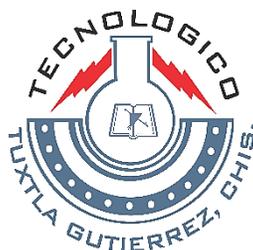


**INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**  
**INGENIERIA QUIMICA**

---

**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE RESIDENCIA  
PROFESIONAL**



**DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA COMBUSTION DE  
RESIDOS SOLIDOS ORGANICOS**

**ELABORADO POR:**

**SOLIS GONZALEZ RICARDO      13270181**

**ASESOR ACADEMICO**

**ING. FARRERA ALCAZAR ROCIO**

**ENERO – JUNIO 2018**

## **RESUMEN**

El constante aumento de los residuos sólidos orgánicos que se generan hoy en día, ha hecho que el ser humano trate de encontrar soluciones para el correcto manejo de los mismos. En la actualidad, el panorama de los residuos sólidos es preocupante pues se enfrenta no solo a problemas técnicos de sanidad en su tratamiento, sino también a un creciente déficit presupuestal para atender la tarea tradicional de recolección y disposición final. La presente residencia profesional plantea la caracterización de residuos sólidos orgánicos que se generan en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Para llevar acabo lo antes mencionado, se realizaron las siguientes pruebas: porcentaje de humedad, cenizas y poder calorífico. La metodología que se empleó en esta investigación fue la del Dr. Kunitoshi Sakurai, la cual se basa en la obtención de muestras de campo mediante cuarteos tras la homogenización de los residuos, lo que permitió obtener una base de datos en cuanto a la caracterización de los mismos.

Los resultados obtenidos durante las pruebas son de vital importancia en el diseño del prototipo para la combustión de residuos sólidos.

Palabras claves: Residuos sólidos orgánicos, porcentaje humedad, cenizas, poder calorífico.

## **INDICE**

- 1. Introducción**
- 2. Justificación.**
- 3. Objetivos.**
  - 3.1. Objetivos generales.**
  - 3.2. Objetivos específico.**
- 4. características generales del área de trabajo.**
  - 4.1. Ubicación geográfica.**
  - 4.2. Clima.**
  - 4.3. Misión**
  - 4.4. Visión.**
- 5. Antecedentes.**
- 6. Problemas a resolver.**
- 7. Fundamento teórico**
  - 7.1. Residuos sólidos.**
    - 7.1.1.1. Clasificación de los residuos sólidos.**
    - 7.1.1.2. Residuos sólidos según su origen.**
    - 7.1.1.3. Residuos sólidos según su gestión**
    - 7.1.1.4. Residuos sólidos según su peligrosidad.**
  - 7.2. Residuos sólidos orgánicos.**
    - 7.2.1.1. Clasificación de los residuos sólidos orgánicos.**
    - 7.2.1.2. Clasificación de los residuos orgánicos municipales según su fuente.**
    - 7.2.1.3. Clasificación generalizada de los residuos sólidos orgánicos.**
    - 7.2.1.4. Propiedades biológicas de los residuos sólidos orgánicos.**
    - 7.2.1.5. Generación de residuos orgánicos.**
    - 7.2.1.6. Generación de residuos sólidos orgánicos a nivel mundial.**
    - 7.2.1.7. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.**
  - 7.3. La gestión integral de los residuos sólidos.**
    - 7.3.1.1. La gestión integrada de los residuos sólidos GIRS.**
    - 7.3.1.2. Gestión diferencial de residuos aprovechables y basura.**
    - 7.3.1.3. Composición de la basura.**
- 8. Marco conceptual.**
  - 8.1. Humedad.**
  - 8.2. Cenizas.**
  - 8.3. Incineración.**
  - 8.4. Perdida por calcinación**
  - 8.5. Poder calorífico.**

- 8.5.1.1. Poder calorífico de los residuos.
- 9. Metodología.
  - 9.1. Recolección de residuos sólidos orgánicos.
  - 9.2. Método del cuarteo.
    - 9.2.1.1. Procedimiento de laboratorio.
  - 9.3. Determinación del porcentaje de humedad (% H).
    - 9.3.1.1. Prueba de humedad.
    - 9.3.1.2. Procedimiento en el laboratorio.
    - 9.3.1.3. Calculo para la determinación del porcentaje de humedad.
  - 9.4. Determinación del porcentaje de cenizas (%C).
    - 9.4.1.1. Procedimiento de laboratorio.
    - 9.4.1.2. Calculo del porcentaje de cenizas.
  - 9.5. Reducción en volumen de los residuos después de la incineración.
    - 9.5.1.1. Procedimiento de laboratorio.
    - 9.5.1.2. Calculo para la determinación de la reducción en volúmenes de los residuos sólidos.
  - 9.6. Determinación del poder calorífico.
    - 9.6.1.1. Calculo para la determinación del poder calorífico.
  - 9.7. Tratamiento estadístico
    - 9.7.1.1. Promedio.
    - 9.7.1.2. Desviación estándar.
    - 9.7.1.3. Error relativo.
  - 9.8. Procedimiento de datos.
- 10. Resultados.
- 11. Conclusión.
- 12. Recomendaciones.
- 13. Fuentes de información.
  - 13.1. Trabajos citados.
  - 13.2. Páginas web.
- 14. Anexos.
  - 14.1. Fotografías de la investigación.

## 1 INTRODUCCION

Se debe tener en cuenta que los residuos sólidos siempre han existido en la Tierra desde que el hombre nace genera residuos, no obstante se genera un problema ambiental cuando se comienzan a acumular en la biósfera mediante la velocidad de generación o por la naturaleza química de los propios residuos, que combinado con la acción directa del hombre como generador, obstaculiza la descomposición e incorporación a los ciclos naturales sobre la Tierra.

Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (DOF, 2003).

Los residuos sólidos a lo largo de la historia han sido parte del ciclo de la naturaleza, ya sea de abono o de alimentos para ciertos animales, e incluso los arrojados a los ríos han sido depurados por las propias aguas, son los que se generan en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (p. e., de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques) o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole.

Los desechos orgánicos son biodegradables y pueden ser procesados en presencia de oxígeno para su compostaje, o en la ausencia de oxígeno mediante la digestión anaeróbica. Ambos métodos producen un efecto acondicionador de suelos, una especie de abono o fertilizante, que si se prepara correctamente también puede ser utilizado como una valiosa fuente de nutrientes en la agricultura urbana.

El único tratamiento que se les da a los residuos es su recolección y su posterior traslado a lugares de acopio en los cuales estos desechos son depositados sin ningún tratamiento previo, esperando que su descomposición sea realizada por microorganismos a lo largo del tiempo. Toda esta capacidad de regeneración natural se ha visto afectada con el paso del tiempo debido a la inadecuada utilización de las materias primas por parte del hombre (Acosta, 2005).

En materia de control de residuos domésticos, existe algún tipo de institucionalidad en los gobiernos locales, pero la fiscalización de las condiciones sanitarias y ambientales de los propios depósitos de residuos urbanos es insuficiente. Los principales actores de la política de residuos son el gobierno, los empresarios y la población, siendo esta última la más determinante ya que sus exigencias de mejor calidad a través de una educación informativa y participativa, apoya al Estado en el cumplimiento de las normas

ambientales y minimización de los residuos sólidos.

## **2 JUSTIFICACIÓN**

Los residuos sólidos se originan principalmente dentro de los hogares, en los comercios, y de forma secundaria en instituciones y centros industriales, es un problema que muchas ciudades y municipios de nuestro estado presentan, obteniendo como consecuencia hoy en día a un alto índice de desechos. Debido a que los residuos no solamente constituyen un problema ambiental. Sino que también son un recurso que no se puede dejar de aprovechar. El desafío del futuro consiste en una explotación aún más eficaz de recursos procedentes de los residuos y una reducción del impacto ambiental, lo que implica aumentar también la calidad del tratamiento de los residuos. Este problema es tan cotidiano que pasa desapercibido por nuestras autoridades, es necesario contar con estrategias adecuadas para la solución a este gran inconveniente ya que son muchos los factores que intervienen en la solución.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

Caracterización de residuos sólidos orgánicos en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

### **3.2 Objetivos específicos**

Investigación bibliográfica sobre las características de los residuos sólidos orgánicos y para su incineración.

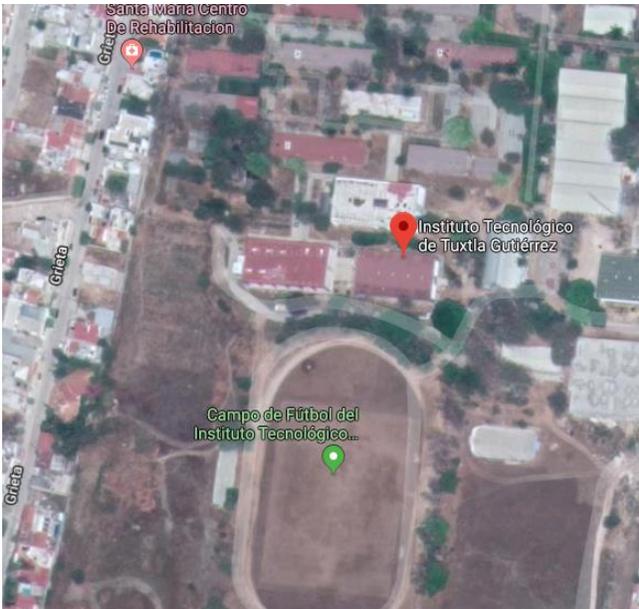
Pruebas de laboratorio a muestras de residuos sólidos orgánicos para su incineración.

Diseño de prototipo para la incineración de los residuos sólidos orgánicos.

## 4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE TRABAJO

### 4.1 Ubicación Geográfica

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez se localiza en el extremo sureste de la República Mexicana, en las coordenadas 16°43'38" y 16°46'43" de latitud norte y 93°03'58" y 93°11'47" de longitud oeste. La superficie representa el 0.51% del Estado de Chiapas (412.4 Km<sup>2</sup>) y tiene una altitud de 560 msnm.



### 4.2 Clima

En el municipio de Tuxtla Gutiérrez se registra un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, observándose en el centro del municipio menor humedad, según la estación meteorológica 07-095, localizada en la ciudad.

La temperatura media mensual máxima es de 27°C observada en el mes de mayo y la mínima es de 22.3°C, en el mes de diciembre; teniendo una temperatura promedio anual de 24.5°C.

La precipitación promedio mensual máxima es de 213.5 mm observada en el mes de junio y la mínima es de 0.3 mm en el mes de enero, teniendo una precipitación anual promedio de 897.6 mm.

Los vientos dominantes provienen del noroeste, teniendo una dirección sureste, con velocidades de 5 a 10 m/s.

### **4.3 Misión**

Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

### **4.4 Visión**

Ser una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

## 5 ANTECEDENTES

El hombre y los animales han usado los recursos de la tierra para sustentar la vida y disponer desechos desde tiempos ancestrales. En tiempos antiguos, la disposición de desechos humanos y de otra naturaleza no presentó un problema significativo, debido a que la población era pequeña y la cantidad de tierra disponible para la asimilación de desechos era grande. Hoy día hablamos de reusar el valor energético y fertilizante de los desechos sólidos, pero el agricultor de los tiempos antiguos probablemente hizo un intento más audaz de esto. Todavía se pueden ver indicaciones de reusó en las prácticas agrícolas primitivas, aún sensibles, en muchas naciones en desarrollo donde los granjeros recirculan desechos sólidos por su valor combustible o fertilizante.

Los problemas con la disposición de desechos sólidos pueden ser encontrados desde el tiempo en que los seres humanos empezaron a congregarse en tribus, poblaciones y comunidades y la acumulación de desechos se convirtió en una consecuencia de la vida. La dispersión de alimentos y otros desechos sólidos en ciudades medioevales la práctica de botar desechos en calles sin pavimentar, carreteras y terrenos desocupados condujo a procreación de ratas, con su compañía de pulgas acarreando gérmenes de enfermedades, y la erupción epidémica de la peste. La falta de planes para el manejo de los desechos sólidos condujo a la epidemia de peste, la Muerte Negra, que mató a la mitad de los europeos en el siglo catorce y ocasionó muchas epidemias subsiguientes y un elevado tributo de muertes. No fue hasta el siglo diez y nueve que las medidas de control de salud pública se convirtieron en una consideración vital de los funcionarios públicos, quienes empezaron a darse cuenta de que los desechos de alimentos se debían recolectar y disponer en forma sanitaria para controlar vectores de enfermedades.

### Primeras Prácticas de Disposición

Los métodos más comúnmente reconocidos para la disposición final de desechos sólidos a principios de siglo eran:

- 1) arrojar sobre el suelo
- 2) arrojar en el agua
- 3) enterrar con arado en el suelo
- 4) alimento para porcinos
- 5) reducción
- 6) incineración

No todos estos métodos eran aplicables a todos los tipos de desechos. Enterrar con arado en el suelo se usaba para desechos de alimentos y barrido de calles. Alimento para porcinos y la reducción se usaron específicamente para desechos de alimentos.

André & Cerdá (2004) en su artículo "Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas" dice que el ambiente tiene tres funciones económicas fundamentales: como proveedor de factores productivos en forma de materiales o de energía, como fuente de servicios de ocio y bienestar (mejorando la calidad de vida, permitiendo el disfrute de parajes naturales, agua y aire limpio, etc.) Y como sumidero de residuos generados por la actividad económica. En los años 70, la crisis del petróleo generó una preocupación asociada principalmente a la primera función. Mientras el descubrimiento de nuevos yacimientos de recursos y el avance tecnológico fue mitigando en parte esta preocupación, el aumento de la contaminación en sus diversas formas suscitó un nuevo motivo de interés asociado con la segunda y tercera funciones, ambas directamente relacionadas con la calidad ambiental y, por tanto, con la generación y emisión de residuos al medio natural.

Un residuo es algo que carece de valor de uso, y por tanto, de valor de cambio. Más aún, como los desperdicios resultan molestos y los seres humanos están dispuestos a pagar para liberarse de ellos, se puede decir que tienen un valor negativo. El volumen de RSU es relativamente pequeño comparado con otros residuos pero su interés puede explicarse por el gran aumento que han experimentado en los últimos años debido al incremento poblacional y los hábitos de consumo. Por otra parte, la concentración demográfica en los núcleos urbanos provoca la necesidad de adoptar métodos de gestión sostenibles, incluyendo como un aspecto esencial el debido tratamiento o eliminación de las basuras (André & Cerdá, 2004).

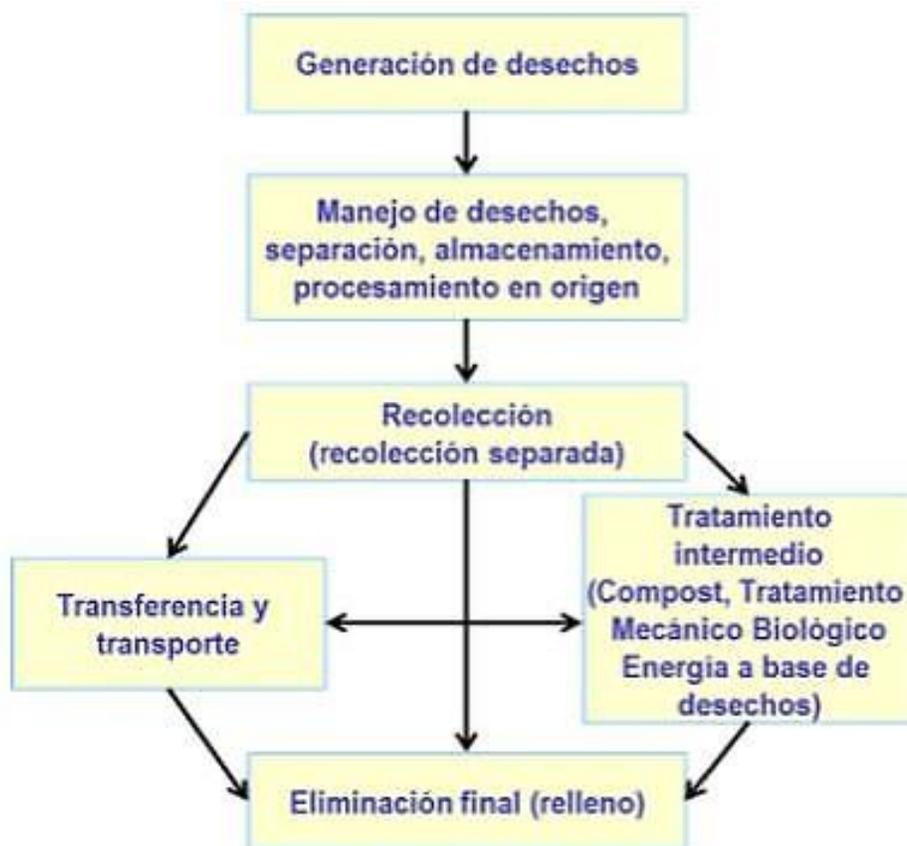
"Para describir las características de las diferentes clases de desechos, y dirigir la atención al hecho de que, se pudiera mantener un método uniforme de nomenclatura y registro de las cantidades manejadas por diferentes ciudades, entonces los datos obtenidos y la información así acumulada sería un avance material hacia la disposición sanitaria de los desechos. Tal uniformidad no acarrearía gastos sobre las ciudades, y se podrían hacer comparaciones y conclusiones correctas para el beneficio de otros.

Esta formulación de objetivos en sí misma no parece demasiado insólita, hasta que se reconoce que fue escrita en 1906 por H. de B. Parsons en su libro titulado "La Disposición de Desecho Municipal". Revisando este libro, que pudo ser el primero en tratar únicamente con el tema de los desechos sólidos desde el punto de vista riguroso de la ingeniería, notamos que muchos de los principios básicos y métodos que cubren lo que hoy día se conoce como el campo del manejo de los desechos sólidos, no son nuevos y eran bien conocidos aún entonces. Por ejemplo, aunque el automotor ha reemplazado a la carroza halada por un caballo, los métodos básicos de recolección de desechos sólidos continúan siendo los mismos; continúan siendo esencialmente intensivos en mano de obra. El desarrollo de datos uniformes para propósitos de comparación todavía continúa siendo una necesidad importante.

El problema de la gestión de los residuos sólidos provienen de la falta de reconocimiento hacia la naturaleza económica del problema, con el manejo de desechos sólidos en la sociedad de hoy día son complejos debido a la cantidad y naturaleza diferente de los desechos, el desarrollo irregular de grandes áreas urbanas, las limitaciones de recursos para servicios públicos en muchas ciudades grandes, los impactos de la tecnología, y las limitaciones emergentes de energía y materias primas. Como consecuencia, si el manejo de los desechos sólidos se va a realizar de una manera eficiente y ordenada, se deben identificar y comprender claramente los aspectos y relaciones fundamentales.

Un sistema de gestión de residuos adecuadamente planteado consiste en el conjunto de actividades relacionadas con la manipulación, el tratamiento, la eliminación o reciclaje de los materiales de desecho; por lo que parte de dichas actividades de gestión incluyen la recolección, transporte, tratamiento, reciclaje o eliminación, y la supervisión de los materiales de desecho. Sin embargo, un sistema típico de gestión de residuos comprende únicamente la recolección, transporte, pre- tratamiento, la transformación, y reducción final de residuos. Algunas de las fuentes más comunes de los residuos son: los residuos domésticos, residuos comerciales, cenizas, desechos animales, desechos biomédicos, desechos de construcción, residuos sólidos industriales, alcantarillado, residuos biodegradables, los residuos no biodegradables, y los desechos peligrosos (Demirbas, 2011).

### GENERACION DE DESECHOS



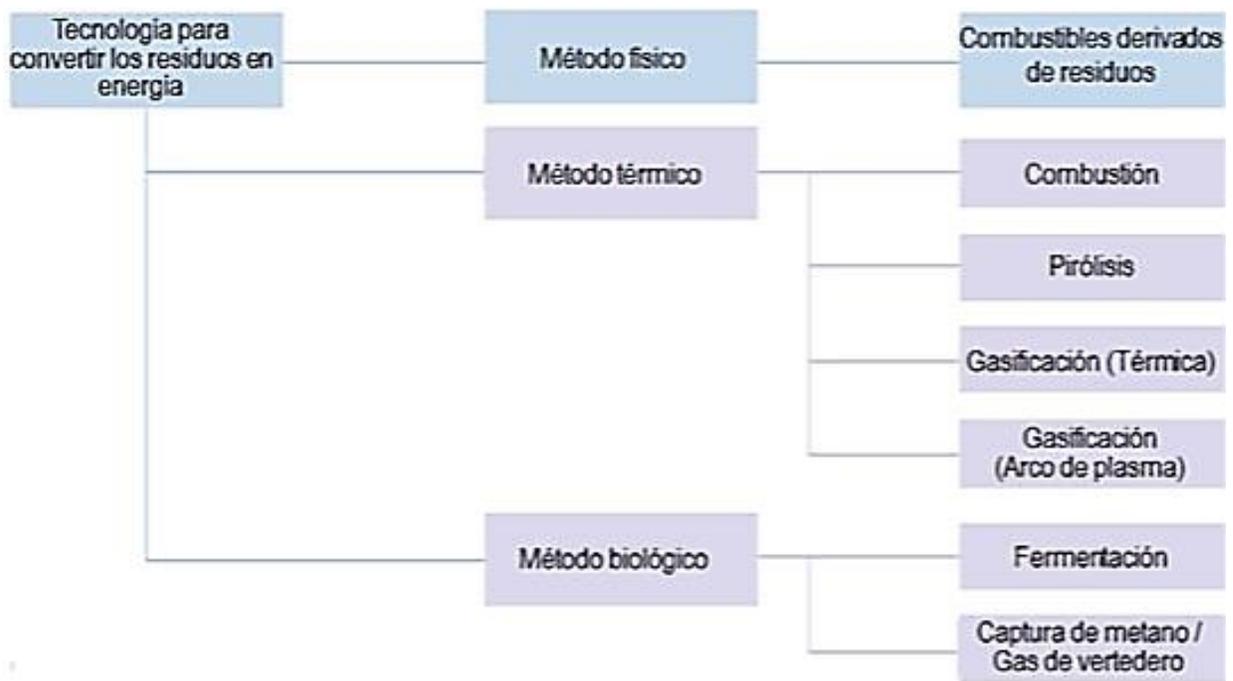
La importancia económica de la gestión de residuos se ha ido haciendo más y más patente en los últimos años y ello ha provocado una considerable expansión, por lo que diferentes países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo, han llevado a cabo proyectos que involucren el manejo y aprovechamiento de los RSU (Dong-Hoon, 2015)

Como por ejemplo en Indonesia, las frutas que antes se desperdiciaban ahora son transformadas en biogás para la producción de electricidad (Plogander, 2012). En la ciudad de Boras en Suecia, se dio un aprovechamiento intensivo de los residuos, el propósito de esto era el de conseguir un aprovechamiento de los recursos, además de contribuir con mejoras para la ciudad, ya que se eliminaría el hedor de la descomposición de los residuos y se reducirían las emisiones de gas con efecto invernadero. El modelo resultante reflejó grandes cambios con pocos recursos, y a su vez le dio a la ciudad no sólo un ambiente más limpio sino también mejores condiciones de vida para la ciudad. Cualquier cosa reciclable se reutiliza, y los residuos que deben quemarse se usan para calentar el agua que se distribuye en el sistema de caños bajo tierra que van a las casas y edificios de Boras. Por lo tanto, Boras se convirtió en una especie de autoridad internacional en el manejo de residuos, y su modelo se difunde en todo el mundo (Plogander, 2012).

El enfoque europeo al igual que algunos países como Japón, Estados Unidos y otros; es evitar la generación de desechos tanto como sea posible, recuperar las materias primas valiosas, generar energía mediante la incineración de los desechos residuales, y sólo entonces, deshacerse de lo que sobra de una manera ambientalmente amistosa (Bastiaenen, S/F)

El objetivo principal de la gestión de residuos mediante la incineración es prevenir cualquier impacto en la salud o el medio ambiente causado por partículas, gases y/o emisiones de soluto, como también la acumulación de desperdicios; lo cual además de causar un impacto paisajístico, lo hace también sobre la salud de la población y su calidad de vida (Sabbas *et al.*, 2003). La gestión de los residuos mediante tratamiento térmico es una parte integral de los sistemas de gestión de los mismos.

## TECNOLOGIAS PARA CONVERTIR RESIDUOS EN ENERGIA



La Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) considera a los residuos como una fuente de energía renovable, pero si a estos no se les da una gestión y uso secundario (como el aprovechamiento energético), serán enviados a rellenos sanitarios, desaprovechando su potencial. En la actualidad, los niveles de generación de residuos son tan altos que los sistemas de eliminación tradicionales no son suficientes, además que se desperdicia el valor intrínseco de estos materiales, por lo que se ha apostado por un aprovechamiento de los mismos, disminuyendo de esta manera la contaminación ambiental y explotación de los recursos naturales, así como los costos del manejo de los desechos (Ibáñez *et al.*, 2006).

Para seleccionar el sistema adecuado de disposición final hay que tener en cuenta las características de los residuos, el lugar en donde va a ser tratados, de la población y de las capacidades técnicas y económicas de la zona. Es por esto que de los distintos métodos de disposición final, el que parece ser el más adecuado a la realidad técnica y económica es el relleno sanitario, ya que no se necesita separación previa ni análisis de los RSU (Sakurai, 2000).

Cuando se trata de seleccionar otros sistemas tales como compostaje, incineración y pirólisis, es indispensable analizar debidamente las características

de los residuos a disponer, a fin de identificar la factibilidad técnica y económica de estos sistemas en el medio. 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 (Sakurai, 2000).

En el caso de América Latina y el Caribe, los gobiernos se encuentran frente a una problemática cada vez más grande sobre la gestión de los residuos y sus impactos, en un contexto de preocupación mundial por la sostenibilidad económica, ambiental y social de los servicios. Temas como la adecuada disposición final de residuos, la difícil y compleja realidad de los trabajadores informales de la basura, la minimización y el reciclado de los residuos, el cambio climático, los mercados de carbono y el rol de las entidades nacionales, regionales y municipales en la planificación y regulación de los servicios, se han convertido, en la actualidad, en los principales puntos de discusión de las agendas gubernamentales (Risso & Grimberg, 2005) Adicionalmente, según el Análisis Sectorial de Residuos Sólidos realizado por la Organización Panamericana de la Salud (2002), la falta de infraestructura y la carencia de servicios eficientes para el manejo de los residuos son el motivo primordial para que la contaminación por desechos sólidos sea considerada como un problema crítico.

Se estima que en México cada habitante genera 300 kilos de basura al año. Todos los días se producen grandes cantidades de desechos y se estima que en México al año se generan de 77 millones de toneladas, de los cuales solo el 11 por ciento se recicla, lo cual demuestra que aún hay mucho por hacer.

## **6 PROBLEMAS A RESOLVER**

Los residuos existen desde que nuestro planeta tiene seres vivos, hace unos 4.000 millones de años. Antiguamente, la eliminación de los residuos humanos no planteaba un problema significativo, ya que la población era pequeña y la cantidad de terreno disponible para la asimilación de los residuos era grande. Sin embargo, la problemática de los residuos comienza con el desarrollo de la sociedad moderna en la que vivimos, no sólo en el aspecto referido a la cantidad de residuos que ésta genera sino, y de manera importantísima, a la calidad de los mismos.

En el instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, la basura que se genera, día con día no tiene una disposición final adecuada dando un aumento mayor de desechos para el municipio, por lo tanto con los datos obtenidos de esta investigación serán utilizados para que se les dé un manejo útil a los residuos sólidos orgánicos en donde se puedan aprovechar y no generen más contaminación.

## **7 FUNDAMENTO TEORICO**

### **7.1 Residuos solidos**

Los residuos sólidos a lo largo de la historia han sido parte del ciclo de la naturaleza, ya sea de abono o de alimentos para ciertos animales, e incluso los arrojados a los ríos han sido depurados por las propias aguas. El único tratamiento que se les da a los residuos es su recolección y su posterior traslado a lugares de acopio en los cuales estos desechos son depositados sin ningún tratamiento previo, esperando que su descomposición sea realizada por microorganismos a lo largo del tiempo. Toda esta capacidad de regeneración natural se ha visto afectada con el paso del tiempo debido a la inadecuada utilización de las materias primas por parte del hombre.

Los residuos sólidos son aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente. Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales. En otras palabras, residuos sólidos son todas aquellas sustancias o productos que ya no necesitamos pero que algunas veces pueden ser aprovechados.

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.

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.

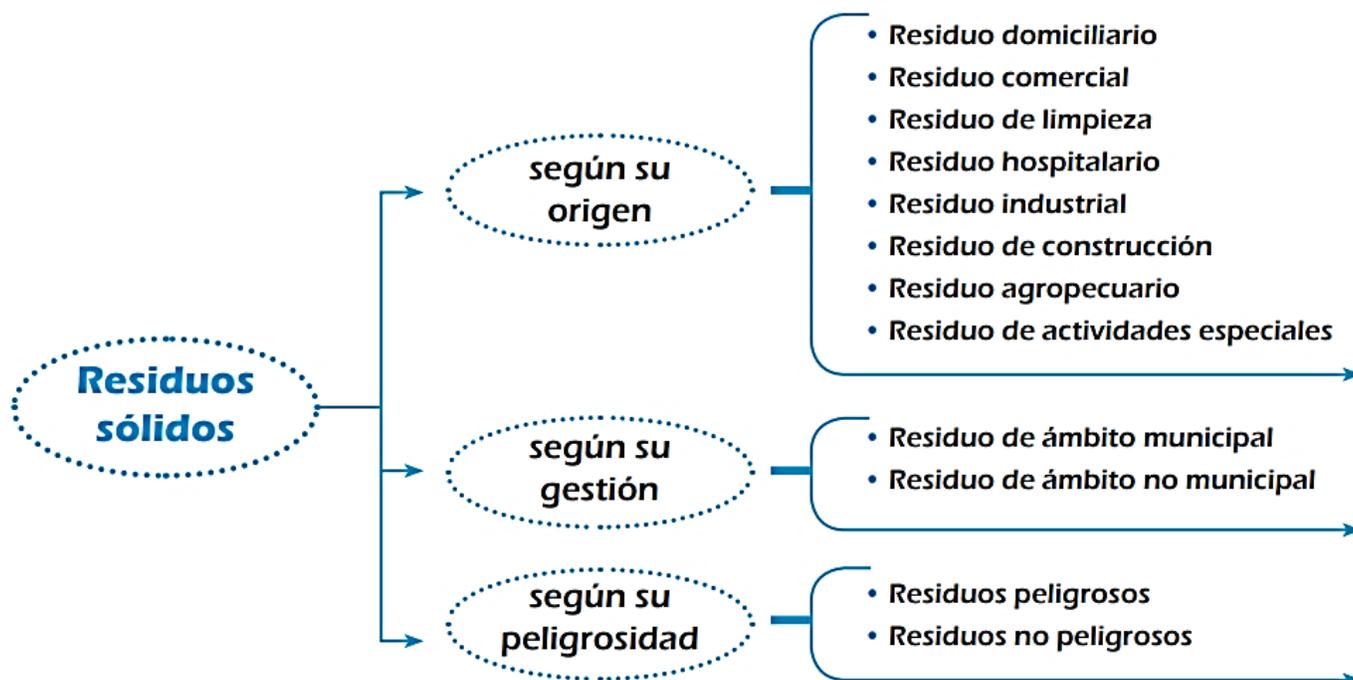
Estas variaciones influyen mucho en la búsqueda de la solución más apropiada a los problemas involucrados en las operaciones del servicio de aseo. Las operaciones básicas a las que es necesario dar solución son: el almacenamiento, la recolección y la disposición final.

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.

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

#### 7.1.1.1 Clasificación de los residuos sólidos (Según Ley n.º 27314: Ley general de residuos sólidos)



Fuente: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. (2009). *Manual de residuos sólidos*.

### 7.1.1.2 Residuos sólidos según su origen

TIPO DE RESIDUO SÓLIDO	GENERADOS POR...	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
1. Residuo domiciliario	Actividades domésticas realizadas en los domicilios.	Restos de alimentos, revistas, botellas, latas, etc.	
2. Residuo comercial	Establecimientos comerciales de bienes y servicios.	Papeles, plásticos, embalajes diversos, residuos producto del aseo personal, latas, etc.	
3. Residuo de limpieza de espacios públicos	Servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas y otras áreas públicas.	Papeles, plásticos, envolturas, restos de plantas, etc.	
4. Residuo de establecimiento de atención de salud	Procesos y actividades para la atención e investigación médica en establecimientos como: hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos, consultorios, entre otros afines.	Agujas, gasas, algodones, órganos patológicos, etc.	
5. Residuo industrial	Actividades de las diversas ramas industriales, como manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares.	Lodos, cenizas, escorias metálicas, vidrios, plásticos, papeles, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias peligrosas.	
6. Residuo de las actividades de construcción	Actividades de construcción y demolición de obras. Fundamentalmente inertes.	Piedras, bloques de cemento, maderas, entre otros, (desmote).	
7. Residuo agropecuario	Actividades agrícolas y pecuarias.	Envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos, etc.	
8. Residuo de instalaciones o actividades especiales	Generados en infraestructuras, normalmente de gran dimensión y de riesgo en su operación, con el objeto de prestar ciertos servicios públicos o privados.	Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales, puertos, aeropuertos, entre otros.	

### **7.1.1.3 Residuos sólidos según su gestión**

Residuos de gestión municipal (a cargo de las municipalidades provinciales y distritales).

Son de origen doméstico (restos de alimentos, papel, botellas, latas, pañales descartables, entre otros); comercial (papel, embalajes, restos del aseo personal, y similares); aseo urbano (barrido de calles y vías, maleza, entre otros), y de productos provenientes de actividades que generen residuos similares a estos, los cuales deben ser dispuestos en rellenos sanitarios. Que son residuos domiciliarios, residuos comerciales, residuos de limpieza de áreas públicas.

Residuos de gestión no municipal

Son aquellos que, debido a sus características o al manejo al que deben ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente. Por ejemplo, los residuos metálicos que contengan plomo o mercurio, los residuos de plaguicidas, los herbicidas, entre otros. Todos ellos deben ser dispuestos en los rellenos de seguridad. Los cuales son residuos de establecimientos de salud, residuos industriales, residuos de actividades de la construcción, residuos agropecuarios, residuos de instalaciones o actividades especiales.<sup>3</sup>

### **7.1.1.4 Residuos sólidos según su peligrosidad**

Residuos sólidos peligrosos

Son residuos sólidos peligrosos aquellos que por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente.

Residuos sólidos no peligrosos

Los residuos sólidos no peligrosos son aquellos producidos por las personas en cualquier lugar y desarrollo de su actividad, que no presentan riesgo para la salud y el ambiente.

## **7.2 Los residuos sólidos orgánicos**

Son aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Constituyen poco más del 38% del total de residuos sólidos urbanos que generamos en el país. Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, fruta y verduras, carne, huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y papel. Se exceptúa de estas propiedades

al plástico, porque a pesar de tener su origen en un compuesto orgánico, posee una estructura molecular más complicada.

Existen dos fuentes sobre el término “Desechos orgánicos”. En primer lugar, el término generalmente no incluye el plástico o el caucho, aunque pertenezcan al mundo de los químicos orgánicos, nos referimos a los polímeros orgánicos.

En segundo lugar, que sea un desecho que se pueda pudrir. Que en el caso de los alimentos no existe ninguna duda, tienden a degradarse muy rápidamente mientras que algunos otros desechos orgánicos, como por ejemplo el papel, tienden a requerir largos tiempos o condiciones especiales a la biodegradación.

El volumen de residuos y desechos de origen vegetal suponen el 25% de estos residuos, como por ejemplo los desechos verdes (o de jardín). Lodos (20%), residuos de alimentos (18%) y papel y cartón (15%), la transformación de la madera forma otro 18% de los residuos orgánicos. Además de ser un recurso valioso para los suelos pobres en nutrientes, este material genera los más importantes niveles de contaminación cuando se depositan en vertederos. Algunas formas de desechos orgánicos pueden causar problemas de salud pública, tales como enfermedades, malos olores y las plagas.

### **7.2.1.1 Clasificación de los residuos sólidos orgánicos**

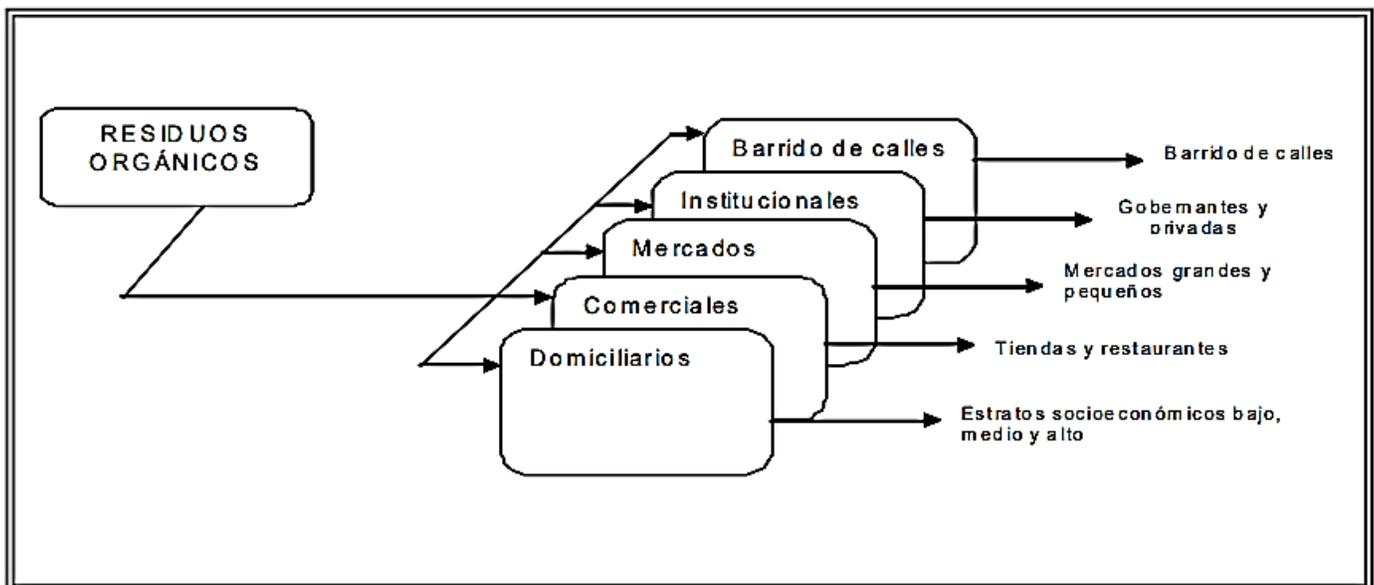
Cómo se clasifican: Existen muchas formas de clasificación de los residuos sólidos orgánicos, sin embargo, las dos más conocidas están relacionadas con su fuente de generación y con su naturaleza y/o características físicas.

Según su fuente de generación: los residuos sólidos orgánicos según su fuente se clasifican en:

- Residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles: consideramos dentro de esta fuente a los residuos almacenados también en las papeleras públicas; su contenido es muy variado, pueden encontrarse desde restos de frutas hasta papeles y plásticos. En este caso, sus posibilidades de aprovechamiento son un poco más limitadas, por la dificultad que representa llevar adelante el proceso de separación física.
- Residuos sólidos orgánicos institucionales: residuos provenientes de instituciones públicas (gubernamentales) y privadas. Se caracteriza mayormente por contener papeles y cartones y también residuos de alimentos provenientes de los comedores institucionales.

- Residuos sólidos de mercados: son aquellos residuos provenientes de mercados de abastos y otros centros de venta de productos alimenticios. Es una buena fuente para el aprovechamiento de orgánicos y en especial para la elaboración de compost y fertilizante orgánico.
- Residuos sólidos orgánicos de origen comercial: son residuos provenientes de los establecimientos comerciales, entre los que se incluyen tiendas y restaurantes. Estos últimos son la fuente con mayor generación de residuos orgánicos debido al tipo de servicio que ofrecen como es la venta de comidas. Requieren de un trato especial por ser fuente aprovechable para la alimentación de ganado porcino (previo tratamiento).
- Residuos sólidos orgánicos domiciliarios: son residuos provenientes de hogares, cuya característica puede ser variada, pero que mayormente contienen restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados, podas de jardín y papeles. Representa un gran potencial para su aprovechamiento en los departamentos del país.

### 7.2.1.2 Clasificación de los residuos orgánicos municipales según su fuente



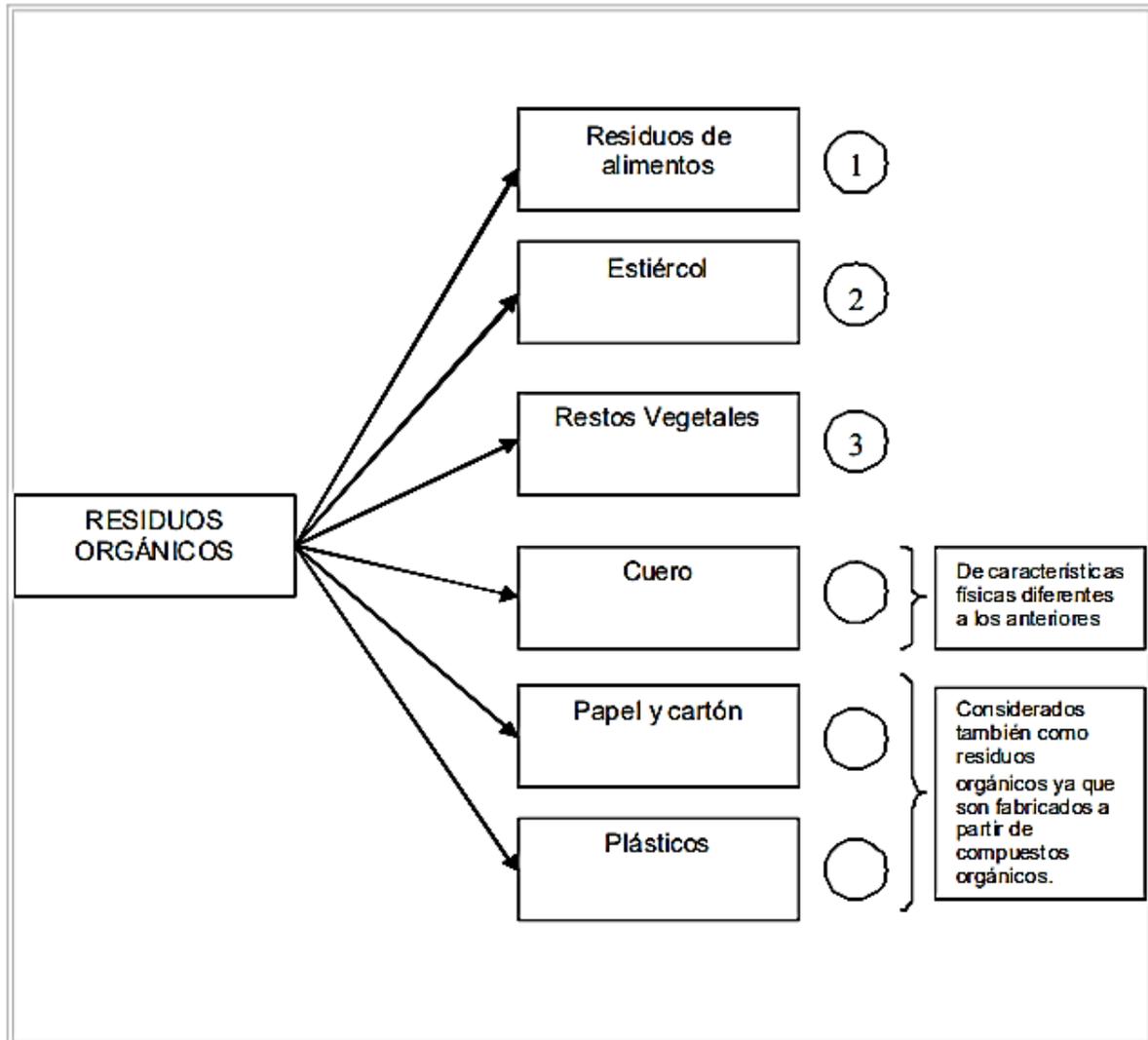
Fuente: DANTE, Flores: Guía No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito, Guía No. 2 (Marzo. 2001); p.10.

Clasificación de los Residuos Orgánicos Municipales según su fuente. Muestra una primera clasificación de los residuos orgánicos de acuerdo a su fuente de generación, es muy utilizada para identificar las fuentes potenciales de materia orgánica para su aprovechamiento. Como ejemplo, una de las fuentes para la elaboración del abono orgánico, lo constituyen los residuos de mercado igualmente que los domiciliarios que en la mayoría de casos representan más del 50% de los residuos totales generados.

Según su naturaleza y/o característica física: Los residuos sólidos orgánicos según su naturaleza y/o característica fuente se clasifican en:

- Residuos de alimentos: son restos de alimentos que provienen de diversas fuentes, entre ellas: restaurantes, comedores, hogares y otros establecimientos de expendio de alimentos.
- Estiércol: son residuos fecales de animales (ganado) que se aprovechan para su transformación en bio-abono o para la generación de biogás.
- Restos vegetales: son residuos provenientes de podas o deshierbe de jardines, parques u otras áreas verdes; también se consideran algunos residuos de cocina que no han sido sometidos a procesos de cocción como legumbres, cáscara de frutas, etc.
- Papel y cartón: son residuos con un gran potencial para su reciclaje pero que no materia de desarrollo en éste trabajo.
- Cuero: son residuos mayormente derivados de artículos de cuero en desuso.
- Plásticos: son considerados como residuos de origen orgánico ya que se fabrican a partir de compuestos orgánicos como el etanol (componente del gas natural), también son fabricados utilizando algunos derivados del petróleo. Sin embargo, para efectos de éste trabajo, no serán objeto de estudio.

### 7.2.1.3 Clasificación generalizada de los residuos sólidos orgánicos



Fuente: DANTE, Flores: Guía No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito, Guía No. 2 (Marzo. 2001); p.11.

Clasificación generalizada de los residuos sólidos orgánicos: muestra una clasificación generalizada de los residuos sólidos orgánicos, según su naturaleza y/o característica física. Se considera dentro de la clasificación también al cuero (4), papel, cartón (5) y plásticos (6), sin embargo éstos no serán materia de tratamiento en este documento de trabajo, debido a que su reaprovechamiento y reciclaje, pasa por un sistema más complejo y costoso.

#### 7.2.1.4 Propiedades biológicas de los residuos sólidos orgánicos

Excluyendo el plástico, la goma y el cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los residuos se puede clasificar de la forma siguiente:

- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos.
- Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.
- Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- Lignina, un material polímero presente en algunos productos de papel como periódicos.
- Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
- Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos.

#### **7.2.1.5 Generación de residuos orgánicos**

La mayoría de las sociedades modernas está logrando su desarrollo sin controlar adecuadamente todas las presiones ambientales generadas sobre su entorno. Este desarrollo se ha forjado mediante procesos y actividades que llevan implícitos la producción de una gran cantidad de residuos, los cuales en su mayoría son orgánicos.

Las pautas de consumo y la actividad económica están dando lugar al aumento de la generación de residuos y de los problemas derivados de su inadecuada gestión, sin que se produzca el desacoplamiento entre crecimiento económico y producción de los mismos.

El ministerio del Medio Ambiente<sup>6</sup>, enuncia en la Política para la Gestión de residuos que desde el punto de vista ambiental, que este problema está relacionado también con:

- Falta de conciencia ciudadana sobre la relación entre los residuos, el ambiente, la economía familiar y nacional.
- Ausencia de un marco de apoyo a la introducción de tecnologías limpias.
- Ausencia del establecimiento de responsabilidad de los sectores productivos en la generación, manejo y disposición de residuos postconsumo o los residuos de comida).

A continuación se mostrará los porcentajes de residuos orgánicos generados a partir del peso total de los mismos, a nivel mundial, departamental y local.

### 7.2.1.6 Generación de residuos sólidos orgánicos a nivel mundial

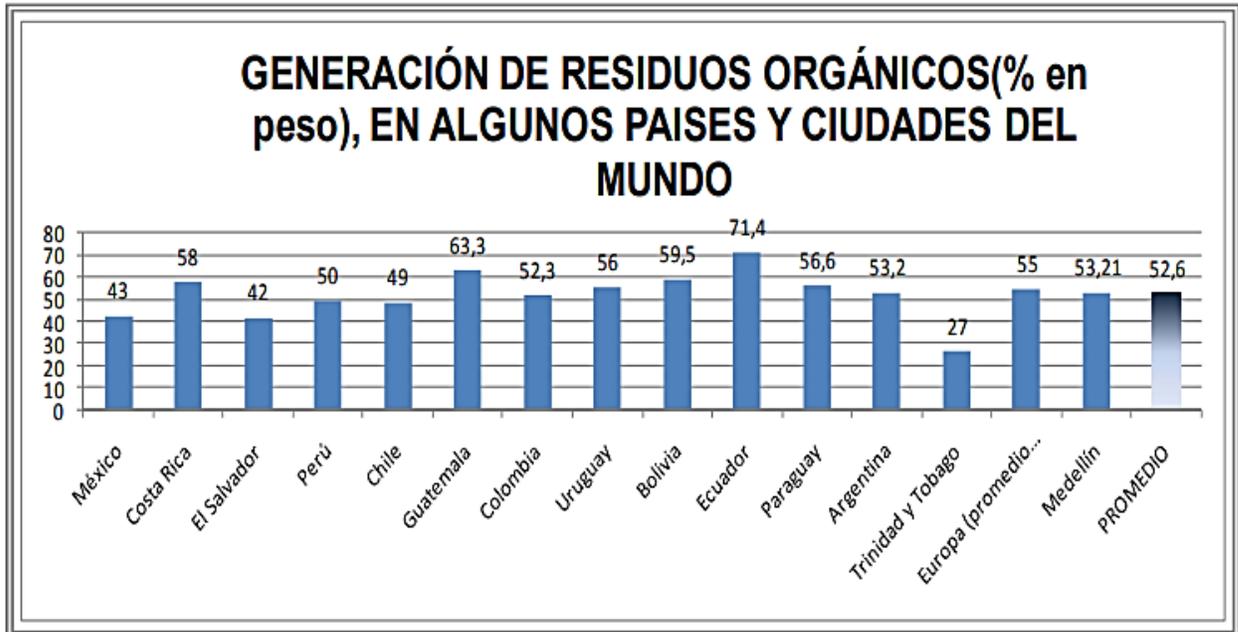
DANTE enuncia que en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado, como se muestra en la tabla. Composición de los residuos sólidos municipales en diversos países de América Latina (porcentaje en peso). De los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento; el resto es confinado en vertederos o rellenos sanitarios; otro porcentaje es dispuesto inadecuadamente en botaderos o es destinado a la alimentación de cerdos, sin un debido control y procesamiento sanitario.

PAÍS	% de MATERIA ORGÁNICA
México	43
Costa Rica	58
El Salvador	42
Perú	50
Chile	49
Guatemala	63,3
Colombia	52,3
Uruguay	56
Bolivia	59,5
Ecuador	71,4
Paraguay	56,6
Argentina	53,2
Trinidad y Tobago	27

Fuente: Diagnóstico de la situación del manejo de los Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe. BID, OPS/OMS, 1997.

Otros estudios, indican que la proporción de generación de residuos orgánicos alcanza valores alrededor del 76%, como es el caso de la ciudad de Ibadán (Nigeria); en una medida similar, tenemos a Asunción (Paraguay) con el 60,8% de generación de orgánicos.

Grafica. Relación de porcentaje en peso de generación de residuos sólidos en algunos países y ciudades del mundo.



Muestra que el porcentaje promedio de generación de residuos sólidos orgánicos urbanos es de 52% en la mayoría de lugares del mundo.

### 7.2.1.7 Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

De acuerdo a la Política para la Gestión de Residuos<sup>12</sup>, el aprovechamiento se entiende como el conjunto de fases sucesivas de un proceso, cuando la materia inicial es un residuo, entendiéndose que el procesamiento tiene el objetivo económico de valorizar el residuo u obtener un producto o subproducto utilizable.

Aprovechables son aquellos que pueden ser reutilizados o transformados en otro producto, reincorporándose al ciclo económico y con valor comercial.

La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las basuras, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente.

El aprovechamiento debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente.

De modo tal, que las normas y acciones orientadas hacia los residuos aprovechables deben tener en cuenta lo siguiente: • Se trata de materia prima con valor comercial, en consecuencia sujeta a las leyes del mercado y consideradas como insumo.

- Su destino es el aprovechamiento ya sea de manera directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de bioabono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros.
- La definición de residuo aprovechable se deberá hacer por las autoridades ambientales y municipales en sus respectivos Planes de Gestión de Residuos Sólidos, que deberán formular.
- La calificación de residuo aprovechable debe darse teniendo en cuenta que exista un mercado para el residuo, en el cual están comprometidos los generadores de las materias primas y de los productos finales.
- Deben ser objeto del establecimiento de incentivos de toda índole, en especial económicos y tributarios. Teniendo en cuenta que el análisis del impacto de un producto o proceso debe ser integral, los incentivos que se otorguen deben considerar el proceso productivo en su integridad, de modo que no se distorsionen los objetivos de la gestión ambiental que consisten no sólo el disminuir un impacto ambiental específico - postconsumo -, sino todo los que se genera durante el proceso productivo.
- La población que actualmente está realizando las actividades de recuperación debe tener reconocimiento y espacio para su trabajo.

### **7.3 La gestión integral de los residuos sólidos**

Adicionalmente a los principios de la política Nacional Ambiental y la Política de Producción limpia, la Política para la Gestión de Residuos<sup>49</sup> establece de forma específica lo siguiente:

#### **7.3.1.1 La gestión Integrada de los residuos sólidos, GIRS**

El diseño de la política ambiental, contempla la implantación de la gestión integrada de residuos sólidos -GIRS- , ya sean no peligrosos o peligrosos, como termino aplicado a todas las actividades asociadas en el manejo de los diversos flujos de residuos dentro de la sociedad y su meta es administrarlos de una forma compatible con el medio ambiente y la salud pública.

La GIRS contempla las siguientes etapas jerárquicamente definidas: reducción en el origen; aprovechamiento y valorización; tratamiento y transformación; disposición final controlada.

Reducción en el origen: La reducción en el origen está en el primer lugar en la jerarquía porque es la forma más eficaz de reducir la cantidad y toxicidad de residuos, el costo asociado a su manipulación y los impactos ambientales.

Aprovechamiento y valorización: El aprovechamiento implica la separación y recogida de materiales residuales en el lugar de su origen; la preparación de estos materiales para la reutilización, el reprocesamiento, la transformación en nuevos productos, y la recuperación de productos de conversión (por ejemplo, compost) y energía en forma de calor y biogás combustible.

El aprovechamiento es un factor importante para ayudar a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir la contaminación ambiental. Además, el aprovechamiento tiene un potencial económico, ya que los materiales recuperados son materias primas que pueden ser comercializadas.

En consecuencia la primera acción sobre los residuos generados es valorarlos y aprovecharlos.

Tratamiento y transformación: La transformación de residuos implica la alteración física, química o biológica de los residuos. Típicamente, las transformaciones físicas, químicas y biológicas que pueden ser aplicadas a los residuos sólidos urbanos son utilizadas para mejorar la eficacia de las operaciones y sistemas de gestión de residuos.

Para los residuos que no puedan ser aprovechados, se utilizarán sistemas de tratamiento para disminuir su peligrosidad y/o cantidad.

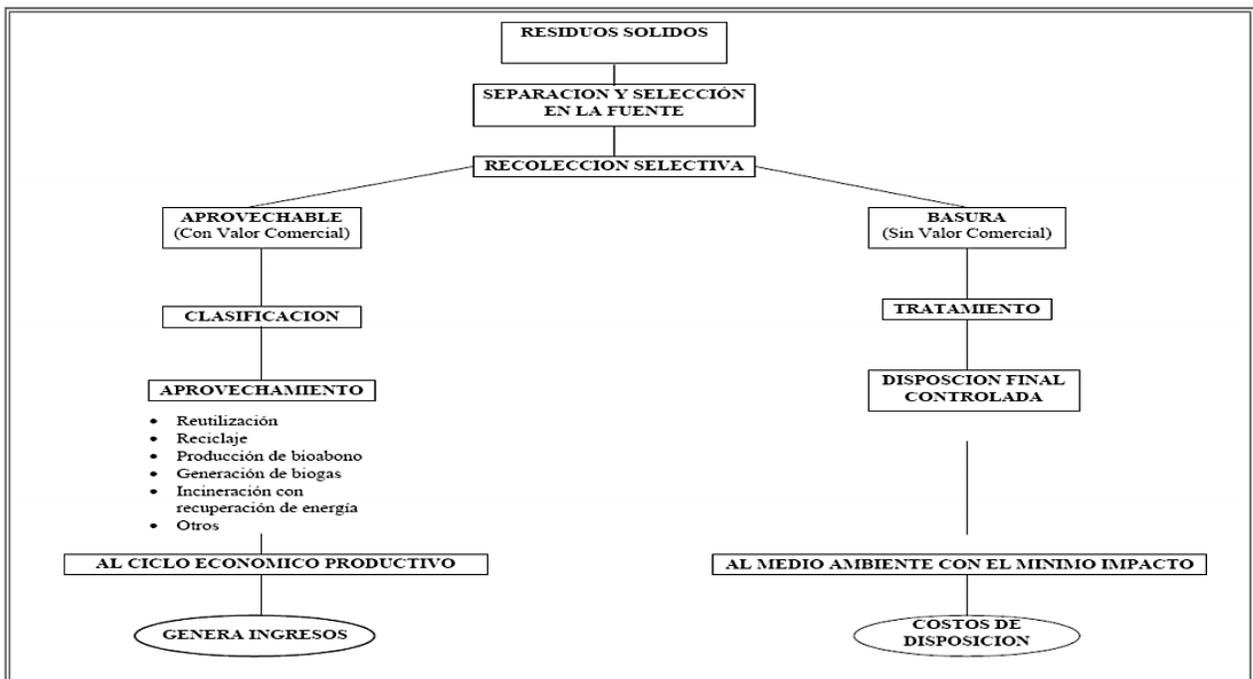
La disposición final controlada: Por último, hay que hacer algo con los residuos que y no tienen ningún uso adicional, la materia residual que queda después de la separación de residuos sólidos en las actividades de recuperación de materiales y la materia residual restante después de la recuperación de productos de conversión o energía; para lo cual se debe garantizar una disposición final controlada, además se debe poseer una capacidad adecuada en los sitios de disposición final y planes para la clausura.

### **7.3.1.2 Gestión diferencial de residuos aprovechables y basuras.**

Para lograr maximizar el aprovechamiento de los residuos generados, es fundamental partir de la separación en el origen y dar un manejo diferente a los conceptos de residuos sólidos aprovechables frente al de basuras.

Los residuos sólidos comprenden los domésticos, comerciales e institucionales, las basuras de la calle, los escombros de la construcción, los residuos generados en las diferentes actividades productivas de bienes y servicios, que a nivel macro comprende los sectores industrial, agropecuario, de servicios y mineros.

Tales residuos sólidos pueden ser a su vez aprovechables o basuras como se muestra en la figura, considerando las diferencias que existen tanto en las características, como en las condiciones de manejo, los residuos aprovechables y las basuras tendrán cada uno un esquema distinto de gestión, de tal forma que se aumente la cantidad de residuos aprovechables y se disminuya la cantidad de basuras.



FUENTE: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Política para la Gestión de Residuos. Santa Fe de Bogotá. 1997: p.15

### 7.3.1.3 Composición de la basura

Para considerar a la basura como una fuente de energía, se deben tomar en cuenta dos aspectos básicos: la cantidad que se genera y su contenido energético.

La composición promedio de la basura por región en nuestro país. El contenido de materia orgánica es del 43%, en tanto que la suma de los porcentajes de papel, cartón, textiles y plásticos da un valor del 30%.

<b>Subproducto</b>	<b>Frontera norte</b>	<b>Norte</b>	<b>Centro</b>	<b>Sur</b>	<b>D.F.</b>
Papel y cartón	16%	15%	16%	14%	20%
Textiles	2%	2%	1%	2%	1%
Plásticos	8%	8%	4%	3%	11%
Vidrios	7%	6%	9%	4%	11%
Metales ferrosos	2%	2%	1%	1%	2%
No ferrosos y aluminio	3%	2%	3%	5%	2%
Orgánicos	43%	42%	46%	44%	40%
Otros	19%	23%	20%	27%	13%

## 8. MARCO CONCEPTUAL

### 8.1 Humedad

Coral (2015), en su documento de “Residuos sólidos y residuos tóxicos y peligrosos” cita al Manual para la gestión de Residuos Urbanos en el cual dice que la humedad es el contenido de agua que posee un residuo. Los RSU contienen un porcentaje considerable de agua, que varía de acuerdo a la composición del residuo, el lugar geográfico donde se genera, y la estación del año. Los RSU contienen entre un 25 y un 60 % de humedad. Este contenido de agua influye directamente sobre el poder calorífico de los residuos y proviene principalmente de la materia orgánica. Los valores de humedad típica para los residuos son los siguientes:

Porcentaje de humedad de los residuos

<i>RESIDUO</i>	<i>% Humedad</i>
Materia Orgánica	70
Papel	6
Cartón	5
Plásticos	2
Textiles	10
Madera	24
Vidrio	2

**Fuente:** Coral, 2015. Obtenido del manual para la gestión de Residuos Urbanos

Al momento de realizar tratamientos térmicos para el manejo de residuos sólidos, es importante tener en cuenta el porcentaje de humedad contenida en los mismos, ya que la misma se presenta en distintos tipos, los cuales son: (Arrechea *et al.*, 2009)

- Humedad del residuo sólido o humedad superficial: es aquella en la cual se contempla el agua intrínseca de los residuos como la humedad que se ha absorbido de la atmósfera o de la lluvia cuando los contenedores de almacenamiento no están completamente cerrados o porque los residuos se encuentran a la intemperie.
- Humedad del material de cobertura o molecular, contempla la cantidad de agua que entra con estos materiales, la cual dependerá del tipo, del origen y la estación del año del lugar de estudio en cuestión.

Hay que tomar en cuenta que la humedad contenida es fundamental al

momento de querer enfocarse en tratamientos para su gestión, ya que puede llegar a constituir una problemática en cuanto al manejo inadecuado de los mismos, debido a que está relacionada con la contaminación tanto atmosférica como del suelo, y las aguas superficiales y subterráneas.

## **8.2 Cenizas**

Como explica García-Valcarce, (1998), las cenizas son los residuos sólidos muy finos que proceden de la combustión. Estos se presentan bajo la forma de un polvo fino de color gris, suave y susceptible de ser arrastradas por la acción del viento. La ceniza residual es un producto de la incineración de los residuos sólidos. La porción inorgánica no combustible de los residuos sólidos (como latas, frascos, polvo, etc.) y la materia orgánica no combustible (hollín) son los constituyentes de la ceniza.

Según el Manual de Gestión Integral (CEMPRE, 2012), durante la incineración se generan dos tipos de ceniza: la ceniza de fondo y la ceniza suspendida en el gas de combustión. La ceniza de fondo está compuesta por el material no combustible que pasa por la cámara de combustión. Esta ceniza constituye del 75 al 90% de toda la ceniza generada, según la tecnología que se emplee. La ceniza suspendida en el gas de combustión es un material más ligero recolectado por el equipo de control de contaminación.

Las cenizas generadas de los residuos sólidos municipales tienen una alta presencia de metales pesados especialmente de plomo y cadmio, que proceden de elementos como baterías de plomo-ácido, equipos electrónicos y algunos plásticos. Debido a los efectos potencialmente perjudiciales del desecho de ceniza, es necesario evaluarla en los estadios iniciales del proyecto. La lixiviación en los rellenos es la preocupación principal, ya que los metales solubles pueden contaminar el nivel freático. Las dioxinas asociadas con la ceniza suspendida en el gas de combustión, se pueden controlar bastante a través de buenas prácticas de combustión. (CEMPRE, 2012).

## **8.3 Incineración**

El proceso de incineración consiste en un proceso de combustión controlado, que convierte la fracción orgánica de los Residuos sólidos en materiales inertes y gases. Se trata de una opción a considerar para residuos inevitables, no

reutilizables ni reciclables. La incineración es un procedimiento válido para la eliminación de residuos cuando éstos son combustibles; puede aplicarse a suelos contaminados, desechos sólidos, líquidos o gaseosos (Coral, 2015)

Coral (2015) explica que la destrucción térmica de los residuos implica la exposición controlada de los mismos a elevadas temperaturas, normalmente de 900 a 1200 °C o incluso más, y en medio oxidante. La incineración se utiliza tanto en la eliminación de residuos tóxicos y peligrosos como también en la eliminación de residuos urbanos, permitiendo una gran eficacia en cuanto a su reducción. Su grave inconveniente es la contaminación del aire.

Incinerar los residuos sólidos tiene varias ventajas: mata organismos transmisores de enfermedades, reduce entre un 60 – 70 % del peso y entre un 80 – 90 % el volumen de los desechos que van a los rellenos o terraplenados, reduce la necesidad de espacios de relleno y no exige cambios en los hábitos de desecho de los consumidores, fabricantes o transportistas de basura. Sin embargo, en vez de reducir la cantidad total de desperdicios, deja pasar algo de ellos a la atmósfera como contaminantes gaseosos (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>), y produce cenizas tóxicas, volantes y depositantes, que se deben alojar en rellenos o terraplenados. Aunque la cantidad del material a enterrar disminuye, aumenta su toxicidad. (Coral, 2015)

Garrigues (2003) en el Manual para la Gestión de los Residuos dice que existen tres tipos de residuo que se podrían utilizar en este proceso:

- El primero es el residuo en bruto, que son los residuos que se recogen en masa sin separación de la fracción orgánica.
- El segundo es el uso de los residuos derivados de rechazo, que son residuos que han sido clasificados, separando los componentes reciclables por un lado y, por otro, la fracción orgánica, para fines tales como el compostaje.
- El tercero son restos no orgánicos separados en la fuente previo a su tratamiento en una planta incineradora.

#### **8.4 Pérdida por calcinación**

La pérdida por calcinación es uno de los parámetros analíticos que se utiliza en las rocas, sin embargo también es aplicada en diversos cálculos que tienen enfoques en la determinación de material orgánico e inorgánico incinerable a una cierta temperatura. Este valor se obtiene calcinando la muestra y midiendo la diferencia de peso entre la muestra sin calcinar y la calcinada siendo expresada en forma porcentual. Dicho valor refleja el contenido de la muestra en

componentes volátiles, como agua, carbonatos (que se descomponen liberando CO<sub>2</sub>), sulfatos y sulfuros (que se descomponen liberando SO<sub>2</sub>), etc. (UCLM, S/F).

### 8.5 Poder calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

El poder calorífico expresa la energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible.

Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

La mayoría de los combustibles son compuestos de carbono e hidrógeno, que al arder se combinan con el oxígeno formando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O).

Por ejemplo, en el caso del Metano (CH<sub>4</sub>) se tendría la siguiente reacción de oxidación para generar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O), además del calor que se desprende:



Las unidades más usuales para medir el poder calorífico, es decir, el calor generado en la reacción son:

kcal/kg ; kcal/m<sup>3</sup> ; BTU/lb ; BTU/pie<sup>3</sup>

El poder calorífico siempre se mide por unidad de masa o unidad de volumen de combustible que se ha oxidado (quemado).

El vapor de agua (H<sub>2</sub>O) que se genera en una reacción de oxidación (o combustión) es debida, bien por la combustión del hidrógeno presente en la composición del combustible, o bien, procedente de la misma humedad adherida al propio combustible.

Por otro lado, se denomina calor de cambio de estado a la energía requerida por una sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). El agua, en concreto, tiene un calor de vaporización y de fusión altos ya que, para romper los puentes de hidrógeno que enlazan las moléculas de agua, es necesario suministrar mucha energía.

Pues bien, la presencia de agua en los gases resultantes de la combustión va a condicionar que se pueda definir dos tipos de Poder calorífico: Poder Calorífico Superior y Poder Calorífico Inferior.

#### **8.5.1.1 Poder calorífico de los residuos.**

La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Es necesario diferenciar en un combustible el poder calorífico inferior (pci) y el poder calorífico superior (pcs). La diferencia entre ambos radica básicamente en la energía asociada a la condensación del vapor de agua contenido en los gases de la combustión.

**Poder calorífico superior (PCS):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.

**Poder calorífico inferior (PCI):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.

Dado que por condiciones medioambientales no se puede alcanzar una temperatura de los gases de 0 °C, donde se aprovecharía el calor de cambio de estado del agua (597 kcal / kg vapor de agua condensador), el pci tiene un significado mayor para el cálculo del potencial energético de los residuos.

Existen dos formas para el cálculo del pci: el método analítico y el método práctico. El analítico consiste en sumar los poderes calóricos de los elementos principales que forman la muestra de basura, ponderados por su fracción en peso, descontando de la cantidad de hidrógeno total la que se encuentra ya combinada con el oxígeno. Para ello se utilizan los datos provistos por el análisis último.

El método práctico consiste en calcular el pci a partir del valor del pcs hallado

mediante el ensayo de poder calórico. Para poder hallar el pci basta con restarle el calor de cambio de estado del agua. Para ello se precisa conocer la cantidad de H del combustible (se obtiene del análisis último) y la humedad (análisis próximo).

La relación entre los poderes caloríficos superior e inferior viene dada por la siguiente expresión:

$$PCS = PCI + 597 \cdot G$$

Donde:

PCS: es el Poder Calorífico Superior ( kcal/kg de combustible)

PCI: es el Poder Calorífico Inferior ( kcal/kg de combustible)

597: es el calor de condensación del agua a 0 °C ( kcal/kg de agua)

G: es el porcentaje de peso del agua formada por la combustión del hidrógeno presente en la composición del combustible, o de la propia humedad del combustible ( kg de agua / kg de combustible).

$$\text{Siendo } G = 9 \cdot H + H_2O$$

Donde:

9: son los kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno

H: es el peso de hidrógeno contenido por kg de combustible

H<sub>2</sub>O: es el peso de agua debido a la humedad presente en el combustible, por

**Poderes caloríficos de los principales residuos**

Tipo de residuo		PCI (GJ/t)	PCI (kWh/Kg)	PCI (kcal/Kg)	PCI (tep/t)
CDR – RSU	Fracción no degradable	18,14	5,04	4.344	0,4344
	Fracción degradable	9,86	2,74	2.362	0,2362
Neumáticos	Fracción no degradable	31,00	8,61	7.423	0,7423
	Fracción degradable	42,09	11,69	10.080	1,0080
De vehículos fuera de uso	Fracción no degradable	48,78	13,55	11.682	1,1682
	Fracción degradable	28,94	8,04	6.930	0,6930
Textil, calzado, artículos de piel	Fracción no degradable	38,09	10,58	9.122	0,9122
	Fracción degradable	18,47	5,13	4.422	0,4422
Plásticos	Fracción no degradable	32,71	9,09	7.834	0,7834
Residuos líquidos de hidrocarburo	Fracción no degradable	34,21	9,50	8.192	0,8192
Residuos sólidos de hidrocarburos	Fracción no degradable	13,47	3,74	3.226	0,3226
Serrín impregnado o madera tratada	Fracción degradable	25,02	6,95	5.992	0,5992
Residuos orgánicos fermentables	Fracción degradable	5,50	1,53	1.317	0,1317
Lejías negras	Fracción degradable	12,53	3,48	3.000	0,3000
Papel y cartón	Fracción degradable	19,00	5,28	4.550	0,4550
Envases compuestos	Fracción no degradable	32,71	9,09	7.834	0,7834
Madera y artículos derivados	Fracción degradable	15,41	4,28	3.689	0,37
Muebles	Fracción degradable	16,70	4,64	4.000	0,4000
Residuos domésticos especiales	Fracción no degradable	16,27	4,52	3.896	0,39
Celulosa sanitaria	Fracción degradable	13,87	3,85	3.322	0,3322

kg de combustible.

## **9. METODOLOGIA**

### **9.1 Recolección de residuos sólidos orgánicos**

### **9.2 Método del cuarteo**

La metodología de la presente investigación se basa en la establecida en la Guía 7 “E E C L L E L A A L E E L” del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2000) la cual fue desarrollada por el Dr. Kunitoshi Sakurai.

El método de cuarteo para residuos sólidos es Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas.

Como uno de los principales requisitos en cuanto a seguridad para el muestreo fue la utilización de equipos de protección personal (EPP) los cuales son:

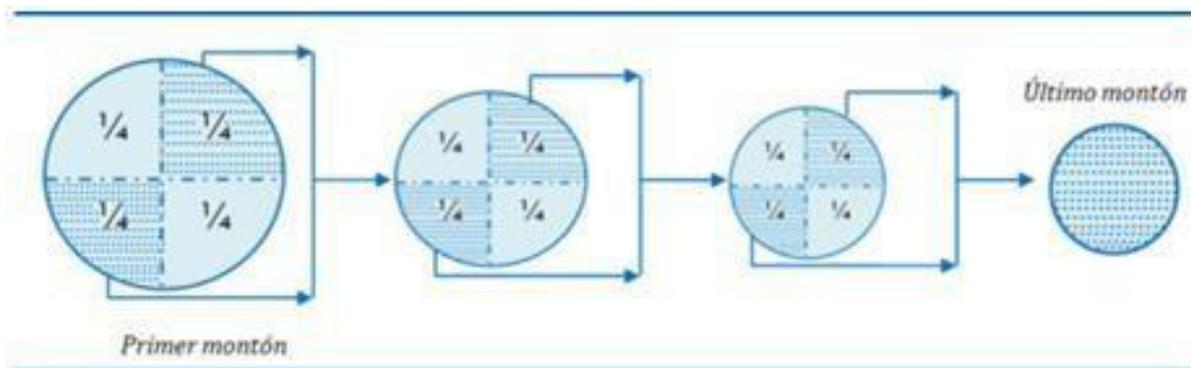
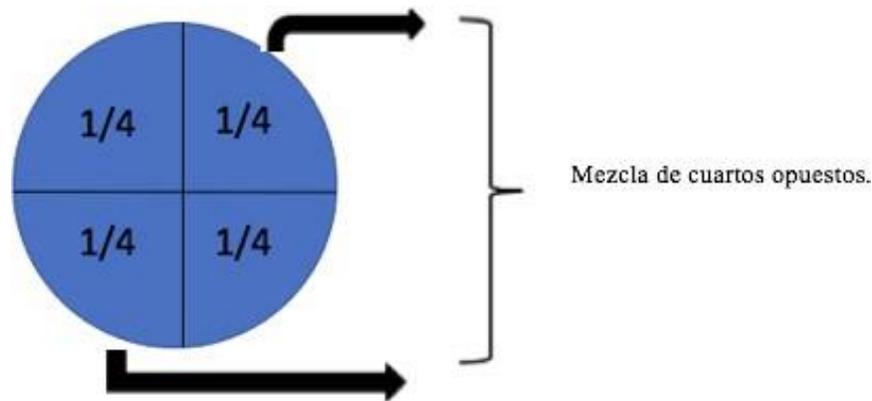
- Mascarilla de filtro de carbono
- Gafas de seguridad
- Botas de caucho
- Guantes de nitrilo

Equipos utilizados para el muestreo son:

- Palas para el mezclado y separación en cuartos
- Fundas plásticas para la separación y recolección de las categorías en las que fueron clasificados los residuos
- Báscula de piso, con capacidad de 200 Kg
- Cuaderno de campo y esfero para anotaciones
- Recipiente (el tamaño depende de la cantidad de peso del residuo).
- Escobas

Consiste en que el montón de residuos sólidos que se encuentran en las fundas

al azar, romperlas y mezclarlas con el fin de obtener una muestra homogénea, se traspalea con pala y/o bieldo, hasta homogeneizarlos, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D, y se eliminan las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 Kg de residuos sólidos. Después de haber obtenido la muestra representativa se procedió a realizar un cuarteo del cual se toman los dos cuartos opuestos de la muestra; este procedimiento de cuarteo se lo realiza una vez más. La siguiente gráfica muestra el procedimiento anteriormente descrito.



#### Método para la obtención de residuos sólidos orgánicos

Finalmente se obtuvo una muestra final de aproximadamente 12.5 kg, la cual se procedió a separarla en dos fundas plásticas, una para materia orgánica y otra para las demás categorías, con el fin de que la humedad de la materia orgánica no afecte a las demás. De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman para los análisis del laboratorio, físicos, químicos y biológicos, con el resto se

determina el peso volumétrico de los residuos sólidos

Posterior a esto, las fundas plásticas se les colocan en un recipiente, el cual es sellado y embalado para evitar manipulación de la muestra, y finalmente su traslado hacia el laboratorio.

Marcado

Las muestras realizadas se localizaban en el instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en el estado de Chiapas, el cuarteo de las muestras se realizaban en promedio de las 9:00 am con su fecha estimada para cada una, se encontraban a 27°F , con una humedad relativa del ambiente de 77%.

### **9.2.1.1 Procedimientos de laboratorio**

Preparación de las muestras para el análisis

Una vez obtenidas las muestras en el laboratorio, se procedió a realizar la caracterización de la misma, esto quiere decir que se pesa cada categoría de residuo para obtener cuál es su porcentaje en peso respecto al total de la muestra.

Después de saber cuál es el porcentaje de cada categoría de residuo, se hace una relación respecto a los 100g que se necesita de muestra para los análisis de laboratorio, con el fin de tener una muestra representativa. Posteriormente se realiza el picado de las muestras de cada categoría en pedazos no mayores a 1cm con la ayuda de tijeras para después trasladarlas a los crisoles de porcelana.

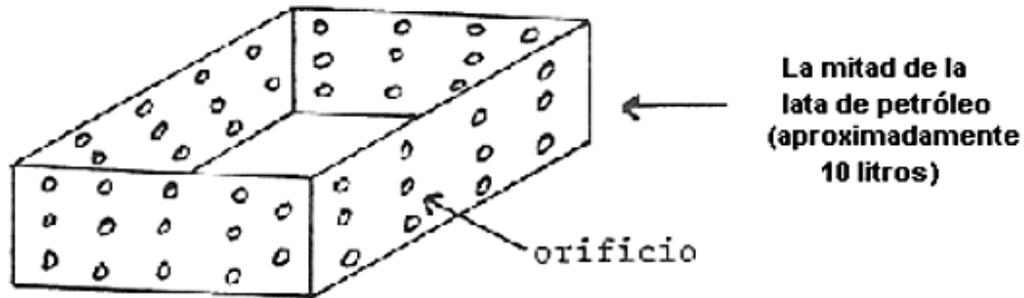
## **9.3 DETERMINACION DELPORCENTAJE DE HUMEDAD (%H).**

La humedad presente en los residuos sólidos proviene principalmente de la presencia de material orgánico, lo cual, en grandes cantidades complicaría el proceso de incineración. Es por eso que la determinación de los parámetros físicos, humedad y cenizas, contenidos en los residuos sólidos da una idea de la factibilidad de aprovechamiento de los mismos y del posible potencial intrínseco de energía que posean.

### **9.3.1.1 Prueba de humedad**

- a. Se toma la contraparte del montón último en el análisis de la composición de basura, se mezcla y luego se forma un montón

- b. 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.
- c. Se preparan unos 6 recipientes metálicos utilizando latas de petróleo de 20 litros y se pesan estos recipientes (W1).



- d. Se pone la muestra en los recipientes cortando bien los restos de frutas y verduras para facilitar la disección.
- e. 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.
- f. Una vez secos se pesan (w3) y se calcula la humedad de la basura usando la siguiente ecuación.

g.

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

### 9.3.1.2 Procedimiento en laboratorio

Para la determinación del porcentaje de humedad se continuó con procedimientos y técnicas de laboratorio. La siguiente tabla presenta un ejemplo del formato utilizado para la toma de datos de las muestras.

Formato de reporte de datos de laboratorio para humedad

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)	%Humedad total
1						

Después de picar la muestra y obtener los 100g de residuos homogenizado, se procede de la siguiente manera:

- Se toman tres crisoles de porcelana de 50 mL, se los etiqueta y se los pesa en la balanza analítica.
- Se anota el peso con las cifras que proporciona la balanza en peso crisol.
- Se procede a aforar el crisol con la muestra húmeda y se anota con 2 cifras significativas en Peso crisol + Muestra húmeda.
- Se introducen los crisoles en la estufa automática.
- La estufa se la programa a 105 °C durante un periodo de 24 horas.
- Pasado este periodo de tiempo, se espera durante aproximadamente 10 minutos antes de abrir la estufa. Luego se retira cada crisol con pinzas y se los pesa nuevamente, su valor se lo anota en Peso crisol + residuo seco.
- Una vez llenados los datos en la tabla y basados en la ecuación ecuación se halló el porcentaje de humedad contenido en los RSU.

### 9.3.1.3 Calculo para la determinación del porcentaje de humedad

Para calcular el porcentaje de humedad se emplea la fórmula utilizada por Dueñas (2012) el cual cita el laboratorio de Suelos y Aguas de Sáenz Peña (2005), la fórmula a aplicar es la siguiente:

Ecuación 3 - Determinación del porcentaje de humedad.

$$\%H = (A - B) * 100 / C$$

Donde:

A = Peso del crisol mas la muestra húmeda (g).

B = Peso del crisol mas la muestra  
seca (g).  
C = Peso del crisol (g).

De esta manera se pudo obtener para la totalidad de las muestras un porcentaje de humedad en peso, relacionada a la muestra húmeda.

## 9.4 Determinación del porcentaje de cenizas (%C)

### 9.4.1.1 Procedimiento de laboratorio

Se trató de simular un proceso de incineración en el laboratorio, con tiempo, presencia de oxígeno y temperaturas controladas. Con el in de desarrollar una metodología lo más cercana posible para la incineración, se realizó una adaptación de varios procedimientos aplicados anteriormente por Dueñas (2012), quien basó sus experiencias en creencias empleadas por diferentes autores.

Esta investigación utiliza la metodología utilizada anteriormente por Baca (2015), en la cual descarta del proceso de incineración la categoría de plásticos, vidrio y metales ya que al ser un proceso a 900 °C, para estas categorías no es posible aprovechamiento de su poder calórico, pudiendo generar dioxinas y furanos los plásticos, en tanto que el vidrio y los metales no cambian sus características.

Formato de reporte de datos de laboratorio para cenizas

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas - crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)
1						

- Se toma tres crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiqueta y se los pesa en la balanza analítica.
- Se anota el peso con 2 cifras significativas en Peso crisol.
- Poner a masa constante un crisol de porcelana, perfectamente limpio, introduciéndolo a la mufla a 550°C ± 25°C aproximadamente, durante una

hora; extraer el crisol de la mufla e introducirlo a una estufa a  $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , durante al menos 15 minutos. Pasar el crisol al desecador y dejar enfriar hasta temperatura ambiente.

- Determinar la masa del crisol en balanza analítica con aproximación de miligramos. Registrar el dato como A.
- Tomar una muestra representativa de dos gramos previamente secada y determinar la masa del crisol con la muestra en balanza analítica con aproximación a miligramos. Registrar el dato como B.
- Incinere la muestra utilizando un mechero hasta que no emita humo y las paredes del crisol estén blancas.
- Introducir el crisol, con la muestra calcinada, a la mufla a  $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, durante una hora; extraer el crisol de la mufla e introducirlo a una estufa a  $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , durante al menos 15 minutos. Pasar el crisol al desecador y dejar enfriar hasta temperatura ambiente.
- Determinar el peso del crisol y del espécimen calcinado en balanza analítica con aproximación de miligramos. Registrar el valor como C.
- Pesar y anotar el peso.
- Una vez llenado los datos en la tabla y basados en la ecuación ecuación se procede a determinar el porcentaje de cenizas obtenidas del proceso de incineración de los residuos sólidos orgánicos.

#### 9.4.1.2 Calculo del porcentaje de cenizas

Para obtener el porcentaje de cenizas se emplea la siguiente ecuación

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

Donde:

A = Masa del crisol vacío en gramos

B= masa del crisol y la muestra seca en gramos

C= masa del crisol y la muestra calcinada en gramos

#### 9.5 Reducción en volumen de los residuos después de la incineración

Cálculos adicionales

Como cálculo adicional a los objetivos planteados al principio de esta investigación, durante el desarrollo del mismo se decidió utilizar los datos obtenidos para realizar aportes adicionales que son de interés para efectuar esta y otras investigaciones.

#### **9.5.1.1 Procedimiento en laboratorio**

Siguiendo el principio anterior, se procedió a calcular una relación entre los volúmenes, es decir el volumen antes de la incineración y el volumen final. Para su determinación se debe considerar:

- Antes de poner a incinerar la muestra, esta se la coloca en una probeta graduada para calcular el volumen inicial de los residuos.
- Posterior a la incineración se trasvasa las cenizas en una probeta graduada de 15 mL para calcular el volumen final de los residuos.

Finalmente para el cálculo de la reducción de volumen se utiliza la siguiente fórmula

#### **9.5.1.2 Calculo para la determinación de la reducción en volumen de los residuos solidos**

La metodología para determinar la reducción de volumen de los residuos después de la calcinación fue previamente establecida por Dueñas (2012) la cual consiste en:

Determinación de la reducción de volumen =  $V_i - V_f$

Donde:

$V_i$  = Volumen inicial antes de la incineración (mL).

$V_f$  = Volumen final de cenizas obtenido después de la incineración (mL).

### **9.6 DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO**

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.

### 9.6.1.1 Calculo para la determinación del poder calorífico.

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 } b } c } d } a+b+c+d	a } b } c } d } a+b+c+d-W	$\frac{a+b+c+d-W}{100} \times 4,000$
b. Trapos			
c. Madera y follaje			
d. Restos de alimentos			
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	
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>40(a+b+c+d-W) + 90e kcal/kg</b>

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:

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

## 9.7 Tratamiento estadístico

Después de haber obtenido la totalidad de los resultados, se procedió a representarlos como promedios siguiendo la ecuación descrita por Castillo (2011).

### 9.7.1.1 Promedio

$$\text{Promedio} = X_i / n$$

$X_i$  = Valores

obtenidos

$n$  = Numero

de datos

### 9.7.1.2 Desviación estándar

Paralelamente a esto, se calculó la desviación estándar de los promedios con el fin de estimar la variabilidad de los datos, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación mencionada por Castillo (2011).

$$\text{Desviación estándar: } \frac{X_i}{n}$$

$X_i$  = Valores obtenidos

$n$  = Numero de datos

### 9.7.1.3 Error relativo

Por último, se calculó el error relativo existente, para poder estimar si las variaciones fueron resultado de errores sistemáticos de laboratorio.

Para esto se utilizó la ecuación mencionada en la Cátedra de “teoría de Errores” de la Universidad de Cantabria (2010).

$$Er = (\text{error absoluto} / \text{resultado exacto}) \times 100\%$$

### **9.8 Procedimiento de datos**

Los datos que se obtuvieron mediante los experimentos de laboratorio, cálculos y tratamientos estadísticos fueron procesados mediante los programas de Office como son Microsoft Word y Microsoft Excel, elaborando y documentándolos en tablas y gráficos los cuales ayudan la organización y obtención de resultados.

## 10. RESULTADOS

### Primer muestreo

En la primera fecha fijada para el muestreo, de la semana del 5 al 9 de marzo, se realizó únicamente el cuarteo de 50 kg de desechos, cantidad establecida en el método de Sakurai mencionado anteriormente. Con este primer muestreo no se realizó la respectiva caracterización de los residuos ya que fue considerada como una prueba piloto.

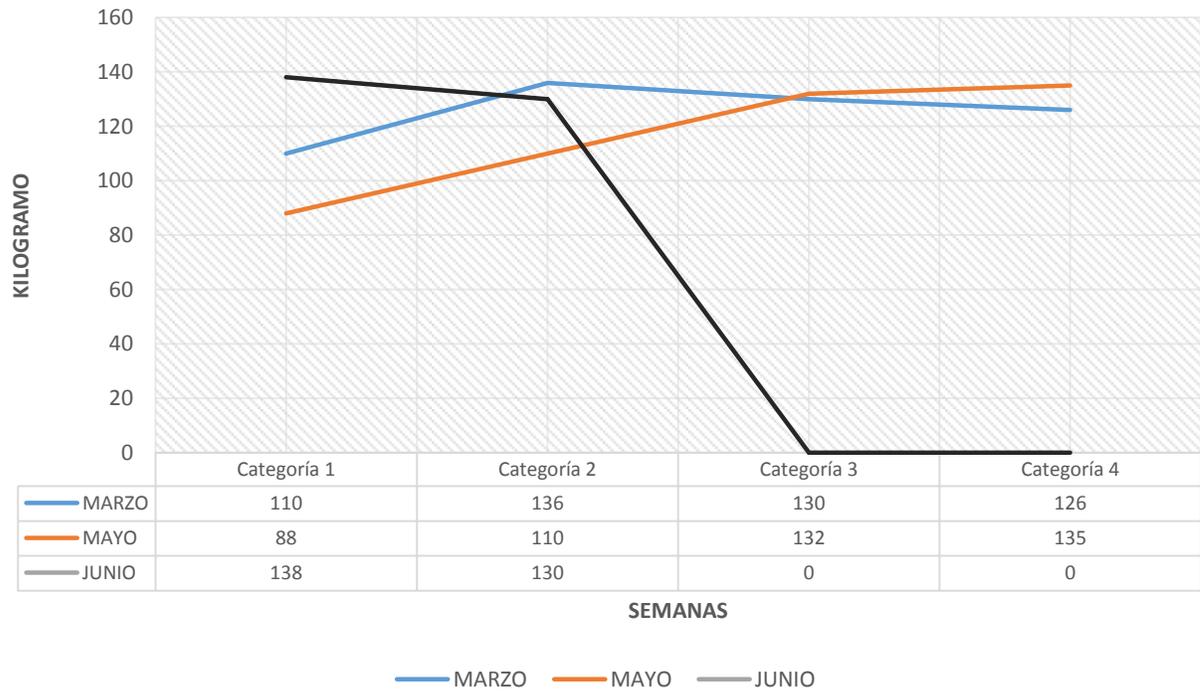
Se continuó realizando las pruebas semanalmente con su respectiva caracterización y pruebas establecidas en la metodología.

MARZO 2018 SEMANAS		TIPO DE BASURA	
		ORGANICA	INORGANICA
1	5 – 9 Marzo	110 Kg	180 Kg
2	12 – 16 Marzo	136 Kg	160 Kg
3	19 – 23 Marzo	130 Kg	170 Kg
4	26 – 30 Marzo	126 Kg	182 Kg
		T = 502 Kg	T = 692 Kg

MAYO 2018 SEMANAS		TIPO DE BASURA	
		ORGANICA	INORGANICA
5	30 (abril) – 4 Mayo	88 Kg	120 Kg
6	7 – 11 Mayo	110 Kg	180 Kg
7	14 – 18 Mayo	132 Kg	197 Kg
8	21 – 25 Mayo	135 Kg	101 Kg
		T = 465 Kg	T = 598 Kg

JUNIO 2018 SEMANAS		TIPO DE BASURA	
		ORGANICA	INORGANICA
9	28 (mayo) – 1 Junio	138 Kg	184 Kg
10	4 – 8 Junio	130 Kg	142 Kg
		T = 268 Kg	T = 326 Kg

## GRAFICA COMPARATIVA DE RESULTADOS SEMANALES



## LEVATAMIENTO DE DATOS EN EL LABORATORIO

La experimentación se llevó a cabo según lo descrito en la metodología, mencionando que la primera semana fue una prueba piloto y esa no será expuesta, por lo cual en 10 semanas de muestreo se obtuvieron el siguiente resultado:

### Segundo muestro (12 – 16 Marzo):

#### Cuantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)	%Humedad total
1	37.18	87.18	50.00	49.51	12.33	73.24
2	39.56	89.56	50.00	53.99	14.43	
<b>Total</b>			100		26.76	

#### Cuantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)	Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)
1	33.90	67.90	34.00	35.76	1.86	6.95	95.3333
2	40.51	74.51	34.00	42.89	2.38	8.89	
3	35.09	67.09	32.00	37.82	2.73	10.20	
<b>Total</b>			100		6.97	8.68	95.33

**Cuantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.**

**% pérdida por calcinación** 93.03

**Tercer muestreo (19 - 23 marzo):**

**Cuantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.**

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)	%Humedad total
1	39.59	71.09	31.50	54.78	15.19	55.38
2	37.20	67.25	30.05	49.51	12.31	
3	36.51	75.30	38.79	53.70	17.27	
<b>Total</b>			100.34		44.77	

**Cuantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.**

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)	Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)
1	35.19	75.01	39.82	38.49	3.30	7.42	92.333
2	40.64	74.76	34.12	42.85	2.21	4.97	
3	40.01	65.72	25.71	41.54	1.53	3.44	
<b>Total</b>			99.65		7.04	5.28	92.67

**Cuantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.**

**% pérdida por calcinación** 92.94

**Cuarto muestreo (26 – 30 marzo):**

**Cuantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.**

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)	%Humedad total
1	37.93	68.46	30.53	48.64	10.71	63.55
2	39.78	75.94	36.16	51.70	11.92	
3	36.19	69.66	33.47	50.07	13.88	
<b>Total</b>			100.16		36.51	

**Cuantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.**

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)	Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)
1	35.25	67.09	31.84	38.18	2.93	8.01	96.666
2	36.72	74.09	37.37	38.85	2.13	5.82	
3	40.53	71.69	31.16	41.46	0.93	2.54	
<b>Total</b>			100.37		5.99	5.46	96.67

**Cuantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.**

**% pérdida por calcinación** 94.03

**Quinto muestreo (30 abril – 4 mayo):**

**Cuantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.**

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)	%Humedad total
1	39.82	75.89	36.07	50.07	10.25	60.77
2	37.20	67.99	30.79	45.49	8.29	
3	36.41	69.02	32.61	56.89	20.48	
<b>Total</b>			99.47		39.02	

**Cuantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.**

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)	Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)
1	35.32	63.97	28.65	37.24	1.92	1.92	95.066
2	36.81	67.08	30.27	38.93	2.12	2.12	
3	37.87	78.74	40.87	40.07	2.20	2.20	

**Tota  
I**

**99.79**

**6.24**

**2.08**

**95.07**

**Cuantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.**

**% pérdida por 93.75  
calcinación**

**Sexto muestreo (7 – 11 mayo):**

**Cuantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.**

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)	%Humedad total
1	36.24	72.54	36.30	52.21	15.97	60.47
2	37.20	67.76	29.56	52.49	15.29	
3	39.83	73.67	33.84	47.98	8.15	
<b>Total</b>			<b>99.70</b>		<b>39.41</b>	

**Cuantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.**

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)	Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)
1	35.25	67.09	31.84	38.18	2.93	7.39	

<b>2</b>	<b>36.72</b>	<b>74.09</b>	<b>37.37</b>	<b>38.85</b>	<b>2.13</b>	<b>5.37</b>	<b>96.8</b>
<b>3</b>	<b>40.53</b>	<b>71.69</b>	<b>31.16</b>	<b>41.46</b>	<b>0.93</b>	<b>2.34</b>	
<b>Total</b>			<b>100.37</b>		<b>5.99</b>	<b>5.03</b>	<b>96.80</b>

**Quantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.**

**% pérdida por calcinación** 94.03

**Séptimo muestreo (14 – 18 mayo):**

**Quantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.**

<b>No.</b>	<b>Peso crisol (g)</b>	<b>Peso crisol + muestra húmeda (g)</b>	<b>Peso neto residuos (g)</b>	<b>Peso crisol + residuos secos (g)</b>	<b>Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)</b>	<b>%Humedad total</b>
<b>1</b>	<b>39.82</b>	<b>69.10</b>	<b>29.28</b>	<b>49.09</b>	<b>9.27</b>	<b>71.97</b>
<b>2</b>	<b>36.26</b>	<b>73.28</b>	<b>37.02</b>	<b>45.18</b>	<b>8.92</b>	
<b>3</b>	<b>37.21</b>	<b>70.93</b>	<b>33.72</b>	<b>47.06</b>	<b>9.85</b>	
<b>Total</b>			<b>100.02</b>		<b>28.04</b>	

**Quantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.**

<b>No.</b>	<b>Peso crisol (g)</b>	<b>Peso crisol + muestra (g)</b>	<b>Peso neto de residuos (g)</b>	<b>Peso crisol + cenizas (g)</b>	<b>Peso neto cenizas (cenizas – crisol)</b>	<b>Porcentaje de cenizas (%)</b>	<b>Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)</b>

(g)

<b>1</b>	<b>36.79</b>	<b>68.76</b>	<b>31.97</b>	<b>38.44</b>	<b>1.65</b>	<b>5.87</b>	<b>96.458</b>
<b>2</b>	<b>39.36</b>	<b>76.68</b>	<b>37.32</b>	<b>40.56</b>	<b>1.20</b>	<b>4.27</b>	
<b>3</b>	<b>36.55</b>	<b>67.45</b>	<b>30.90</b>	<b>38.83</b>	<b>2.28</b>	<b>8.12</b>	
<b>Tota l</b>			<b>100.19</b>		<b>5.13</b>	<b>6.09</b>	<b>96.46</b>

**Cuantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.**

**% pérdida por 94.88  
calcinación**

**Octavo muestreo (21 – 25 mayo):**

**Cuantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.**

<b>No.</b>	<b>Peso crisol (g)</b>	<b>Peso crisol + muestra húmeda (g)</b>	<b>Peso neto residuos (g)</b>	<b>Peso crisol + residuos secos (g)</b>	<b>Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)</b>	<b>%Humedad total</b>
<b>1</b>	<b>37.18</b>	<b>69.28</b>	<b>32.10</b>	<b>47.26</b>	<b>10.08</b>	<b>73.99</b>
<b>2</b>	<b>39.82</b>	<b>68.93</b>	<b>29.11</b>	<b>48.77</b>	<b>8.95</b>	
<b>3</b>	<b>36.24</b>	<b>74.71</b>	<b>38.47</b>	<b>43.14</b>	<b>6.90</b>	
<b>Total</b>			<b>99.68</b>		<b>25.93</b>	

Quantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)	Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)
1	36.59	70.56	33.96	37.23	0.64	2.49	99.333
2	33.27	65.85	32.58	33.86	0.59	2.33	
3	39.29	70.76	31.46	39.86	0.57	2.23	
<b>Total</b>			98.01		1.8	2.35	99.33

Quantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.

*% pérdida por calcinación*                      98.16

**Noveno muestreo (28 mayo – 1 junio):**

Quantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)	%Humedad total
1	37.19	65.16	27.97	42.90	5.71	77.78
2	36.32	74.60	38.28	44.84	8.52	
3	39.82	73.27	33.45	47.75	7.92	
<b>Total</b>			99.69		22.15	

Quantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)	Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)
1	36.84	72.37	35.52	38.82	0.97	4.39	98.50
2	41.08	68.25	27.18	41.78	0.70	3.16	
3	40.36	77.29	36.93	41.46	1.10	4.96	
<b>Total</b>			99.62		2.77	4.17	98.50

Quantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.

*% pérdida por calcinación* 97.22

**Decimo muestreo (4 – 8 junio):**

Quantificación del porcentaje de humedad en los residuos sólidos.

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra húmeda (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g) (residuos – peso crisol)	%Humedad total
1	39.59	67.78	28.19	45.90	6.31	68.76
2	37.20	73.57	36.37	46.84	9.64	
3	36.51	71.78	35.27	51.75	15.24	
<b>Total</b>			99.83		31.19	

Quantificación del porcentaje de cenizas en los residuos sólidos.

No.	Peso crisol (g)	Peso crisol + muestra (g)	Peso neto de residuos (g)	Peso crisol + cenizas (g)	Peso neto cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas (%)	Reducción en Vol. Después de calcinación Rv (%)
1	35.19	72.37	37.18	36.58	1.39	4.44	96.71
2	40.64	68.25	27.61	41.64	1.00	3.21	
3	40.01	75.29	35.28	41.76	1.75	5.60	
<b>Total</b>			100.07		4.14	4.42	96.72

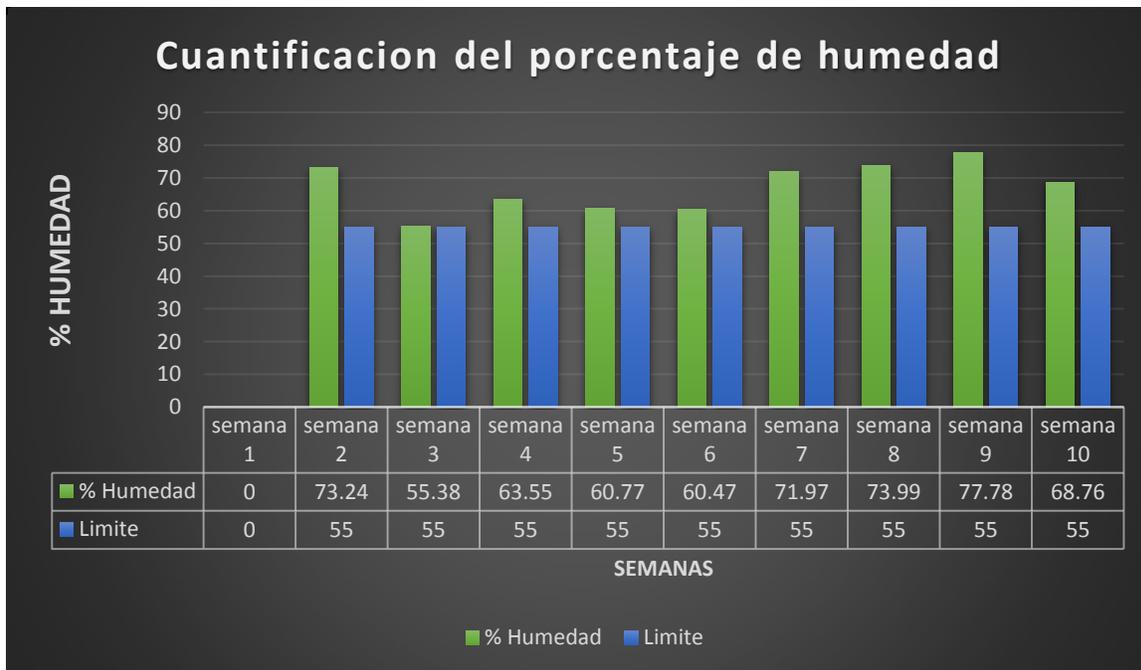
Quantificación del porcentaje de pérdida por calcinación de los residuos sólidos orgánicos.

*% pérdida por calcinación* 95.86

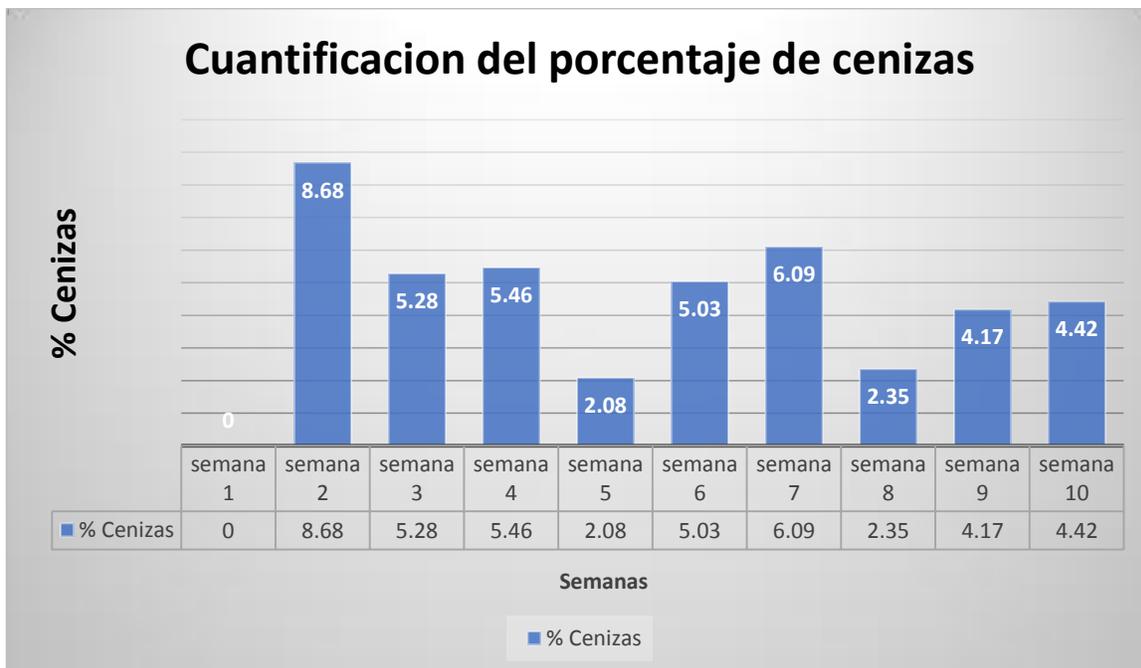
---

**DATOS COMPARATIVOS ENTRE MUESTRAS SEMANALES**

1.- Quantificación del porcentaje de humedad contenida en las muestras semanales.

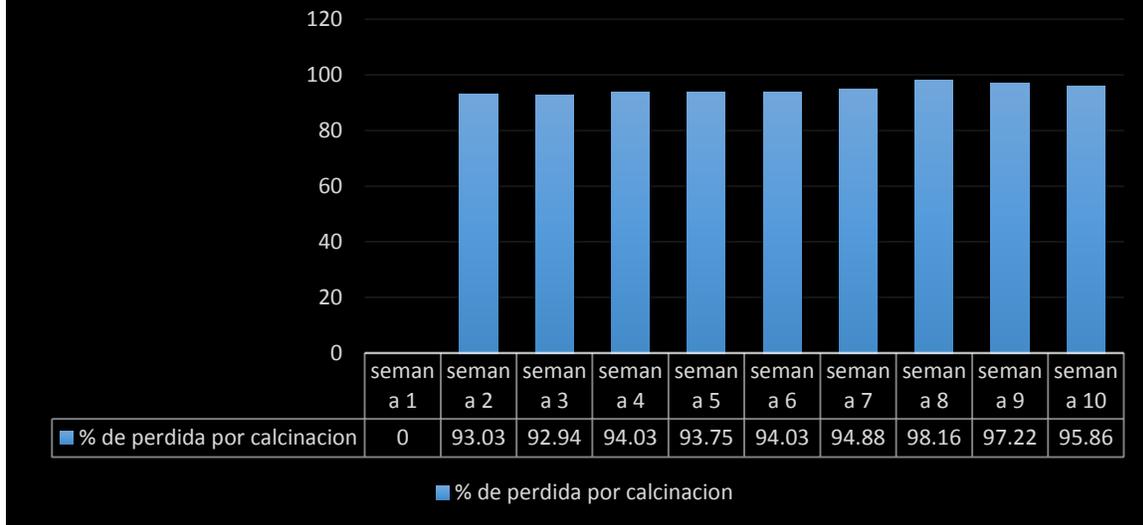


2.- Cuantificación del porcentaje de cenizas obtenidas en el proceso de incineración contenidas en las muestras semanales.



3.- Cuantificación del porcentaje de pérdida por calcinación en los residuos sólidos orgánicos.

## Cuantificación del porcentaje de pérdida por calcinación



**Determinación de la desviación estándar en la composición semanal de los residuos sólidos orgánicos.**

Desviación estándar: 
$$\frac{\sum Xi}{n}$$

Xi = Valores obtenidos

n = Numero de datos

No. De datos	Media (Kg)	Desviación estándar
<b>10 semanas</b>	<b>123.5</b>	<b>12.35</b>

**Determinación del poder calorífico de los residuos sólidos orgánicos semanalmente.**

PESO NETO DE RESIDUOS CON HUMEDAD	PESO NETO DE RESIDUOS SIN HUMEDAD
50	13.38

33.44	14.92
33.38	12.17
33.15	13.00
33.23	13.13
33.34	9.34
33.22	8.64
33.23	7.38
33.27	10.39

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

	Composición húmeda (%)	Composición seca (%)	Poder calorífico superior (kcal/kg)
a. Papel y cartón	a	a+b+c+d-W	$\frac{a+b+c+d-W}{100} \times 4,000$
b. Trapos	b		
c. Madera y follaje	c		
d. Restos de alimentos	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	
Pi: TOTAL	100%	100%	$40(a+b+c+d-W) + 90e$ kcal/kg

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

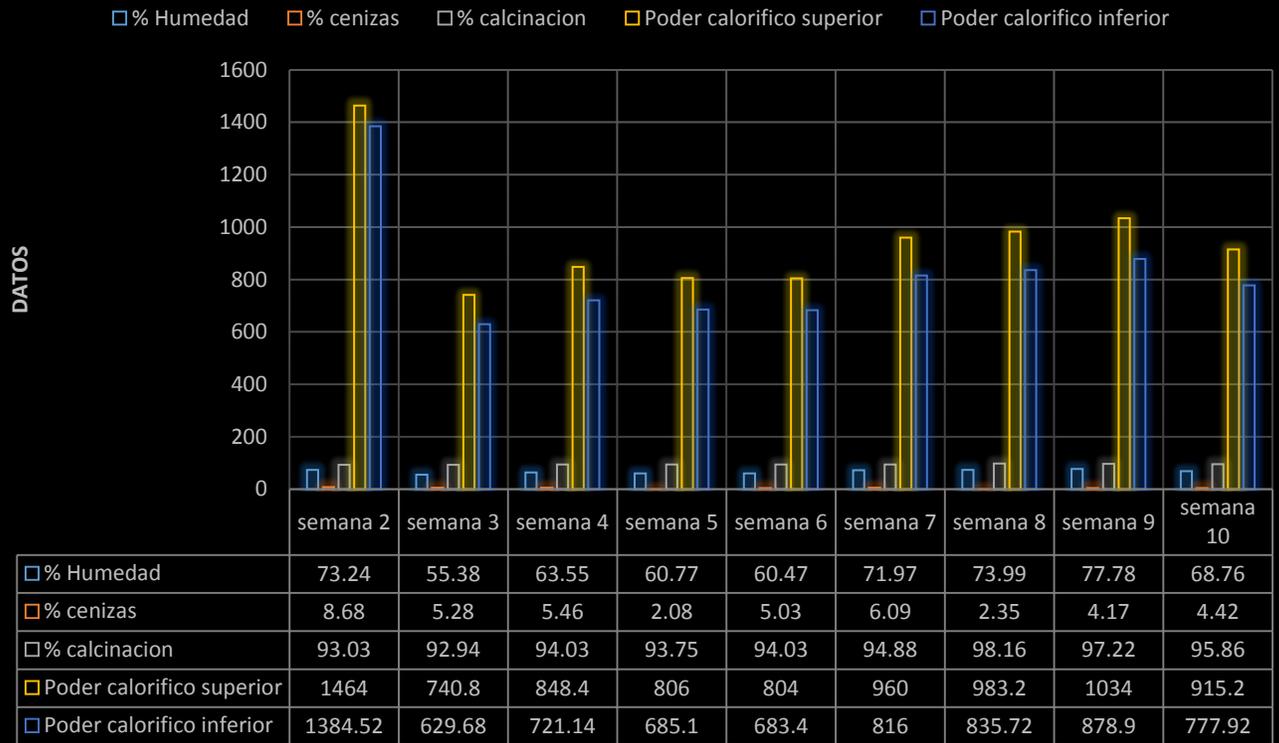
$$P_i \text{ (kcal / kg)} = P_s - \frac{W}{100} \times 600 = P_s - 6W$$

PODER CALORIFICO		
SEMANAS	PODER CALORIFICO SUPERIOR (Ps)	PODER CALORIFICO INFERIOR (Pi)
	$P_s \text{ (kcal / kg)} = 40(a + b + c + d - w) + 90(0)$	$P_i \text{ (kcal / kg)} = P_s - W/100 \times 600 = P_s - 6W$
<b>SEMANA 2</b>	<b>1464</b>	<b>1384.52</b>
<b>SEMANA 3</b>	<b>740.8</b>	<b>629.68</b>

<b>SEMANA 4</b>	<b>848.4</b>	<b>721.14</b>
<b>SEMANA 5</b>	<b>806</b>	<b>685.1</b>
<b>SEMANA 6</b>	<b>804</b>	<b>683.4</b>
<b>SEMANA 7</b>	<b>960</b>	<b>816</b>
<b>SEMANA 8</b>	<b>983.2</b>	<b>835.72</b>
<b>SEMANA 9</b>	<b>1034</b>	<b>878.9</b>
<b>SEMANA 10</b>	<b>915.2</b>	<b>777.92</b>

**Composición semanal de los datos obtenidos de los porcentajes de humedad, cenizas, perdida por calcinación y poder calorífico.**

## COMPARACION SEMANAL DE LOS DATOS OBTENIDOS



## 11. CONCLUSION

Durante el desarrollo de la investigación se logró cumplir con los objetivos planteados, los cuales siguieron tanto un proceso de revisión bibliográfica como el desarrollo en campo y laboratorio.

De acuerdo a los objetivos planteados con anterioridad se logró obtener suficiente información para obtener un análisis general de los residuos sólidos orgánicos, detallando que existe un promedio bajo de humedad en los residuos, pero el estudio fue realizado en una época del año en donde las lluvias son poco probable en el área establecida donde se llevaron a cabo las muestras.

Los datos obtenidos del porcentaje de humedad, cenizas y reducción de volumen son indispensables al momento de hacer un análisis de factibilidad en cuanto a un sistema de tratamiento térmico, pero se deben complementar con más pruebas.

El proceso de incineración resulta un tratamiento óptimo para la reducción de volumen de los residuos sólidos orgánicos siempre y cuando se pueda realizar un secado previo.

## **12. RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar la metodología planteada en el presente estudio para la continuación del proyecto, para así obtener resultados comparables mediante la aplicación de una técnica de análisis estándar.

Se recomienda continuar con el análisis de los parámetros planteados en esta investigación y ver la posibilidad de adicionar otros parámetros, con la finalidad de permitir un estudio aún más profundo para una aplicación de un sistema de tratamiento térmico, ya que el parámetro adicional de mayor relevancia es el poder calorífico.

Si se va a plantear un sistema de tratamiento térmico con un aprovechamiento energético, se recomienda hacer un secado previo para así poder eliminar la humedad de los residuos, debido a que su alto aporte de este parámetro afectaría en todo el proceso.

Se recomienda plantear un sistema de control de generación de lixiviados por causas naturales como escorrentía o precipitaciones, humedad que podría atravesar los residuos y generar dichos lixiviados.

Se recomienda tener un adecuado manejo de las muestras, desde su recolección, traslado y su manejo dentro del laboratorio para que no haya una alteración en sus características.

Se recomienda utilizar metodologías de clasificación doméstica, para de esta manera poder darles tratamientos óptimos a cada tipo de desecho. Así, se podrá

potenciar el valor energético de cada desecho y paralelamente, aumentar la vida útil del relleno sanitario.

### **13. FUENTES DE INFORMACION**

- 13.1 Trabajos citados  
(s.f.).  
(2003). Ley General para la Prevención y Gestión. MEXICO.  
ACOSTA. (2005). PROPUESTA PARA LA GESTION INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS .  
AMBIENTAL, O. D. (2013). LA FISCALIZACION AMBIENTAL EN RESIDUOS SOLIDOS. LIMA: OEFA.  
AMBIENTE, M. D. (2010). GUIA DE CAPACITACION A RECICLADORES PARA SU INSERCIÓN EN LOS PROGRAMAS DE FORMALIZACION MUNICIPAL.  
Arrechea, A. L. (s.f.). TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PROVENIENTES DE VERTEDEROS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS. DECA.  
(s.f.). BID-OPS. Diagnóstico de la Situación del Manejo. U.S.D.  
(2007). Diagnóstico sobre la generación de basura. MEXICO.  
E., A. F. (2004). GESTION DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS: ANALISIS ECONOMICO .  
Ibañez, R. (2006). GUIA DE APLICACION A LAS ACTIVIDADES DE GESTION DE RESIDUOS .  
(2006). INE, Semarnat. Diagnóstico Básico para la. MEXICO.  
M., A. (2005). PROPUESTA PARA LA GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS . ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO QUITO. ECUADOR .  
Mazzilli, A. (2014). VALIDACION DEL METODO DE CUANTIFICACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y PORCENTAJE DE CENIZAS CONTENIDO EN LOS RESIDUOS SOLIDOS.  
(2013). MINISTERIO DEL AMBIENTE. GLOSARIO DE TERMINOS DE USO FRECUENTE EN LA GESTION AMBIENTAL. MINAM.  
N, T. (2015). DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS Y HUMEDAD CONTENIDO EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

SAKURAI, D. K. (s.f.). ASESOR REGIONAL EN RESIDUOS SOLIDOS . CEPIS /OP.

(2005). Semarnat. Informe de la Situación del. MEXICO.

### 13.2 PAGINAS WEB

<http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt017.html#1709>

[http://www.um.edu.uy/docs/10\\_conversion\\_de\\_residuos\\_solidos\\_urbanos-en\\_energia.pdf](http://www.um.edu.uy/docs/10_conversion_de_residuos_solidos_urbanos-en_energia.pdf)

[https://ingemecanica.com/tutoriales/poder\\_calorifico.html](https://ingemecanica.com/tutoriales/poder_calorifico.html)

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03364e14.pdf>

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39412/RESIDUOS\\_SOLIDOS\\_URBANOS-\\_ENCARTE.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39412/RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS-_ENCARTE.pdf)

<http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>

<http://www.bvsde.paho.org/acrobat/desechos.pdf>

[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitaes/Est/Lib1197/cap05.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1197/cap05.pdf)

<https://www.ineel.mx/boletin012011/inves.pdf>

[http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap7\\_residuos.pdf](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf)

[http://www.redproteger.com.ar/poder\\_calorifico.htm](http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm)

<https://www.aiu.edu/publications/student/spanish/180-207/PDF/JuanManuelBarrientos.pdf>

<http://tiempoytemperatura.es/mexico/tuxtla-gutierrez.html#por-horas>

<https://www.quiminet.com/articulos/determinacion-de-cenizas-en-alimentos-41328.htm>

## 14. ANEXOS

### 14.1 Fotografías de la investigación

Recolección de residuos orgánicos y pesada.



Pesaje del crisol de porcelana.



Medición del volumen inicial de la muestra.



Crisoles con muestra.



## Pesaje de crisol con residuos

Mufla para incineración y muestras.



Estufa para el secado



Muestras en la estufa

