

# Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba

*Physical-chemical characterization of the organic fraction of urban solid waste from the controlled landfill at the Abel Santamaría Urban Center in Santiago de Cuba*

*MSc. Lissethy Hernández-Nazario, lhernandez@cies.cu, MSc. Mabelin Benítez-Fonseca,  
Ing. Juan M. Bermúdez-Torres*

*Centro de Investigaciones de Energía Solar. Cuba*

## Resumen

Para el desarrollo de un sistema de gestión integrada de los residuos sólidos urbanos (RSU) la principal dificultad está en el desconocimiento de la composición química de los residuos que se generan. En el presente trabajo se realizó la caracterización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) y se evaluó sus potencialidades mediante métodos de ensayos procedentes del Grupo de Métodos de la Oficina de Residuos Sólidos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos y métodos normalizados para el análisis de aguas y aguas residuales, resultando que dicha fracción propicia tratamientos anaerobios secos y húmedos, además que pretratada químicamente presenta características favorables para ser utilizada en la agricultura.

**Palabras clave:** fracción orgánica, residuos sólidos urbanos.

---

## Abstract

The development of a comprehensive management system for municipal solid waste (MSW), the main difficulty in waste generation as the lack of the chemical composition. This paper proposes the characterization of the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) to assess their potential. In the characterization were used test methods from the Methods Group by Office of Solid Waste Environmental Protection Agency (EPA) of the U.S. authorities, and standard for the analysis of water and wastewater methods. The resulting fraction from the characterization favors anaerobic dry and wet treatments, while chemically pretreated methods presents favorable for use in agriculture applications and features.

**Keywords:** organic fraction, municipal solid waste.

## Introducción

En Cuba se han realizado estudios y acciones encaminadas a un tratamiento adecuado de los RSU en las grandes ciudades. En algunas provincias del país, se han desarrollado proyectos que aprovechan los beneficios de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), ya sea para la agricultura o

para obtener energía, disminuyendo con esto los daños medioambientales de su descomposición o incineración al aire libre /1,2/.

Santiago de Cuba aún carece de plan de manejo integral de RSU. Toda acción dirigida a mejorar la gestión eficaz de los RSU tiene mucho valor productivo. La inexistencia de soluciones adecuadas y eficientes para el tratamiento y la disposición final, así como el manejo inadecuado de dichos residuos, potencian el incremento de los riesgos y la posible contaminación relacionada con ellos.

Se entiende por fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) a la parte de los RSU constituida por residuos de origen orgánico, como restos de alimentos y cocina, estiércol, poda de árboles, barrido de calles, ramas, paja y plantas. Estos elementos, todos putrescibles, constituyen la parte más peligrosa de los RSU ya que originan malos olores como resultado de la fermentación y son un campo de atracción para los vectores /3/.

La valorización de la FORSU puede contribuir a atenuar muchos de los problemas asociados a su acumulación, al disminuir la cantidad de residuos que se disponen y lograr obtener subproductos útiles como compost, vermicompost, biogás y biosólidos; teniendo así impactos positivos tanto en el medio ambiente como en la economía /4/.

El manejo de los RSU en el Centro Urbano “Abel Santamaría” es una actividad que presenta grandes problemas desde su evacuación, que tiene irregularidades manifiestas, la ausencia de tratamiento en los lugares de recolección y el destino final que es una fuente importante de contaminación ambiental, tanto atmosférica por las cantidades de gases de combustión que se genera diariamente, como los productos de fermentación que contaminan el suelo. Además, tanto la población, como los organismos que desenvuelven su actividad en la zona, poseen conocimientos precarios acerca de los volúmenes de RSU que se generan, de las técnicas de evacuación segura de los mismos, de las potencialidades del reciclaje de materiales que se desechan y de los impactos medioambientales que provocan el mal manejo de los residuos.

Se hace necesario, en estos momentos, desarrollar un sistema que proporcione la gestión integrada de los RSU en Cuba, para de esta forma, agrupar con un enfoque sistémico, acciones que ya se vienen realizando e insertar otras, que

son de extraordinaria importancia para el funcionamiento de una gestión ambientalmente segura. Sin embargo, para la valorización de los residuos que se generan en el país, la principal dificultad ha estado en el desconocimiento real de su composición química, base fundamental para cualquier toma de decisión. El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización de la FORSU del Centro Urbano Abel Santamaría, así como una evaluación de su potencialidad energética, partiendo de los resultados de la caracterización realizada.

## **Materiales y métodos**

### *Muestreo*

Se tomó de las carretillas que arriban al vertedero una cantidad de 20 kg, hasta completar un total de 100-200 kg.

El tipo de muestreo empleado fue estratificado al azar. El material separado se mezcló uniformemente a pala y se dividió en cuatro partes (cuarteo), dos de los cuadrantes perpendiculares (opuestos) se recogieron, se mezclaron, homogenizaron y se extendieron en forma de torta y se volvió a hacer la misma operación de cuarteo. Este procedimiento se llevó a cabo hasta que la media obtenida del cuadrante fue aproximadamente de 40-50 kg. Posteriormente se separó 30 kg para el análisis físico y 10 kg para la caracterización química.

Los residuos se separaron y clasificaron en materiales tales como papel y cartón, metales, vidrio, plásticos, textiles, madera y material orgánico.

Luego del muestreo, la fracción orgánica –FORSU- se sometió a una trituración “gruesa” y se trasladó el mismo día de la recogida hasta las instalaciones de los laboratorios.

### *Caracterización del residuo*

Una vez reducido el tamaño de partícula del residuo y tener una biomasa más homogénea, se determinó el contenido de sólidos totales, sólidos volátiles y sólidos fijos por métodos gravimétricos /5/.

Se determinó la cantidad de agua que puede retener el residuo sólido mediante la técnica de capacidad de retención del líquido.

En el laboratorio las muestras fueron sometidas a secado, trituración y cuarteo

Peso Inicial: 1-3 kg    Peso Final: 200 g

Para realizar la caracterización de la FORSU, se tomaron métodos de ensayos procedentes del Grupo de Métodos de la Oficina de Residuos Sólidos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos [6], Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales [5] y normas de ensayo de suelos.

Se realizaron en el laboratorio las siguientes determinaciones:

pH, cenizas, Na, K, Cl<sup>-</sup>, P, SO<sub>4</sub>, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Sb, Mg.

#### *Pretratamiento químico*

Para mejorar la eficiencia del proceso de estabilización de la FORSU mediante digestión anaerobia, se aplicó una hidrólisis alcalina previa. Como partimos de un residuo complejo, como lo es este, se hace necesaria una etapa inicial de hidrólisis y solubilización para formar moléculas más simples que puedan ser fácilmente utilizables por los microorganismos.

Los estudios de solubilización química generalmente se llevan a cabo con el empleo de NaOH. Sin embargo, atendiendo a los efectos económicos adicionales que pudiera traer la introducción de esta alternativa se empleó Ca(OH)<sub>2</sub> en el pretratamiento, por su bajo costo y procedencia nacional. A esta fracción líquida se le realizaron las siguientes determinaciones: pH, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Dureza, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Sb, Be.

#### *Métodos Analíticos Empleados*

- Sólidos totales, sólidos volátiles

Se determinó por gravimetría, determinando diferencias de pesadas antes y posterior a ser sometida la muestra a temperaturas de 120 °C (estufa AİSET) y 550 °C (mufla Barnstead Thermolyne), hasta llegar a un peso constante /5/.

- Densidad aparente de la FORSU

Esta densidad se determinó pesando el residuo en un recipiente de volumen y peso conocido. Por la relación masa/volumen (m/v) se puede determinar su densidad como biomasa, como refieren /7/.

- Capacidad de retención de humedad /8/

Se dispone una cantidad de residuo conocido (secado previamente a 105 °C) en un embudo con papel de filtro para impedir el paso del mismo, para lo que se tuvo que tener en cuenta el peso del embudo y el papel. Se regó el sistema con agua destilada hasta saturación (goteo). Se pesa el conjunto cuando cesa el goteo. Esta misma operación se realiza previamente teniendo en cuenta sólo el sistema embudo-papel, para determinar el peso de agua que retiene el papel.

Posteriormente se calculó el peso de agua ( $P_a$ ) que retiene la muestra de residuo, restando el peso del sistema con el residuo saturado menos el peso del sistema con el residuo seco inicialmente al que se le suma el peso del agua que retiene el papel.

El porcentaje de capacidad de retención del agua por el residuo se obtuvo por la siguiente ecuación:

$$Cr = Pa / Pr * 100 \quad \text{ecuación (1)}$$

donde

Cr: es la capacidad de retención (%)

Pa: es el peso del agua retenida (g)

Pr: es el peso del residuo dispuesto (g)

## Resultados

En las tablas 1 y 2 se presentan los resultados de la caracterización físico-química del FORSU.

**Tabla1**  
**Caracterización físico-química de FORSU**

Parámetro	
Sólidos Totales ST (%)	32,3
Humedad (%)	67,7
Sólidos volátiles SV (%)	79,1
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,47
Capacidad de retención de agua (%)	69,5

**Tabla 2**  
**Parámetros químicos determinados**  
**en la muestra de FORSU**

Determinación		
pH		6,9
Al	ppm	8946,51
Cd	ppm	4,217
Co	ppm	7,546
Cr	ppm	107,096
Cu	ppm	96,477
Fe	ppm	10 196,45
Mn	ppm	230,599
Ni	ppm	45,103
Pb	ppm	168,689
Zn	ppm	257,845
Sb	ppm	101,049
Mg	ppm	4 647,05
Na	%	0,24
K	%	0,78
Cl <sup>-</sup>	%	1,772 5
P	%	0,242
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	%	0,530 8

Después del pretratamiento químico realizado a la muestra de FORSU se caracterizó nuevamente la misma, estos resultados se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3**  
**Caracterización de la muestra pretratada**

Determinación		
<b>pH</b>	u	12,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	26,46
	meq/L	0,57
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,65
	meq/L	0,01
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,06
	meq/L	0,003
Na <sup>+</sup>	mg/L	123,83
	meq/L	5,38
K <sup>+</sup>	mg/L	426,32
	meq/L	10,93
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	1064,12
	meq/L	53,10
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	0
	meq/L	0
<b>Dureza</b>	meq/L	53,10
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	108,91
	meq/L	2,27
Cl <sup>-</sup>	mg/L	717,71
	meq/L	20,24
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	2,22
	meq/L	0,07

### *Discusión de los resultados*

En la tabla 1 se presenta la caracterización química-física realizada a la muestra, el valor obtenido de sólidos volátiles resulta menor al obtenido por investigaciones anteriores /4, 9-11/, se infiere que es debido a que las muestras

anteriormente estudiadas son resultado de la caracterización a residuos domiciliarios, de agromercados y de la residencia estudiantil, por lo que la heterogeneidad de las muestras inciden en la variación de su contenido de materia orgánica, en la muestra objeto de estudio en esta investigación prevalecen restos de follaje y de papel y cartón porque los restos de alimentos por lo general no llegan al relleno, no obstante como fracción orgánica prevalecen los SV lo cual posibilita la degradación utilizando métodos biológicos que pueden ser composteo, vermicompost, digestión anaerobia, entre otros /4/ y /12/.

El porcentaje de humedad en el residuo es de 67,7 (tabla 1) el cual es comparable al determinado por investigaciones anteriores ya citadas, esto se debe a que en todos los casos los residuos fueron tomados directamente del origen. Los valores altos de humedad en el material a tratar, dificultan el almacenaje a temperatura ambiente y estimula la aparición de vectores biológicos indeseables.

Podemos afirmar que la capacidad de retención de agua en el residuo es alta, 69,5 % (tabla 1), dando la posibilidad de diseñar un sistema de digestión anaerobio seco o húmedo y estimar la cantidad máxima de agua que se le debe añadir al reactor al ser cargado con FORSU /13 ,14/. Como puede observarse (tabla 1), el residuo retiene aproximadamente la misma cantidad de humedad que presenta naturalmente (67,7 %), posibilitando que se pueda realizar como tratamiento una fermentación en estado sólido (FES) o una digestión anaerobia en seco /14/.

En los últimos años ha habido un gran interés en la aplicación del proceso de digestión anaerobia para el procesamiento de la parte mayoritaria y más peligrosa de los RSU: la fracción orgánica. Esto da la posibilidad de recuperar el metano contenido en el biogás como fuente de energía y además el material digerido, el cual es similar al compost producido aeróbicamente /15,16/.

En la tabla 2 se presentan los resultados de parámetros químicos analizados en la muestra.

Se ha determinado que un óptimo valor de pH en la digestión anaerobia se encuentra entre 5,5 y 8,5, aunque se plantea /16, 17/ que el tratamiento

anaerobio puede desarrollarse correctamente en el intervalo de pH comprendido entre 6,8 y 7,2. La acidogénesis puede conducir a la acumulación de grandes cantidades de ácidos orgánicos que conllevan a un valor de pH por debajo de 5.

El pH en esta muestra presenta un valor de 6,9 (tabla 2) por lo que podemos plantear que el mismo favorece el crecimiento y la adaptación de los microorganismos anaerobios.

El contenido de fósforo total resultó ser 0,242 % (tabla 2), el cual se encuentra en el rango que se corresponde con el valor promedio obtenido en los estudios realizados anteriormente y también con el parámetro necesario para su uso en la agricultura (>0,25 %) /18/.

Los contenidos de metales (tabla 2) están dentro de los valores permisibles para su utilización en la producción de abonos orgánicos en países como Francia, Bélgica, España, Estados Unidos y Canadá /6, 19 y 20/. También estos valores están por debajo de los niveles críticos generales para su utilización en algunos cultivos como papa, cebolla y yuca /18/.

En la tabla 3 se puede observar que el pH del residuo sin tratamiento previo (RST) es menor que el obtenido a partir del residuo tratado (RT), esto se debe a que el pH aumenta después de aplicar el pretratamiento químico por la utilización de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

El contenido de  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  estuvo de acuerdo a los valores requeridos (tabla 3) para su uso en la agricultura [21] y son adecuados con respecto a los valores límites reportados /18 y 21/. Sin embargo, el pH está ligeramente por encima tanto del rango límite como del resto de los materiales. A pesar de que el pH está por encima de los valores límites, esto no es impedimento para que sea utilizado en la agricultura ya que los requerimientos del suelo y los cultivos varían con el fin de controlar la adaptación de los diversos cultivos.

Los contenidos de metales (tabla 3) están dentro de los valores permisibles mencionados en el análisis anterior, destacando su disminución debido al proceso de disolución producto de la hidrólisis por lo que aumenta su potencialidad para utilizarlos como abono.

## Conclusiones

- 1. En la fracción orgánica de RSU analizada, prevalecen los restos de follaje, papel y cartón, conteniendo una humedad por encima del 60 %, una capacidad de retención del agua de 69,5 % y un alto contenido de sólidos volátiles (79,1 %), que favorece los métodos biológicos y el establecimiento de tratamientos anaerobios secos y húmedos.**
- 2. La FORSU pretratada químicamente presenta características físico químicas favorables y cumple con los requerimientos de nutrientes necesarios para ser utilizado en la agricultura.**

## Bibliografía

1. LÓPEZ, Matilde, y col. "Gestión integral de los residuos sólidos urbanos sólidos y líquidos en Cuba". *Tecnología Ciencia y Educación. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos*. 2004, vol. 19, núm.1, p. 5-13.
2. PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano*. Centro de Información y Gestión Ambiental, Delegación CITMA La Habana: Ed. GEO, 2004.
3. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H. y VIGIL, S. "Gestión Integral de Residuos Sólidos". Ed. *Mc Graw-Hill, España*, 1993. p. 1087-1095.
4. ESPINOSA, María del Carmen, y col. "La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás". *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 2007, vol. 38, núm. 1, p. 33-37.
5. APHA. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 20th Edition. USA. American Press Health Association, 1998.
6. EPA. "Test Methods for Evaluating Solid Waste". OSW 486. Office of Solid Waste. Environmental Protection Agency, 2002.
7. SUÁREZ, José, *et al.* "Physical Properties of Cuban Coffee for Use as an Energy Source". *Energy Sources*. 2003, vol 25, p. 953-959.
8. NÁPOLES, Janet. "Ensayos de tratabilidad en suelos contaminados con petróleo". Tesis presentada en Opción al Título Académico de Master en Biotecnología. Mención Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Oriente. Cuba. 2005.
9. ESPINOSA, María del Carmen y col. "Caracterización de residuos sólidos urbanos en territorios de Ciudad de La Habana". Contribución a la Educación y

- la Protección Ambiental, Instituto de Ciencia y Tecnología Nucleares, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, 2003, Vol. 4.
10. NAVARRO ODIO, Zoraida. "Aplicación de la digestión anaerobia para la valorización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en Ciudad de la Habana". Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Biotecnología. Mención Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Oriente. Cuba. 2007.
  11. BENÍTEZ FONSECA, Mabelin. Tratamiento anaerobio de la Fracción Orgánica del Residuo Sólido Urbano generado por un núcleo poblacional de la Universidad de Oriente". Tesis presentada en opción al título académico de Master en Biotecnología. Mención Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Oriente. Cuba. 2012.
  12. ABALOS, Arelis. Biotecnología ambiental y tratamiento biológico de residuos. 2007, ISBN 978-959-207-333-3.
  13. KUMAR, Binod. "Dry continuous anaerobic digestion of municipal solid waste in thermophilic conditions". A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering in Environmental Engineering and Management. Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development. Thailand. 2008.
  14. EVANS, Gareth. "Biowaste and biological waste treatment ". The Cromwell press. 2001, ISBN: 1-902916-08-5.
  15. LÓPEZ, Matilde y col. "Desarrollo tecnológico en la gestión integral de los residuos urbanos en Cuba". Revista CENIC, Ciencias Biológicas, 2004, vol. 35, núm. 1, p. 23-28.
  16. MONTALVO, Silvio y GUERRERO, Lorna. Tratamiento anaerobio de residuos. Producción de Biogás. Universidad Técnica Federico Santa María, 2003, p 5-366.
  17. LÓPEZ, Matilde. "Procedimiento de pretratamiento para mejorar la digestión anaerobia de residuos sólidos". Revista CENIC Ciencias Biológicas, 2001. núm. 32, p. 129-131.
  18. COLINAGRO S.A. "Manual Técnico Colinagro. Revitaliza la Agricultura". Departamento Técnico Colinagro. Bogotá, D.C. 2003, p. 10-16.
  19. RODRÍGUEZ, Suyén, y col. "Biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café". Revista Interciencia, 2000. vol. 25, núm. 7.

20. MARTÍNEZ, Javier. "Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos". Red de Centros Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay, 2005. Tomo I, p 15-16.
21. CCME. "Ontario guidelines for aerobic composting production and use." Canada. CCME-106, Canadian Council of Ministers of the Environment. 1991.