



HDT 17: METODO SENCILLO DEL ANALISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS

Dr. Kunitoshi Sakurai
Asesor Regional en Residuos Sólidos
CEPIS/OPS

Índice general

- [Introducción](#)
- [Objetivo de análisis de residuos sólidos](#)
- [Toma de muestras](#)
- [Número de muestras](#)
- [Prueba de densidad](#)
- [Producción per cápita por día \(PPC\)](#)
- [Prueba de composición física \(base humedad\)](#)
- [Prueba de humedad](#)
- [Método para estimar el poder calorífico de la basura](#)

1. Introducción

En cualquier ciudad, sea grande o pequeña, es esencial conocer la cantidad de basura a recoger y disponer, y sus características tales como densidad, composición, humedad y poder calorífico, con el objetivo de diseñar técnicamente los sistemas de recolección, transporte y disposición final de la misma.

Sin embargo, los métodos estándares de análisis de residuos sólidos desarrollados en los países industrializados son bastante complicados y podrían estar fuera de alcance por la carencia de recursos físicos y humanos de las ciudades medianas y pequeñas que abundan en América Latina.

Este trabajo tiene por finalidades aclarar el objetivo del análisis de residuos sólidos y ofrecer un método sencillo para dicho análisis de manera que facilite el conocimiento mínimo de cantidad y características de basura a manejar por los encargados del servicio de aseo en estas ciudades.

2. Objetivo del análisis de residuos sólidos

Los volúmenes de producción y características de residuos sólidos son muy variables, ciudad por ciudad, país por país, en función de los diferentes hábitos y costumbres de la población, de las actividades dominantes, del clima, de las estaciones y otras condiciones locales que se modifican con el transcurso de los años.

Estas variaciones influyen mucho en la búsqueda de la solución más apropiada a los problemas involucrados en las operaciones del servicio de aseo. Las operaciones básicas a las que es necesario dar solución son: el almacenamiento, la recolección y la disposición final.

En primer lugar es preciso, en el caso del almacenamiento, determinar las características que deben tener los receptáculos para almacenar los residuos sólidos en lo referente a su forma, tamaño y material, a fin de asegurar su fácil manejo y condiciones higiénicas. El tamaño se debe determinar en base a la frecuencia de recolección y al volumen de producción de basura per cápita por día: PPC. En el caso de la basura húmeda, tal como la de América Latina, se debe reducir el uso de cajas de cartón como recipientes, ya que éstas se rompen fácilmente por el efecto de humedad causando problemas al derramarse la basura en las calles.

A continuación se debe determinar la frecuencia de recolección y seleccionar el tipo, capacidad, etc., de los vehículos recolectores a emplear. En la determinación de la frecuencia se necesita tener en cuenta los siguientes factores:

- Composición física de la basura (contenido de desperdicios y humedad)
- Condiciones climáticas
- Consideración sanitaria (ciclo de la mosca, etc.)
- Recurso disponible para la recolección

En el caso de la basura latinoamericana, se necesita una frecuencia de recolección de por lo menos dos veces por semana por un alto contenido de desperdicios y humedad.

En cuanto a la selección de los vehículos recolectores, es muy común en América Latina el uso de camiones compactadores ensamblados con especificaciones para países industrializados o fabricados en estos países. En este caso, la sobrecarga de los vehículos es muy probable por la alta densidad de la basura latinoamericana, lo cual provoca el desgaste prematuro de los vehículos, sobre todo de los resortes y ejes traseros. Por lo tanto, es muy importante seleccionar la combinación oportuna de cajas y chasis teniendo en cuenta las características de la basura en cuestión.

Finalmente, corresponde seleccionar el sistema de disposición final más conveniente. Esto debe hacerse desde el punto de vista sanitario y económico. De los distintos métodos de disposición final, el que parece ser el más adecuado a la realidad técnica y económica de América Latina es el relleno sanitario. Cuando se trata de seleccionar otros sistemas tales como compostificación, incineración y pirólisis, es indispensable analizar debidamente las características de la basura a disponer, a fin de identificar la factibilidad técnica y económica de estos sistemas en el medio.

En resumen, es indispensable que los funcionarios del servicio de aseo conozcan bien las características cuantitativas y cualitativas de los residuos sólidos actuales de su ciudad así como sus proyecciones futuras. Estos conocimientos son fundamentales para un debido cumplimiento de las siguientes tareas:

- Planeamiento adecuado del servicio de aseo a corto, mediano y largo plazo
- Dimensionamiento del servicio de aseo
- Selección de equipos y tecnologías apropiados.

El análisis de la basura tiene como objetivo el permitir conocer en forma fidedigna dichas características, al objeto de contar con los antecedentes necesarios para dar correcta solución a los problemas que se plantean.

3. Toma de muestras

Generalmente, la cantidad, la composición y la densidad de la basura llevada al relleno son bastante diferentes que las de la basura generada debido a la activa recuperación de materiales tales como papeles, cartones, trapos, botellas y metales, y a la compactación y esponjamiento que se realizan en el transcurso del manejo de basura. Por ejemplo, la densidad de basura se altera a medida que se avanzan las etapas de su manejo como se muestra en el cuadro de continuación:

EJEMPLO DE ALTERACION DE DENSIDAD DE BASURA

Etapa		Densidad
A.	Basura suelta en recipientes	200 kg/m ³
B.	Basura compactada en camiones compactadores	500 kg/m ³
C.	Basura suelta descargada en los rellenos	400 kg/m ³
D.	Basura recién rellenada	600 kg/m ³
E.	Basura estabilizada en los rellenos (2 años después del relleno)	900 kg/m ³

Por tanto, se necesita seleccionar una etapa mas apropiada para la toma de muestras teniendo en cuenta el motivo del análisis. Por ejemplo, para la determinación del volumen de recipientes se debe medir la densidad de basura en la etapa A arriba mencionada y para la selección de camiones compactadores se necesita la densidad en la etapa B. En el caso del dimensionamiento de celdas de relleno, es fundamental la medición de la densidad en la etapa D, y se debe usar la densidad de la etapa E en el cálculo de la vida útil del relleno. Si se trata de identificar la factibilidad de industrialización de basura, sería preferible tomar la muestra en la etapa A.

4. Número de muestras

En un programa de análisis por muestreo, la primera y más importante interrogante a responder es la referente al número de muestras. Si el número de muestras es muy pequeño, los resultados son de poca confiabilidad. Es necesario pues fijar un número mínimo de muestras tal que los resultados a obtener reflejen con cierto grado de confianza y reducido porcentaje de error las condiciones prevalecientes en el universo poblacional.

4.1. En el caso de que el objetivo principal del análisis sea la determinación de PPC de cada estrato socioeconómico (ingreso alto, medio, bajo, zonas marginales, etc.), se necesita tomar aleatoriamente el siguiente número de muestras (viviendas) del estrato en cuestión:

**NUMERO DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACION DE PPC DE CADA
ESTRATO SOCIOECONOMICO
(Nro de viviendas a probar)**

(1) Confiabilidad = 95%, Error permisible = 50gr/hab/día

		Desviación estándar* de las muestras del estrato en cuestión (gr/hab/día)				
		50	100	150	200	250
Nro. total de viviendas del estrato en cuestión	500	3.8	14.9	32.3	54.7	80.6
	1,000	3.8	15.1	33.4	57.9	87.6
	5,000	3.8	15.3	34.3	60.7	94.2
	10,000	3.8	15.3	34.5	61.1	95.1
	Más de 50,000	3.8	15.4	34.6	61.4	95.9

* Desviación estándar de variable Xi (Xi = PPC de la vivienda i)

		Desviación estándar* de las muestras del estrato en cuestión (gr/hab/día)				
		50	100	150	200	250
Nro total de viviendas del estrato en cuestión	500	14.9	54.7	108.3	164.8	217.2
	1,000	15.1	57.9	121.5	197.3	277.5
	5,000	15.3	60.7	134.6	234.3	356.8
	10,000	15.3	61.1	136.4	240.0	369.9
	Más de 50.000	15.4	61.4	137.9	244.7	381.2

* Ibid

Por ejemplo, si es permisible un error de 50 gr/hab/día en la estimación de PPC del estrato y cuyo número total de viviendas sea 500, y la desviación estándar de las muestras de este estrato medida a través del estudio anteriormente realizado tiene orden de 100 gr/hab/día, sería suficiente la toma de 15 (15>14.9) muestras (viviendas). Si no se cuenta con datos de estudios anteriores, se recomienda el uso de 200 gr/hab/día como desviación estándar. Es decir, se necesitan tomar 55 (55>54.7) muestras (viviendas) en vez de 15.

Si se requiere determinar el número necesario de muestras (n) para los casos no incluidos en las tablas arriba presentadas, se puede hacerlos por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{V^2}{\left(\frac{E^2}{1.96}\right) + \frac{V^2}{n}}$$

donde: n = N de viviendas a probar aleatoriamente
V = Desviación estándar de variables xi
(xi = PPC de la vivienda i) (gr/hab/día)
E = Error permisible en la estimación de PPC
(gr/hab/día)

N = Número total de viviendas del estrato en cuestión

4.2 Cuando se trata de determinar la composición física de basura (porcentaje de cartones, metales, etc.) con el fin de identificar la factibilidad técnica y económica de recuperación de algunos materiales, sería necesaria la toma aleatoria del siguiente número de muestras:

NUMERO DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACION DE COMPOSICION FISICA DE BASURA

(Nro de muestras a tomar, confiabilidad = 95%)

		% estimado del componente en cuestión					
		1.0	2.0	5.0	10.0	20.0	40.0
Error permisible en la determinación de %	0.1	1540					
	0.2	401	754				
	0.5	72	129	292			
	1.0		36	77	139	240	355
	2.0			21	36	61	89
	5.0				6.4	10.3	14.4

Nota: Esta tabla se basa en la desviación estándar transformada 0.1962 medida en Venezuela en vez de la cifra 0.1632 indicada por Klee y Carruth ,

Por ejemplo, si se requiere determinar el porcentaje de metales contenidos en la basura cuya cifra estimada es el 5.0%, y se permita un error del 1.0% con la confiabilidad del 95%, sería necesaria la toma de por lo menos 77 muestras. Como se explica más adelante en el inciso a. del ítem 7.1, cada muestra aleatoriamente tomada deberá tener un volumen de 1m³ aproximadamente.

5. Prueba de densidad

5.1 La medición de la densidad de la basura en la etapa A, B o C se hace en la siguiente forma:

- Se prepara un tambor de alrededor de 100 litros que servirá para el muestreo y una balanza de pie.
- Se pesa el tambor y se mide su volumen
- Se pone la basura en el tambor sin hacer presión y se remece de manera que se llenen los espacios vacíos en el mismo.
- Se pesa una vez lleno y por diferencia se obtiene el peso de la basura
- Se obtiene la densidad de la basura al dividir su peso en kilogramos entre el volumen del tambor en metros cúbicos.
- f.
- g. Densidad de la basura D(kg/m³) =
$$\frac{\text{Peso de la basura en Kg}}{\text{Volumen del tambor en m}^3}$$
- h.

5.2 La medición de la densidad de la basura recién rellenada (etapa D) se hace de la siguiente manera:

- Se prepara una celda especial de un tamaño de alrededor de 50 m³. Es preferible preparar una trinchera por su conveniencia en la medición del volumen.
- Se mide el volumen de la trinchera.
- Se llena la trinchera con la basura que fue pesada por una balanza para pesar camiones, esparciéndola y compactándola en la forma empleada en el relleno en cuestión.
- Una vez llena esta trinchera, se suma el peso de la basura que ha sido colocada en la misma.
- Se obtiene la densidad de la basura recién rellenada al dividir su peso determinado en d, entre su volumen medido en b.

5.3 En el caso de la basura estabilizada en los rellenos (etapa E), se hace la medición de la densidad en la siguiente forma:4

- Se hace la selección del sitio para ensayo, el cual debe tener registros de operación tales como el período de operación y los orígenes de la basura.
- Se raspa la tierra superficial del sitio con un tractor para retirar la tierra de cobertura.
- Se hace la excavación con el empleo de una retroexcavadora, de un área de 25 m² midiendo 5m x 5m, hasta una profundidad de 2m logrando en esta forma 50m³ de basura estabilizada.
- Se coloca la basura excavada en un camión basculante, mediante una pala mecánica. Se pesa este camión, de tara conocida, por una balanza para pesar camiones.
- Se obtiene la densidad de la basura estabilizada al dividir su peso, medido en d., entre su volumen, determinado en c.

6. Producción per cápita por día (PPC)

Se toma la muestra en la etapa de A diariamente, cubriendo ocho días sucesivos, puesto que hay una variación destacada dentro de ese plazo. Se debe descartar la muestra tomada el primer día de recojo, ya que la duración del almacenamiento para esa muestra no se conoce. Se mide el peso de la muestra usando una balanza de pie en la misma manera que el punto 5.1 supra.

Se puede determinar la PPC (producción per cápita por día) del modo

$$PPC \text{ (gr/hab/día)} = \frac{(A1/B1) * P1 + (A2/B2) * P2 + (A3/B3) * P3 + (A4/B4) * P4}{P1 + P2 + P3 + P4} * (1/7)$$

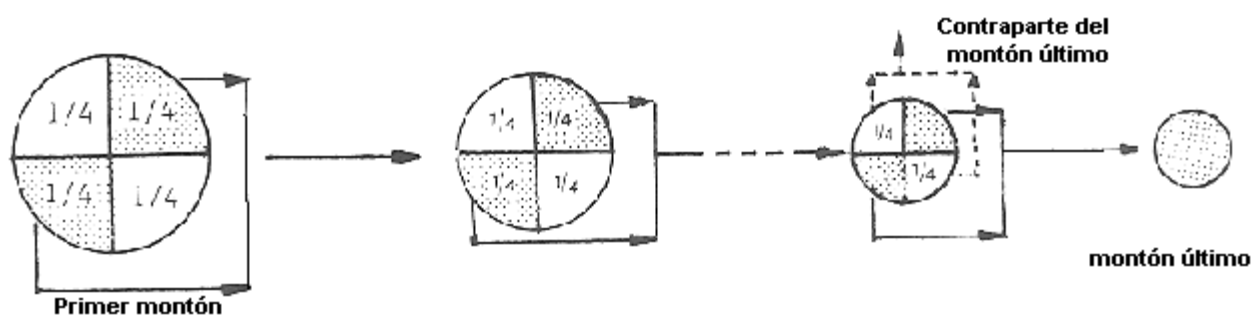
donde: - P1, P2, P3 y P4 = Número de habitantes en las zonas comercial, residencial (ingreso alto), residencial (ingreso medio) y residencial (ingreso bajo), respectivamente. - A1, A2, A3 y A4 = Peso de la muestra de una semana completa tomada de cada una de las

zonas arriba mencionada (gr/semana)- B1, B2, B3 y B4 = Número de habitantes correspondientes a la muestra tomada de cada zona arriba mencionada

7. Prueba de composición física (base húmeda)

7.1 La determinación de la composición física (base húmeda) a la basura se hace de la siguiente manera:

- Se toma la muestra de alrededor de 1m³ llevándola a un lugar pavimentado de preferencia en donde se vierte formando un montón.
- Se rompen bolsas y se cortan cartones y maderas contenidas en la basura hasta conseguir un tamaño de 15 cm por 15 cm o menos.
- Se homogeniza la muestra mezclándola toda.
- El montón se divide en cuatro partes y se escoge dos opuestas para formar otra muestra representativa más pequeña. La muestra menor se vuelve a mezclar y se divide en cuatro partes, luego se escoge dos opuestas y se forma otra muestra más pequeña. Esta operación se repite hasta obtener una muestra de 50 Kg De basura o menos.



- Se separan los componentes del montón último y se clasifican de acuerdo a las siguientes características:
- Papel y cartón
- Trapos
- Madera y follaje
- Restos de alimentos
- Plástico, caucho y cuero
- Metales
- Vidrios
- Suelo y otros
- Los componentes se van clasificando en cilindros pequeños que pueden ser de 50 litros.
- Se debe pesar los cilindros antes de empezar la clasificación usando la balanza de pie
- Una vez terminada la clasificación se pesan los cilindros con los diferentes componentes y por diferencia se saca el peso de los componentes.
- Se saca un porcentaje (%) de los componentes teniendo los datos del peso total y el peso de cada clase.
- Se necesita realizar este análisis con la mayor rapidez posible para evitar demasiada evaporación de agua.

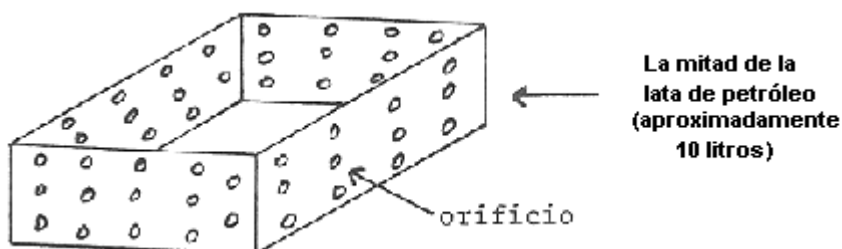
7.2 Cuando se trata de utilizar los datos de composición física así obtenidos, se necesita tener en cuenta la eficiencia de separación, es decir, el porcentaje del producto que se consigue separar mediante el proceso de reciclaje. Dichos porcentajes varían en función del proceso adoptado de separación. A continuación se presentan algunos valores de la Usina de Reciclaje Ing. Luís Eduardo Bahía de la COMLURB, Río de Janeiro, que puedan servir como referencia para un preestudio y que tienen como base la separación manual, con excepción del material ferroso, que se supone debe ser separado mediante el proceso electromagnético

EFICIENCIA DE SEPARACION

Producto	% Eficiencia en la separación
Papel	5
Cartón	80
Plástico duro	70
Plástico lámina	60
Vidrio	40
Trapo de paño	60
Metal no ferroso	70
Metal ferroso	90

8. Prueba de humedad

- Se toma la contraparte del montón último en el análisis de la composición de basura, se mezcla y luego se forma un montón
- Se realiza la operación similar que la del punto d. del análisis de la composición de la basura hasta tener 50 litros de basura o menos.
- Se preparan unos 6 recipientes metálicos utilizando latas de petróleo de 20 litros y se pesan estos recipientes (W1).



- Se pone la muestra en los recipientes cortando bien los restos de frutas y verduras para facilitar la disecación.
- Una vez llenos se pesan (w2) y se colocan sobre un horno de pan o una caldera de vapor tres o cuatro días aprovechando el calor radiado.
- Una vez secos se pesan (w3) y se calcula la humedad de la basura usando la siguiente ecuación.

$$\text{Humedad de la basura } W (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

9. Método para estimar el poder calorífico de la basura

9.1 Para facilitar el cálculo del poder calorífico de la basura, en primer lugar se adoptan los siguientes valores como el poder calorífico de cada componente seco:

a) Papel y cartón.....	4.000 kcal/kg
b) Trapos.....	4.000 kcal/kg
c) Madera y follaje.....	4.000 kcal/kg
d) Restos de alimentos.....	4.000 kcal/kg
e) Plástico, caucho y cuero.....	9.000 kcal/kg
f) Metales.....	0 kcal/kg
g) Vidrios.....	0 kcal/kg
h) Suelo y otros.....	0 kcal/kg

Un segundo lugar, se supone que toda la humedad de la basura está en los componentes de las clases a, b, c y d.

Se calcula el poder calorífico superior de la basura (Ps) como sigue:

	Composición húmeda (%)	Composición seca (%)	Poder calorífico superior (kcal/kg)
a. Papel y cartón	a	a	$\frac{a+b+c+d-W}{100} \times 4,000$
b. Trapos	b	b	
c. Madera y follaje	c	c	
d. Restos de alimentos	d	d	
e. Plástico, caucho y cuero	e	e	$\frac{e}{100} \times 9,000$
f. Metales	f	f	$\frac{f+g+h+W}{100} \times 0$
g. Vidrios	g	g	
h. Suelo y otros	h	h	
i. Agua	-	W	
TOTAL	100%	100%	$40(a+b+c+d-W) + 90e$ kcal/kg

Por tanto, el poder calorífico superior de la basura (Ps) está dado por la ecuación siguiente:

$$Ps \text{ (kcal / kg)} = 40 (a + b + c + d - w) + 90e$$

Se calcula el poder calorífico inferior de la basura (Pi) usando la siguiente ecuación:

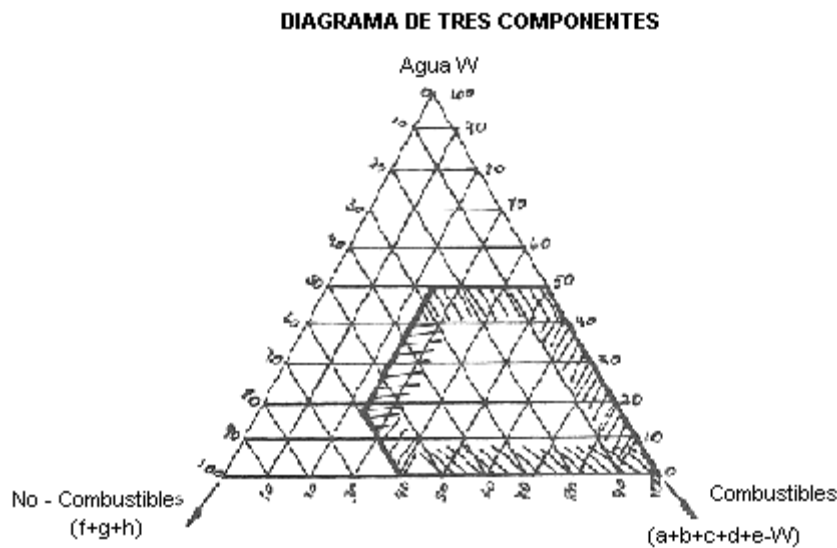
$$P_i \text{ (kcal / kg)} = P_s - \frac{W}{100} \times 600 = P_s - 6W$$

9.2 Cuando se trata de seleccionar el proceso de incineración como un método de tratamiento de la basura con el objeto de reducir su volumen y recuperar energía, hay que chequear el poder calorífico inferior de la basura usando las siguientes normas:

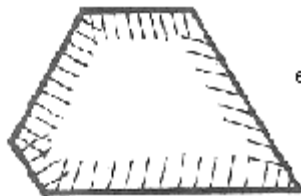
- Pi para incinerar la basura sin combustible auxiliar - cuando menos 1.000 Kcal/kg
- Pi para recuperar energía - cuando menos 1.500 Kcal/kg.

También se debe considerar cuidadosamente la disponibilidad de capital inicial y de recurso humano bien calificado para operario, aunque estos son generalmente muy difíciles de conseguir en los países en desarrollo. Como regla general se puede decir que la incineración no es apropiada en los países en desarrollo a excepción de la incineración de residuos sólidos hospitalarios.

9.3 Se puede evaluar la combustibilidad de la basura sin cálculo del poder calorífico arriba mencionado si se usa la figura.



Nota:



es la esfera de composición de basura que se puede incinerar sin combustible auxiliar