

Incineración de la fracción biodegradable de los residuos sólidos urbanos

(Incineration of the biodegradable fraction of municipal solid waste)

Marcelo Muñoz¹, Verónica Calvachi¹, Natalia Navarro¹, *María Belén Aldás¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador

*maria.aldas@epn.edu.ec

RESUMEN

Se propone un nuevo modelo de gestión de residuos urbanos separados, utilizando la incineración de residuos orgánicos biodegradables y determinando el poder calorífico inferior, reducción de peso, reducción de volumen y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del lixiviado de las cenizas luego de la incineración de los residuos biodegradables a 400°C, 500°C y 600°C en una mufla a nivel de laboratorio, también se evalúan las emisiones gaseosas de la incineración a 600°C. Se determinó que a 600°C, el volumen de los residuos se reduce en un 80 % mientras que el peso se reduce en un 96 %. El poder calorífico inferior de los residuos se aproxima a las 4000 kcal/kg. Los valores obtenidos de la DQO de los lixiviados y de la concentración de los contaminantes gaseosos no sobrepasaron los límites permisibles.

Palabras clave: Residuos sólidos municipales, incineración, lixiviados.

ABSTRACT

We propose a new management model for separated urban waste. The model consists of using the incineration of biodegradable organic waste to determine its lower calorific value, weight and volume reduction as well as the Chemical Oxygen Demand (COD) of ash leachate after incinerating the biodegradable waste at 400° C, 500 °C, and 600 ° C in a laboratory-level muffle furnace. Gaseous emissions from the incineration are also evaluated at 600 ° C. It was determined that, at 600 ° C, the volume of waste is reduced by 80% and the weight is reduced by 96%. The lower calorific value of the waste approximates the 4000 kcal/kg. The values obtained from the leachates COD, and the concentration of the gaseous pollutants did not exceed the permissible limits.

Keywords: Municipal solid waste; incineration; leaching.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el acelerado proceso de urbanización junto a la modificación de los patrones de consumo han originado un incremento en la generación de los residuos sólidos urbanos, de los cuales aproximadamente el 60% son orgánicos biodegradables que son responsables del uso de grandes extensiones de terreno y de la producción de lixiviados; siendo estos últimos causantes de la contaminación del suelo y de la aparición de vectores como moscas, ratas, entre otros, que afectan la salud humana. Por lo tanto, una gestión apropiada mediante la utilización de tecnologías modernas ayudaría a evitar problemas de espacio físico y contaminación en su disposición final (EMASEO, 2010).

Existen en la actualidad algunos modelos para la gestión de los residuos sólidos municipales, como el de residuos separados, residuos mezclados y uno propia para el área rural. La gestión de residuos mezclados que se tiene en la mayor parte del Ecuador conlleva a una disposición final de los mismos en rellenos sanitarios, y al no utilizarlos adecuadamente se generan lixiviados que contienen metales pesados, patógenos y altas cantidades de materia orgánica, lo que provoca problemas de proliferación de vectores y contaminación del suelo y del agua tanto superficial como subterránea. Además, estos residuos emiten gases de efecto invernadero en los rellenos sanitarios (Muñoz, 2008).

Varios son los procesos que se han implementado como tratamiento para los residuos sólidos urbanos. Uno de los procesos térmicos de tratamiento de residuos sólidos urbanos es la incineración, que generalmente se aplica a residuos sólidos mezclados contribuyendo a la reducción del volumen y aprovechando el poder calorífico de los mismos para la generación de energía. (Barradas, 2009). Una de las desventajas de este proceso son las emisiones tóxicas que se producen como dioxinas y furanos por lo que se requiere de un método para la depuración de los gases. Este tipo de tratamiento se realiza en incineradores que trabajan generalmente a temperaturas mayores a 900°C, y a medida que aumenta la tem-

peratura de operación también lo hace el costo (Álvarez, 2008; Sarmiento, 2008).

Considerando los problemas mencionados y las tecnologías actuales, se propone una incineración de residuos orgánicos biodegradables que disminuiría los problemas por contaminación y uso del suelo, ya que al reducir el volumen se aumentaría el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios. Además, se reduce la DQO de los lixiviados minimizando la contaminación del agua y reduciendo los problemas que afectan a la salud humana y al ambiente al no obtener dioxinas, furanos y material particulado en los gases de emisión en la incineración de residuos orgánicos biodegradables, ya que éstos se producen cuando se incineran plásticos o materiales similares (Quina, 2008).

Esta investigación propone un nuevo modelo de gestión de residuos sólidos urbanos y también contribuye a buscar una nueva forma de generación de energía, cambiando el concepto de basura a materia prima, lo cual puede promover un cambio en la cultura ambiental de la población.

Por lo anteriormente mencionado se investiga la factibilidad de optar por la incineración de los residuos sólidos orgánicos biodegradables, que es una técnica que trata a los residuos con el fin de transformarlos en otros de menor peso, menor volumen y aprovechar su poder calorífico para obtener energía, con los siguientes objetivos: determinar el poder calorífico y la reducción de volumen y peso de los residuos sólidos orgánicos biodegradables domiciliarios en función de la temperatura y establecer el nivel de contaminación del lixiviado del producto de la incineración.

2. METODOLOGÍA

2.1 Acondicionamiento de los residuos

Se utilizó el modelo de gestión de residuos separados en el origen, que se plantea la separación de los residuos a partir de su fuente de generación, en este caso los domicilios, donde se clasificaron en residuos orgánicos de fácil biodegradación y en residuos inorgánicos. Se utilizaron residuos

orgánicos biodegradables como residuos de frutas y verduras debido a que por su rápida descomposición son los causantes de la aparición de lixiviados y vectores. Los residuos fueron triturados en forma manual utilizando cuchillas hasta conseguir pedazos de aproximadamente 0,6 x 0,6 cm y homogeneizados mediante el uso de paletas para su mezcla.

2.2 Caracterización de los residuos

Previamente a los ensayos de incineración, se determinaron las características de los residuos a incinerar mediante el análisis de la humedad de la muestra mediante el método gravimétrico de desecación en estufa, y el contenido de sólidos volátiles por el método APHA 2540 E, para determinar su porcentaje en la muestra húmeda y en la muestra seca.

2.3 Ensayos preliminares

Se realizaron experimentos de incineración en un horno tipo mufla Thermo Scientific FB1315M a temperatura constante de 200°C y a distintos tiempos de combustión.

El rango de temperaturas óptimo se determinó en base a la reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del lixiviado de la muestra incinerada, determinada mediante el método de digestión 8000 DQO en un espectrofotómetro HACH DR 2010, eligiendo el rango de temperatura en el que se observó mayor reducción.

También se consideró para determinar este rango, la relación entre los sólidos volátiles y los sólidos totales, cuyo valor debía permanecer prácticamente constante en el rango de temperaturas mencionado.

2.4 Ensayos de incineración

Se tomaron datos de masa y volumen antes y después de la incineración de cinco muestras de los residuos sólidos orgánicos biodegradables, con los que se obtuvo el porcentaje de reducción de los mismos que ayudaría a minimizar el espacio demandado por estos residuos en los rellenos sa-

nitarios.

Se determinó también el poder calorífico inferior de las muestras, realizando la combustión de las mismas utilizando una bomba calorimétrica Parr 1241.

2.5 Lixiviación de cenizas

Se realizaron ensayos de determinación de la reducción de la DQO de los lixiviados de las cenizas, realizando una simulación del paso de la lluvia a través de las mismas mediante el uso de una bureta conteniendo las cenizas que serán lavadas con agua destilada en la cantidad calculada asumiendo lluvias de intensidad máxima 150 mm/h, simulando tres lluvias intensas al año, valor calculado con datos de la estación meteorológica Izobamba de la ciudad de Quito (INAMHI, 1999).

2.6 Emisiones gaseosas

Finalmente se realizó la evaluación de las emisiones gaseosas, determinando la concentración de CO, NO_x y SO₂ mediante el uso de un equipo Testo 350 XL, siguiendo el procedimiento detallado en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria el Ministerio de Ambiente del Ecuador, en su Libro VI, Anexo 3 (TULSMA,2003).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de los residuos

Tabla 1. Contenido contenido Contenido de sólidos de una muestra de residuos sólidos orgánicos

PARÁMETROS	CANTIDAD	UNIDAD
Peso total PT	35,068	g
Peso seco PS	5,962	g
Humedad	83	%
Peso final PF	1,277	g
Peso volátil PV	4,684	
PF/PT	0,036	-
PV/PT	0,134	-
PF/PS	0,214	-
PV/PS	0,786	-

Se muestran en la Tabla 1 los resultados de la caracterización inicial de los residuos biodegra-

dables, donde se aprecia que los sólidos fijos en relación a la muestra con humedad representaban un 3,6 % y con respecto a la muestra seca un 21,4 %, por lo que, al relacionar los sólidos volátiles de la muestra se puede establecer el porcentaje de orgánicos en la muestra, obteniendo un 13,4% de sólidos volátiles en la muestra con humedad y determinando que un 78,6% de sólidos en la muestra seca eran volátiles .

3.2 Ensayos preliminares

Los experimentos de incineración en mufla se realizaron a temperatura constante de 200°C , la temperatura más baja de investigación, donde se obtuvo el peor escenario en cuestión de parámetros de control y a distintos tiempos, determinando que se puede percibir un cambio considerable de reducción de peso a los 15 minutos de colocar la muestra a dicha temperatura. Por lo cual se aplicó durante este tiempo las demás temperaturas de investigación.

Analizando el comportamiento de los valores de la DQO del lixiviado de las cenizas de la muestra, se determinó el rango de temperaturas, que fue de 400°C a 600 °C, donde los valores de la DQO son semejantes, lo que puede apreciarse en la figura 1.

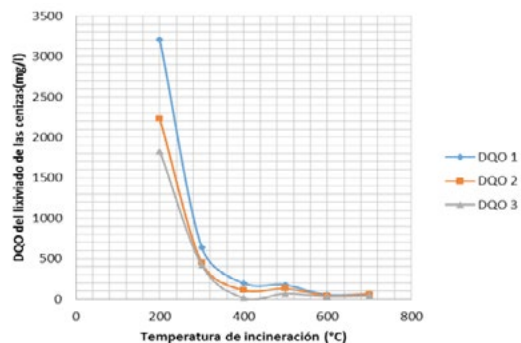


Figura 1. Variación de la DQO de la muestra de experimentación a diferentes temperaturas de incineración

En adición, en la figura 2, donde se muestra la variación de la relación de los sólidos volátiles y los sólidos totales con respecto a la temperatura, se observa que a valores entre 400°C y 600°C existe una tendencia asintótica a partir de la temperatura 500°C, por lo que se considera que

a temperaturas mayores a 500°C ya se han eliminado todos los sólidos volátiles, quedando solo cenizas o sólidos fijos con un peso prácticamente invariable.

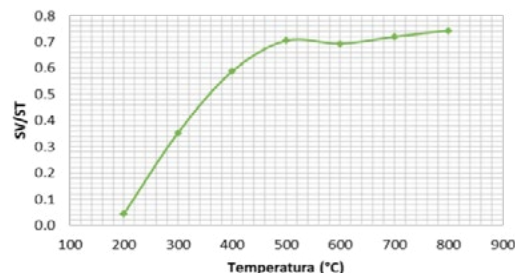


Figura 2. Relación SV/ST en función de la temperatura de incineración.

3.3 Ensayos de incineración

Del análisis del poder calorífico inferior de las muestras, se obtienen los resultados que aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Poder calorífico inferior de las muestras de residuos sólidos orgánicos.

MUESTRA	VALOR	UNIDAD
1	3970,58	kcal/kg
2	4073,38	
3	4000,60	
4	3812,34	
5	3809,84	

Según datos obtenidos por EMASEO (2011), la cantidad de residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano de Quito es de 1622 t/día, tomando en cuenta que los residuos sólidos orgánicos biodegradables equivalen al 60 % del total, se tendría una cantidad de 973,2 t/día, por lo cual si se implementara este nuevo modelo de gestión en Quito se obtendría 4308,37 MWh de energía en un día, considerando el menor poder calorífico de la Tabla 2 (3809,84 kcal/kg), que es mayor a valores reportados en estudios similares, realizados en Brasil (Poletto, 2009), donde los cálculos en el software COMBUST de la combustión de los residuos sólidos municipales, determinaron que el poder calorífico inferior de los residuos de la ciudad de Baurú fueron aproximadamente 2292 kcal/kg, sin considerar la segregación y 1013

kcal/kg en la hipótesis de segregación total de plásticos y papeles.

En otros estudios se encontró que altos porcentajes de materiales combustibles como plástico y celulosa, elevan el contenido energético de los residuos sólidos municipales sin segregar a 10160 kJ/kg (2428 kcal/kg), y del combustible sólido recuperado (CSR) a 18281 kJ/kg (4369 kcal/kg), semejantes a los valores obtenidos (Montejo, 2011).

En la figura 3 se presenta los datos obtenidos de la reducción de volumen de las cinco muestras a temperaturas de 400°C, 500°C y 600°C, se observa que al aumentar la temperatura el volumen de las muestras disminuye.

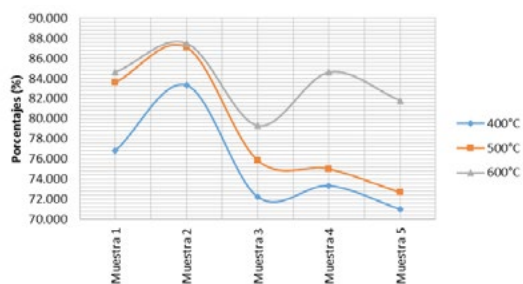


Figura 3. Porcentaje de disminución del volumen en función de la temperatura de incineración.

La reducción del volumen de las muestras a diferentes temperaturas es un parámetro importante en la gestión de los residuos urbanos, debido a que su volumen se reduce aproximadamente en un 80% a una temperatura de 600°C, lo cual ayuda a aumentar el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios.

En la figura 4 se representa la reducción del peso de los residuos en función de la temperatura. La reducción del peso de los residuos orgánicos biodegradables alcanzó un valor de alrededor del 96% a una temperatura de 600°C.

Los porcentajes alcanzados en la disminución de peso y volumen de los residuos, son similares a los expuestos por Álvarez (2008), donde el volumen de los residuos sólidos combustibles usados en la obtención de energía se reduce en un 90 % y el peso en un 75 %, considerando que los residuos ensayados estuvieron compuestos únicamente por material orgánico.



Figura 4. Porcentaje de disminución del peso en función de la temperatura de incineración.

En la figura 5, se presenta la disminución de la DQO del lixiviado de las cenizas en función de la temperatura y con la simulación de tres lluvias, para la muestra 2, siendo los resultados de las muestras restantes de igual comportamiento.

Este nuevo modelo de gestión de los residuos separados mediante la incineración de los residuos orgánicos de fácil degradación, da como resultado la disminución de la demanda química de oxígeno de una manera muy eficiente en comparación con la DQO del lixiviado de un relleno sanitario de residuos domésticos mezclados, que se encuentra en el rango de 3000 - 45000 mg/l (Muñoz, 2008).

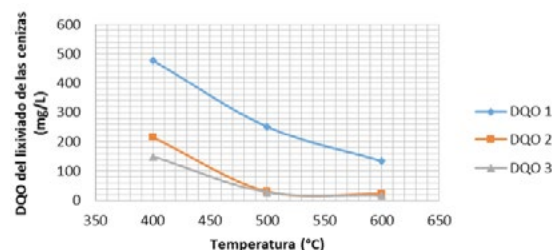


Figura 5. DQO del lixiviado de las cenizas de la muestra 2 en función de la temperatura de incineración.

Nota: DQO1: lixiviado de la primera lluvia; DQO2: segunda lluvia; DQO3: tercera lluvia

El lixiviado original de los residuos durante una semana de recolección tiene una DQO de 5050 mg/l (dato experimental) y al incinerar los residuos a 600°C da como resultado promedio una DQO de 148 mg/l en la primera lluvia; se puede observar que la incineración ayuda a disminuir la DQO de los residuos en un porcentaje del 97,1%.

Los resultados de la carga orgánica de los lixiviados de las cenizas se comparan con los lí-

mites correspondientes en la normativa ecuatoriana. A continuación se compara con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce donde la DQO debe tener un valor máximo de 250 mg/l (TULSMA, 2003).

Si se toman los valores promedios de la DQO del lixiviado de las cenizas a diferentes temperaturas se puede observar que: a la temperatura de 400°C los valores de DQO cumplen con la norma desde la segunda lluvia; los valores de DQO a una temperatura de 500°C cumplen con la norma desde la segunda lluvia, aunque en la primera lluvia se acercan considerablemente a los límites permisibles y a la temperatura de 600°C se puede observar que los valores de DQO cumplen con la norma desde la primera lluvia con un valor más bajo que el límite permisible.

En el caso de los límites de descarga al sistema de alcantarillado público, el límite máximo permisible de la DQO es 500 mg/l (TULSMA, 2003), por lo tanto el valor promedio de la DQO del lixiviado de las cenizas de las tres lluvias y a las diferentes temperaturas cumplen con la norma.

En la tabla 3, se indican los resultados obtenidos de la incineración de residuos orgánicos de fácil degradación y los límites máximos permisibles correspondiente a emisiones al aire para fuentes fijas de combustión en operación a partir de enero del 2003, según la legislación ecuatoriana.

Los gases emitidos en la incineración de residuos sólidos urbanos biodegradables, como óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, cumplen con los límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión establecidos en el TULSMA (2003).

Como comentario final puede indicarse que se eligió 600°C como la temperatura óptima de incineración en la gestión de los residuos orgá-

nicos de fácil degradación debido a que a esta temperatura las emisiones gaseosas de la incineración y la DQO del lixiviado de las cenizas cumplen con la normativa vigente, mientras que los otros parámetros analizados en esta investigación contribuyen favorablemente en la disminución los impactos ambientales y las emisiones se encuentran dentro de los límites permisibles de la normativa vigente.

Los valores de DQO del lixiviado de las cenizas a 600°C cumplen con los límites máximos permisibles desde la primera lluvia para descargas en cuerpos de agua dulce, en cuerpos de agua marina y para descargas al sistema de alcantarillado público, por lo que no produciría contaminación de los recursos agua y suelo, debido a que no contienen patógenos ni metales pesados.

Los gases emitidos en la incineración de residuos sólidos urbanos biodegradables, como óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, cumplen con los límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión establecidos en la normativa.

La implementación de un modelo de gestión de residuos sólidos separados en Quito reduce la cantidad de residuos que deben llegar a la disposición final, utilizando los residuos inorgánicos que se puedan reciclar y junto con la incineración de los residuos orgánicos biodegradables se obtendría un mejor manejo de residuos sin afectar a la salud ni al bienestar de la comunidad.

Se recomienda que debido a que las cenizas son materiales inorgánicos, se estudie la posibilidad de su utilización para rellenos, pavimentación de calles, usos similares y acondicionamiento del suelo. Además, podría realizarse el diseño un modelo de un incinerador de residuos sólidos orgánicos biodegradables para conocer el rendimiento del mismo y un análisis económico del diseño y operación del incinerador propuesto y

Tabla 3. Comparación de los resultados de emisiones gaseosas provenientes de la incineración de residuos orgánicos biodegradables con los límites máximos permisibles

CONTAMINANTE	UNIDAD	VALOR INCINERACIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CUMPLIMIENTO DE LA NORMA
Óxidos de nitrógeno	mg/m ³	127.1	850	Si cumple
Dióxido de azufre	mg/m ³	120.1	1650	Si cumple

con esto, realizar una comparación con los otros tratamientos que se les da a los residuos sólidos orgánicos biodegradables como la generación de biogás y el compostaje, con el fin de elegir el tratamiento que más se acople a las necesidades del medio en el que se aplicará.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, J. (2008). *Planta de aprovechamiento energético de la fracción combustible de los residuos sólidos urbanos con producción de energía eléctrica*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.
- Barradas, A. (2009). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales*. Recuperado el 17 de diciembre de 2015 de http://oa.upm.es/1922/1/Barradas_MONO_2009_01.pdf
- Empresa Pública Metropolitana de Aseo. (2010). *Plan de servicios de aseo Administración Zonal La Delicia*. Recuperado el 15 de abril del 2013 de http://www.emaseo.gob.ec/documentos/planes_aseo/plandeaseoladelicia.pdf.
- Empresa Pública Metropolitana de Aseo. (2010) *Plan de servicios de aseo Administración Zonal Quitumbe*. Recuperado el 15 de abril del 2013 de http://www.emaseo.gob.ec/documentos/planes_aseo/plandeaseoquitumbe.pdf
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (1999). *Isolíneas de intensidades de precipitación para varios períodos de retorno en función de la máxima en 24 horas*. Registro de información 1964-1999.
- Montejo, C., Costa, C., Ramos, P., Márquez, M. (2011). *Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants*. Applied Thermal Engineering, 31(13), 2135-2140. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.03.041
- Muñoz, M. (2008). *Manual de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos: Programa de Apoyo a la Gestión Descentralizada de los Recursos Naturales en las tres Provincias del Norte del Ecuador-PRODERENA*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Poletto, J., da Silva, C. (2009). *Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en el Proceso de Incineración con Generación de Energía*. *Información tecnológica*, 20(2), 105-112. doi:10.1612/inf.tecnol.4062it.08
- Quina, M.J., Bordado, J.C., Quinta-Ferreira R.M. (2008). *Treatment and use of air pollution control residues from MSW incineration: an overview*. *Waste Management*. 28(11), 2097-2121. doi:10.1016/j.wasman.2007.08.030
- Sarmiento, R. (2008). *Incineración de residuos sólidos urbanos y generación de electricidad*. Recuperado el 13 de abril del 2013 de <http://www.energiaadebate.com/Articulos/enero2008/Sarmientoene2008.htm>.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente TULSMA. (2003). *Libro VI. Anexo 3. Norma de emisiones al aire desde. Fuentes fijas de combustión*.