



VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RSU DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA-RESERVA BIOLÓGICA ECUADOR. 2015-2016

Oviedo, Jorge¹; Coral, Katty²; Cifrian, Eva¹; Andrés, Ana¹

¹ QuiPre, Escuela de Ingenieros Industriales, Universidad de Cantabria, Av. De los Castro, España, jorjandrito@hotmail.com, cifriane@unican.es, andresa@unican.es

² Grupo de Investigaciones Urbanas, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Universidad Internacional SEK, Alberto Einstein y 5ta transversal, Ecuador, Katty.coral@uisek.edu.ec

Resumen

Los residuos sólidos urbanos RSU son un problema acuciante en el mundo. Se hace necesario reducir la generación en la fuente, reciclar materiales y aplicar estrategias de recuperación, como el aprovechamiento energético. La parroquia de Limoncocha alberga una población en constante crecimiento, con su respectivo incremento en la generación de residuos sólidos, no cuenta con un sistema de gestión adecuado, siendo su disposición final un botadero de basura a cielo abierto, ubicado en Shushufindi. En la parroquia solo un 13,30% de la población tiene acceso al servicio de recolección, un 29,06% lo desecha en terrenos baldíos y el 30,66% la queman. Debido a las ventajas que presenta el aprovechamiento energético de residuos sólidos, resulta importante realizar la investigación de las propiedades físicas y químicas de los RSU de la parroquia, por su particular condición de Reserva Biológica y Sitio RAMSAR. En el presente trabajo se han realizado análisis de poder calórico superior e inferior, humedad, carbono, nitrógeno y fermentación de dichos residuos. Los resultados de Poder Calórico Superior e Inferior promedios obtenidos para las diferentes fracciones de residuos son respectivamente: 3901 kcal/kg y 3688 kcal/kg; mostrando un potencial energético apropiado para ser utilizado en proyectos de valorización. El %H de los residuos es de 35,3 %, destacándose en la caracterización un 73 % de Materia Orgánica. La Relación C/N promedio de los RSU fue de 158; en tanto que el mayor % en Volumen de bioalcohol fue de 32,4%.

Palabras clave: *Residuos sólidos, contaminación, poder calórico, incineración.*

1. Introducción

Ecuador es el cuarto país más pequeño y el que posee mayor densidad poblacional de Sudamérica. Ostenta la más alta concentración de ríos y mayor biodiversidad por kilómetro cuadrado en el mundo, lo que lo hace poseedor de un gran número de ecosistemas frágiles formados por especies vegetales y animales únicos en el mundo (Index Mundi, 2016).

Estas características hacen que se haya limitado enormemente la capacidad de extracción de materias primas vírgenes, así como el espacio para deponer los residuos. La generación de RSU es considerada uno de los problemas más importantes en la sociedad actual, tal es el caso de la parroquia rural de Limoncocha, ubicada dentro de la Reserva Biológica del mismo nombre, en la Amazonía Ecuatoriana, donde no existe un adecuado manejo de RSU, no existen datos de caracterización y generación de los mismos y aquellos generados, son depositados en el botadero a cielo abierto de *Shushufindi* (GADPL, 2011; Marañón, 2015; Younes, 2006).

Este trabajo desarrolló la caracterización fisicoquímica de los RSU de Limoncocha como primer paso para una adecuada gestión de los mismos, teniendo en cuenta la fragilidad de los ecosistemas en los que se encuentra inmersa la comunidad, con fines de conservación y preservación de los mismos.

Para ello se determinó la composición de los residuos, el poder calórico superior e inferior, la humedad, el carbono, el nitrógeno, así como estudios sobre fermentación de los mismos.

2. Metodología

Para la realización de este estudio se aplicó una Fase de Campo (toma de muestras), una caracterización físico- química y la fermentación de los RSU de Limoncocha. Los datos obtenidos mediante los procesos analíticos de laboratorio, cálculos y análisis estadístico de la información fueron procesados mediante los programas Microsoft Word, Microsoft Excel y software PAST, elaborando y documentándolos en tablas y gráficos.

2.1. Fase de Campo: Toma de muestras

Se realizó el muestreo, utilizando la metodología establecida por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (Sakurai, 2000). Los muestreos se realizaron de septiembre de 2015 a mayo de 2016.

2.2. Caracterización de los Residuos

Caracterización: En esta fase se clasificaron los residuos por tipología, calculándose el % en peso de cada categoría, a lo largo de los nueve meses de trabajo.

Poder Calórico Superior e Inferior: PCS y PCI: En la fase de laboratorio, se obtuvo una muestra representativa homogenizada en composición y tamaño (1 cm.) Las muestras fueron secadas para calcular el porcentaje de humedad aplicando la fórmula establecida por el Laboratorio de Suelos y Agua de Sáenz Peña (2005). La muestra seca se procesó en una bomba calorimétrica adiabática, determinándose el PCS utilizando la ecuación (1):

$$PCS = \frac{(t \cdot W - e1 - e2 - e3)}{m} \quad (1)$$

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.

El cálculo del poder calórico inferior se calculó según la ecuación (2) establecida por Sakurai (2000):

$$PCI = \frac{(PCS - W)}{(100)} \times 600 \quad (2)$$

PCS = Poder calórico superior (cal/g); PCI = Poder calórico inferior (cal/g); W = % Humedad.

Determinación de Carbono: La determinación de carbono se realizó a través del método de Pérdida por Ignición (LOI), siendo la pérdida de peso durante la combustión equivalente a la masa de la materia orgánica en la muestra, multiplicada por el factor 0,58 (Barrera, 2006), tal como lo muestra la ecuación (3). Siendo % C el equivalente a la masa de la materia orgánica en la muestra.

$$\% C = \% LOI * 0,58 \quad (3)$$

Determinación de Nitrógeno: El porcentaje de nitrógeno se determinó mediante el método Kjeldahl, en muestras orgánicas, para lo cual se aplicó la ecuación (4).

$$\% NTK = \frac{(A-B)*N*1,4007}{m} \quad (4)$$

Donde: A = Volumen de Ácido Clorhídrico (HCl) consumido en la valoración (mL); B = Volumen de Ácido Clorhídrico (HCl) consumido en la valoración del blanco (mL); N = Normalidad del Ácido Clorhídrico (HCl) utilizado en la valoración; m = Peso de la muestra (g).

2.3. Fermentación Alcohólica

Caracterización Química: obtenidos los residuos, se procedió a pesar la muestra total, para posteriormente clasificarlos, identificarlos y pesarlos individualmente para realizar una caracterización porcentual de los componentes de la fracción orgánica (Municipalidad Distrital de Comas, 2014). La caracterización Química de los RSU, y la determinación de su capacidad de generar bioalcohol, se realizó a través de varios procesos: Extracción de disolventes, *Método TAPPI T-264 cm-07* (Tappi, 2007)

- Cuantificación de Holocelulosa, *método ASTM D-1104* (1978)
- Cuantificación de Celulosa *Método TAPPI T 212* (TAPPI, 2012)
- Cuantificación de Hemicelulosa se obtuvo de la diferencia entre la Holocelulosa obtenida y el contenido en Celulosa de la misma (Alvarez, et al., 2013)
- **Hidrólisis ácida:** Para la hidrólisis ácida se tomó el *Método ASTM E223 – 08* (Alvear, et al., 2009)
- **Estabilización de pH de la solución homogenizada:** Con el objetivo de mantener un pH óptimo, al inicio del proceso fermentativo entre 4 a 6, se midió el pH mediante el *Método ASTM E70 – 07* (2015a), y se lo ajustó utilizando una solución de NaOH 5N
- **Proceso de Fermentación:** Se construyó un fermentador de tres orificios: uno para salida de CO₂ generado, el siguiente para un termómetro y finalmente otro para la extracción de muestras. Montado el fermentador y ajustado el pH de la solución homogenizada, se inoculó la mezcla con 1% (v/v) de levaduras activadas, para mantener las condiciones anaerobias durante todo el proceso
- **Proceso de destilación:** Se empleó una destilación simple, manteniendo una temperatura de 78°C a fin de alcanzar la temperatura de ebullición del etanol como lo describe el *Método ASTM D86 – 15* (2015b). Para caracterizar al bioetanol de segunda generación, se evaluaron cuatro variables: pH, Densidad, Grados alcohólicos, *Norma ASTM D770 – 11* (2011), y el Color.
- **Comprobación de la producción de etanol:** La comprobación de la presencia o producción de etanol o bioetanol se realizó utilizando el Método Estándar de colorimetría: *ASTM D7558 – 09* (2014). Esta es una prueba colorimétrica que tiene el fin de comprobar si efectivamente se obtuvo etanol del proceso de destilación.

3. Resultados y discusión

La gestión de los RSU dentro de la parroquia Limoncocha es deficiente. No toda la cantidad de residuos es enviada al servicio de recolección parroquial, lo cual dificulta realizar un aprovechamiento energético; desconociéndose los valores reales de generación de la parroquia. Una separación en la fuente y una recolección selectiva permitirá un manejo integral de los mismos, preservando de esta manera el ecosistema frágil de la parroquia Limoncocha. Los resultados de composición y % de humedad de los RSU se muestran en la Figura 1.

La Composición y humedad de los residuos de la Parroquia de Limoncocha se presentan en la Figura 1., los residuos tienen en su composición una cantidad mayoritaria de materia orgánica, 73%. El porcentaje de textiles es superior al de papel y cartón, sin que los textiles se generen de forma constante. En cuanto a la producción de plásticos, ésta se incrementa considerablemente durante las fechas festivas de la parroquia. A lo largo de los muestreos no se evidenció una cantidad apreciable de residuos sanitarios, encontrándose

pañales desechables en la mayoría de días de muestreo, mientras que el resto de residuos pertenecientes a esta categoría se verificó, in situ, que son quemados o arrojados en fosas.

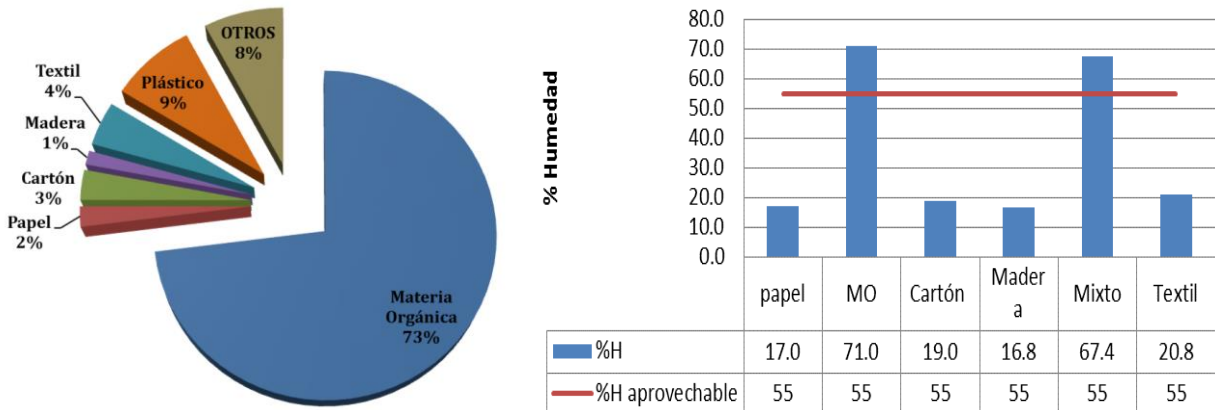


Figura 1. Composición y humedad de los RSU de Limoncocha

Según Alonso, et al (2003) el contenido máximo de humedad de un residuo sólido debe ser de 55% para que sea considerado como materia prima para aprovechamiento energético, los tipos de residuos: papel, cartón y madera presentaron contenidos de humedad necesarias para ser consideradas como materia prima para dichos procesos, mientras que materia orgánica supero el máximo establecido (55%).

Una vez realizadas las determinaciones de PCI y PCS, se elaboró la Figura 2.



Figura 2. PCI y PCS de los RSU de Limoncocha

El PCI es 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 la Figura 2 se aprecia que todos los residuos de la parroquia podrían ser considerados para aprovechamiento energético. Los datos obtenidos de C y N para los RSU de Limoncocha fueron además utilizados para el cálculo de la relación C/N de los mismos. Los residuos de origen vegetal que se encontraron casi en su totalidad en las muestras de Limoncocha presentaron una relación C/N extremadamente alta (Figura 3).

En lo que respecta a la obtención de alcohol secundario se obtuvieron los resultados de la Tabla 1.

Los resultados de la fermentación, muestran mejores rendimientos de alcohol con muestras rehidratadas y homogenizadas, luego de ser hidrolizadas con H_2SO_4 y modificada la cantidad de inóculo de levadura activada al 20% (v/v), dejándola fermentar por 174 horas.

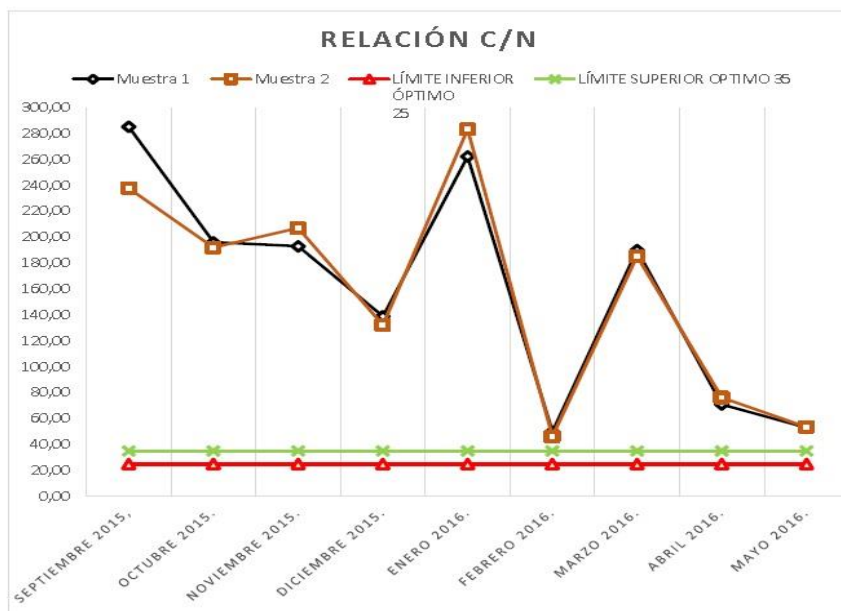


Figura 3. C y N de los RSU de Limoncocha

Tabla 1. Rendimiento de Bioetanol de Segunda Generación a partir de la Fracción de los Residuos Sólidos Orgánicos

Ensayo	Volumen Bioetanol de Segunda Generación obtenido (mL)	Rendimiento en Volumen (%)	Rendimiento en Peso (g/mL)
1	25	1,5%	4,6
2	60	11,3%	0,8
3	240	32,4%	0,1

4. Conclusiones

El potencial energético que brindan los residuos sólidos urbanos de la parroquia Limoncocha, para todas las muestras analizadas, son aptos para someterlos a procesos de aprovechamiento energético con recuperación de energía, ya que en promedio el PCI supera las 3 100 kcal/kg requeridas.

Los RSU de la parroquia Limoncocha presentaron una relación C/N que se encontraban fuera del rango óptimo compostaje (25-35), superando hasta en 10 veces el límite superior. Se pudo constatar que los restos de carne aumentan significativamente el contenido de nitrógeno de las muestras, llegando a tener un contenido aproximado del 4% de nitrógeno. El principal problema de los restos de carne es su escasez, debido a que Limoncocha es una parroquia rural y de bajos recursos económicos, por lo que no existe una posibilidad de un consumo cotidiano de carne y menos aún de poder desechar una cantidad considerable de la misma.

El alto porcentaje de residuos varios con el 32,84%, muestra que no se realiza separación de los mismos desde la fuente, lo que provoca una importante interferencia en el proceso ya que contaminan la fracción de residuos sólidos orgánicos para la obtención de bioalcohol.

El gran contenido de materiales orgánicos con un índice glicémico de medio a bajo garantiza la eficiencia de los procesos productivos de Bioetanol de Segunda Generación. Se obtuvo bioetanol de segunda

generación de 23,5° grados alcohólicos, con un tiempo de residencia óptimo de 168 horas, un rendimiento en volumen del 32,4%; un rendimiento en peso del 0,1 g/mL.

Referencias

- Alvarez, A., Pizarro, C., Folgueras, M. (2013). *Caracterización Química de Biomasa y su relación con el Poder Calorífico*. Obtenido desde: http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/17777/6/TFM_Ana_AlvarezProteg.pdf.
- Alvear, M., Castillo, C., Henao, D., Mar, W. (Septiembre de 2009). *Estudio de la hidrólisis ácida de cáscaras de naranja citrus síntesis para la obtención de etanol*. Obtenido desde: <http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/eventos/siquia20130510/siquia2009pos1.pdf>
- ASTM (1978) D1104-56 *Method of Test for Holocellulose in Wood*.
- ASTM (2011) D770 - 11 *Standard specification for isopropyl alcohol*.
- ASTM (2014) D7558 – 09 *Standard Test Method for Colorimetric/Spectrophotometric Procedure to Quantify Extractable Chemical Dialkyldithiocarbamate, Thiuram, and Mercaptobenzothiazole Accelerators in Natural Rubber Latex and Nitrile Gloves*.
- ASTM (2015a). E70 – 07 *Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode*.
- ASTM (2015b) D86 – 15 *Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products and Liquid Fuels at Atmospheric Pressure*.
- Barrera, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- GADPL. Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Limoncocha. (2011). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Parroquia "Limoncocha"*. Geográficas SIS. Quito.
- Index Mundi. (2016). Ecuador. Obtenido desde: https://es.wikipedia.org/wiki/Ecuador#cite_note-11.
- Marañón, K. (2015). *Modelo de gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la cabecera parroquial de Limoncocha* (tesis de pregrado). Universidad Internacional SEK. Quito.
- Municipalidad Distrital de Comas. (2014). *Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios del distrito de Comas*. Obtenido de http://www.municomas.gob.pe/anuncios/Estudio_de_Caracterizacion_de_Residuos_domiciliarios.pdf.
- 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.
- Sáenz Peña. (2005). *Procedimiento de Técnicas para Análisis Químico de Suelos*. Laboratorio de Suelos y Agua. Chaco, Argentina.
- Sakurai K. (2000). *Guía HDT 17: Método sencillo del análisis de residuos sólidos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)*. Obtenido desde: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt017.html>
- Tappi. (2007). *Método TAPPI T-264 cm-07. Solvent extractives of wood and pulp (Proposed revision of T 204 cm-97)*.
- Tappi. (2012). *Método TAPPI T 212 OM-12. One Percent Sodium Hydroxide Solubility of Wood and Pulp*.