f). *Operating Instruction Manual. Oxygen Bomb Calorimeter No. 204M*. Illinois: Parr.
- Sakurai K. (2000). *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>
- Sáenz Peña. (2005) “Procedimiento de Técnicas para Análisis Químico de Suelos”. Laboratorio de Suelos y Agua. Chaco, Argentina.