

# EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN UN VERTEDERO DURANTE EL PROCESO DE BIODEGRADACIÓN

Lomeli García, Adolfo Israel (1), Páramo Vargas, Javier (2), Esteban Altabella, Joan (3), Colomer Mendoza, Francisco José (3)

1 [Ingeniería en Tecnología Ambiental, Universidad Tecnológica de León] | [man-08-12@hotmail.com]

2 [Sustentabilidad para el Desarrollo, Ingenierías, León Guanajuato, Universidad Tecnológica de León] | [jparamo@utleon.edu.mx]

3 [Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Castellón España, Universidad Jaume I] | [altabell@uji.es fcolomer@uji.es]

## Resumen

Cuando los residuos son depositados en un relleno sanitario se inicia un proceso de degradación que depende de multitud de factores, tales como la cobertura, la temperatura, la humedad, la precipitación, etc. Estos factores influyen en la evolución del residuo a lo largo del tiempo, tanto en la fermentación anaerobia, como en la generación de lixiviado. Para analizar la evolución de los rechazos en el relleno sanitario se ha construido un lisímetro en el que se ha depositado 30.5 kg de rechazo. Durante el desarrollo del experimento se vertió una mezcla agua-lixiviado por la parte superior, simulando las precipitaciones y se recogido el lixiviado por la parte inferior. Los resultados obtenidos muestran un incremento en el poder calorífico después del periodo y esto debido al descenso del contenido de ceniza del rechazo. El resultado mínimo de DQO fue de 17,750 mg/L y el máximo en la semana 9 de 33,000 mg/L. Para la DBO<sub>5</sub> se alcanzó un valor mínimo de 6,000 mg/L y un máximo de 11,000 mg/L. Los sólidos alcanzaron un valor de 50,000 mg/L en la semana 9; valor similar a los reportados por otros autores. El volumen de lixiviado obtenido del lisímetro, muestra que conforme se le aplica presión a la masa de rechazo el volumen de lixiviado disminuye respecto al tiempo, de forma que se aprecia una disminución en la permeabilidad. Los asentamientos mecánicos mostraron que por cada 5 bares de presión, la masa de rechazo se compactó 1 cm aproximadamente.

## Abstract

When wastes are deposited in a sanitary, starts a degradation process that depends on multitude of factors, such as the coverage, the temperature, the humidity, the rainfall, etc. These factors influence the evolution of the waste over time, in the anaerobic fermentation and in the generation of leachate. A lysimeter was constructed in order to analyze the evolution of the rejections in the sanitary landfill, with a capacity of 30.5 kg. During the development of the experiment was poured a mixture of water-leachate from the top, simulating the rainfall and the leachate was collected from the bottom. The results obtained show an increase in the calorific value at the end of the experimental period, which was congruent with the reduction of the content of ash of the rejection. The minimum value of COD was 17,750 mg/L and the maximum, corresponding to the week 9, of 33,000 mg/L. In case of BDO<sub>5</sub>, a minimal value of 6,000 mg/L was reached and a maximum of 11,000 mg/L. The highest value of the concentration of solids was 50,000 mg/L, corresponding to the week 9; value similar to those reported by other authors. The volume of leachate obtained in the lysimeter, shows that as applies pressure to the mass of rejection, its value decreases in relation to time, so that there is a reduction in the permeability. Mechanical settlements showed that for every 5 bars of pressure, the mass of rejection was compacted 1 cm approximately.

## PALABRAS CLAVE

Asentamientos; Biodegradación; Lisímetro; Lixiviado; Rechazo.

## INTRODUCCIÓN

### Generalidades de los vertederos

El primer método para tratar los residuos sólidos consistió en arrojarlos al suelo o al mar, con sus consecuencias de contaminación de aguas superficiales y subterráneas [1].

A lo largo del tiempo, ha habido diversas experiencias para reducir los efectos negativos de su acumulación, como el de la Ciudad de Champlain, en 1904, donde se comenzó a enterrarlos, dando lugar al término de relleno sanitario o vertedero controlado. En relación a la operación de los vertederos, esta no ha cambiado mucho, existiendo solo cambios en su gestión, forma de proyección y construcción; manteniendo la misma práctica de colocar y sellar; con el objetivo de una evacuación segura, a largo plazo [2].

El residuo puede ser susceptible de ser valorizado o requerir tratamiento, en su totalidad o solo una parte, como es el caso del sobrante de residuos sólidos, fracción residual del procesamiento para recuperación de materiales, conversión u obtención de energía. Los residuos orgánicos pueden ser tratados con métodos como el proceso anaerobio de biometanización, que permite obtener el biogás, con una composición promedio de un 99% de metano y dióxido de carbono y un 1% de amoníaco y ácido sulfhídrico [3] y el proceso aerobio de compostaje, que posibilita obtener un fertilizante. Los residuos sólidos urbanos pueden ser tratados con procesos como el mecánico, que permite recuperar materiales valorizables; el químico, cuyo objetivo es eliminar contaminantes presentes en fase acuosa mediante la adición de reactivos y de valorización energética, donde se aprovecha con fines diversos el poder calorífico de los residuos al quemarse [4].

### Tipos de vertedero

Los vertederos controlados son espacios en que se compacta e impermeabiliza tanto el fondo como las paredes. Los residuos se colocan en capas y se recubren todos los días con una delgada capa de tierra, para dificultar la proliferación de ratas, malos olores y disminuir el riesgo de incendios.

Tiene sofisticados sistemas de drenaje para las aguas y para los gases, que se producen por la descomposición de los residuos. Tienen un monitoreo continuo y análisis de emisiones, así como atención a los problemas de funcionamiento y operación. Los vertederos no controlados, son barrancos, o espacios libres donde son depositados los residuos sin control y no cumplen en lo absoluto con ninguna norma aplicable [5].

### Transformaciones en los vertederos

Los residuos sólidos, al ser depositados en los sitios de disposición final, sufren cambios biológicos, físicos y químicos; muchos de los cuales resultan negativos para el medio ambiente, provocando problemas de contaminación ambiental. Colomer et al, (2007) refiere que en los vertederos, se dan procesos diversos, destacando por su importancia: descomposición aerobia y anaerobia de la materia orgánica llevada a cabo por microorganismos contenidos en el suelo y agua, oxidación química, escape de gases del vertedero y la difusión de gases a través del mismo, movimiento del líquido producido por la diferencia de presiones, disolución y lixiviado de materiales orgánicos e inorgánicos, movimiento del material disuelto por gradientes de concentración y asentamiento desigual producido por la consolidación del material en los vasos de vertido.

En España, tradicionalmente, se ha empleado la técnica de Vertedero para el depósito de los residuos, ya que hasta hace poco era un método económico ambientalmente y el más aceptado para la evacuación de los Residuos Sólidos Urbanos

### Lisímetro

El control de la contaminación originada por los residuos sólidos eliminados en un depósito controlado es necesario, para evitar efectos negativos al medio ambiente que lo rodea y a la salud humana [6].

El lisímetro es un dispositivo que permite simular las condiciones de un vertedero y realizar estudios del comportamiento del mismo, bajo condiciones controladas a escala laboratorio. Hay experiencias diversas, como la de la Universidad Jaime I (Esteban 2015 & Lomeli 2017) [7]. Este dispositivo

permite obtener información para atender problemas como los hidráulicos difíciles de resolver y atender la problemática de poder conocer el comportamiento de los vertederos dada la gran cantidad de cambios e interacciones que se presentan.

Derivado del problema que se genera en el vertedero de Cervera del Maestre en Castellón España, el Grupo de Ingeniería de Residuos INGRES, de la Universidad Jaume I en conjunto con la Universidad Tecnológica de León, en León Gto, México, realizaron una investigación sobre el comportamiento y la evolución que tienen los residuos al ser depositados en estos sitios. Este estudio se desarrolló a escala laboratorio empleando un lisímetro, el cual consta de cuatro sistemas o componentes básicos: control térmico para simular las condiciones de degradabilidad, sistema de riego para simular las condiciones de pluviometría, sistema de recogida y almacenamiento del lixiviado percolado para controlar la cantidad que se genera y un sistema de captación de gases para calcular las emisiones que podrían generarse.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

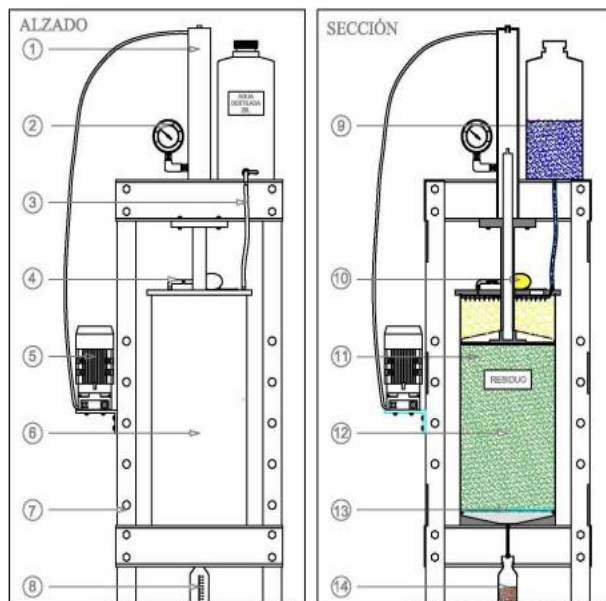
Las muestras del rechazo, se conformaron, tomando diferentes rechazos de la planta de valorización de Castellón España. En la tabla 1 se indica las fracciones tomadas para este estudio.

**Tabla 1: Selección de muestras para la fase experimental**

Proceso	% de recuperación	Muestra tomada (Kg)	Muestra para lisímetro (Kg)
1. Triaje manual	44	31.2	13.4
2. Grueso compost	42	30.5	12.6
3. Fino compost	14	23.5	4.5
Total			30.5 Kg

Cabe mencionar que la cantidad tomada para el lisímetro, se calculó de acuerdo al porcentaje de recuperación. Indicado en la columna 2.

El equipo empleado y proporcionado por la Universidad Jaume I, se muestra en la imagen 1.

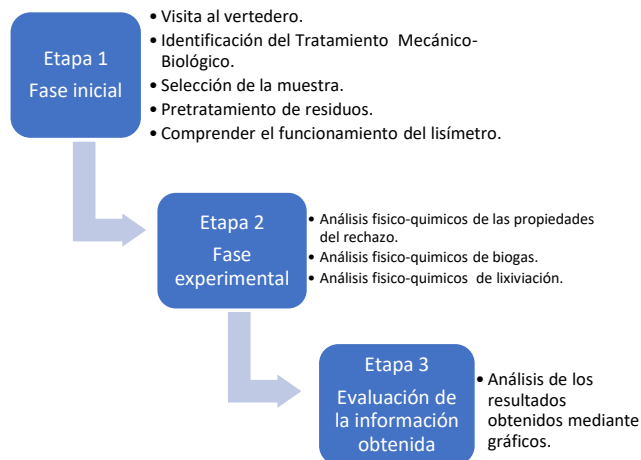


**Imagen 1. Lisímetro empleado en este trabajo (Esteban. J. 2016)**

En la imagen 1, se puede observar un pórtico de acero (7) sobre el que se coloca el lisímetro diseñado. Este, compuesto por un tambor de acero inoxidable (6), contiene en su interior dos placas perforadas (11 y 13). Una de ellas (13), colocada en el fondo permite crear un vacío entre los residuos (12) y la parte inferior del tambor que se rellena con grava para facilitar la percolación del lixiviado (8, 14). La otra, situada en la parte superior (11) comprime la masa de residuos mediante la presión que ejerce un cilindro hidráulico (1). Con la ayuda de una bomba (5), la capacidad de carga máxima en este prototipo puede superar los 25 MPa y para su medición se debe colocar un manómetro (2). Para los ensayos de infiltración-percolación es necesario colocar un depósito con agua destilada (9) que alimente un sistema de riego previamente instalado (3). Finalmente, para analizar el biogás generado este debe almacenarse en un balón de recogida de gases (10) mediante sistema de captación específico (4)

## Métodos de análisis

La metodología empleada en esta investigación, la cual comprendió 16 semanas de trabajo, en un periodo de enero a junio de 2017, se presenta en la imagen 2.



**IMAGEN 2: Diseño de la metodología aplicada**

Los métodos empleados para este trabajo, son los siguientes;

**Tabla 2: Análisis de las propiedades del rechazo**

Parámetros	Norma de referencia
1. Contenido de materia volátil	UNE-EN-15402-2011
2. Contenido de cenizas	UNE-EN-15403-2011
3. Contenido de carbono fijo	Se estima de los porcentajes de materia volátil
4. Contenido de biomasa	UNE-EN-15440-2011
5. Contenido de poder calorífico	UNE-EN-15400-2011

**Tabla 3: Análisis de las propiedades del lixiviado**

Parámetros	Norma de referencia
1. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	UNE-EN-77004:2002
2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	UNE-EN-1899-1:1998
3. Determinación de Sólidos Totales (ST)	UNE-77030:2002
4. Determinación de los Sólidos en Suspensión (SS).	UNE-EN 872:1996
5. Determinación de Sólidos Disueltos (SD)	UNE-77031:2002

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó el rechazo, tanto inicial y final de la experimentación, de acuerdo a los métodos descritos en la tabla 2. Estos resultados se observan en la tabla 4, en la cual se puede observar el aumento de la humedad en el rechazo final, debido a la recirculación de lixiviado conforme pasaban las semanas. En relación al material volátil, el contenido de carbono fijo y la biomasa, no hubo mucha variación entre los datos obtenidos; en cambio para el contenido de ceniza hubo una disminución considerable en el rechazo final, esto por el poco material biodegradable.

**Tabla 4: Resultados comparativos del rechazo**

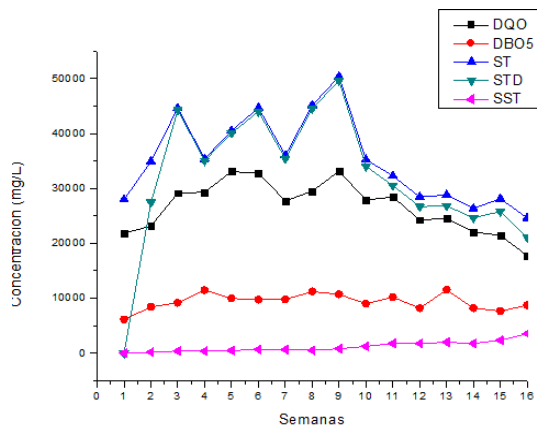
Comparación de los resultados del rechazo inicial y final					
Tipo de rechazo	Humedad (%)	Materia volátil (%)	Carbono fino (%)	Biomasa (%)	Cenizas (%)
Rechazo Inicial	33.91	72.26	27.7	69.4	52.72
Rechazo Final	49.34	70.55	29.4	64.98	34.36

Para el caso del poder calorífico superior e inferior del rechazo, se observa en la tabla 5, que en el rechazo final se tiene un incremento debido al incremento del contenido porcentual de material combustible como el papel y el plástico.

**Tabla 5: Resultados comparativos del PCS y PCI del rechazo.**

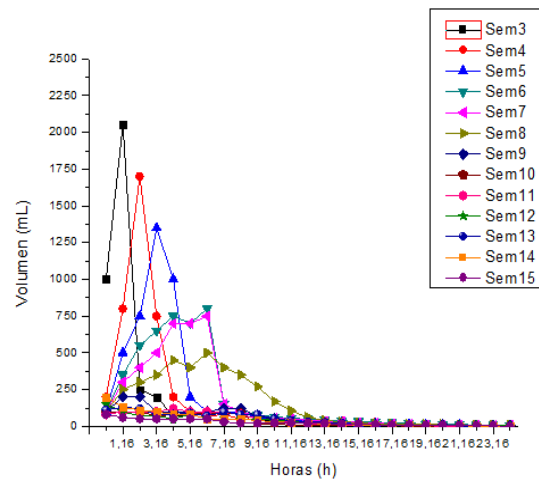
Comparación de los resultados del rechazo inicial y final		
Tipo de rechazo	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
Rechazo Inicial	4,380.34	4,378.79
Rechazo Final	4,718.7	4,715.73

A pesar de los diferentes rangos en los parámetros analizados del lixiviado, en este trabajo se puede observar que el lixiviado va arrastrando el material soluble del rechazo. Durante la 5ta semana de experimentación, el lixiviado recirculado aumentó la DQO y la DBO<sub>5</sub>. A partir de este incremento no se pueden tener más conclusiones ya que hay valores altos y bajos, pues los valores de DQO oscilan entre 17,700 y 33,000 mg/L, mientras la DBO<sub>5</sub> entre 11,100 y 9,900 mg/L, valores similares a los obtenidos por (Emily Rivera 2013) [8]. En relación a los sólidos totales, aumentaron hasta la 3ra semana y a partir de allí oscilaron entre 44,000 y 50,000 mg/L, valores dentro del rango referido por (Tchobanoglous 1993) [9]; posteriormente, descendieron sus concentraciones y los valores de la DQO; debido a la estabilización del rechazo dentro del lisímetro. Esto se puede observar en la gráfica 1.



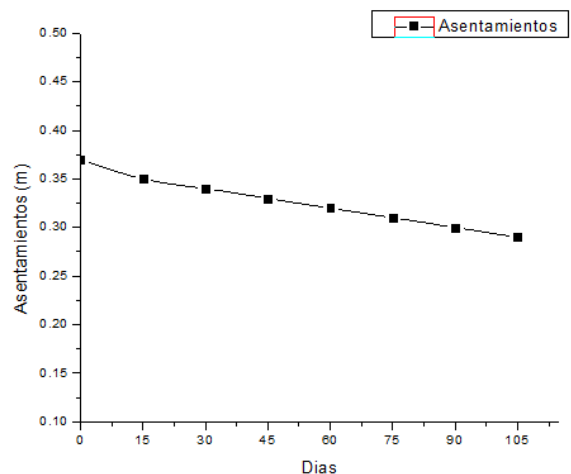
**Gráfica 1. Comportamiento de los parámetros analizados de lixiviado**

Se analizó el lixiviado recolectado del lisímetro durante las primeras 24h de cada semana, Esta variable se analizó para determinar la velocidad de infiltración en función de la densidad. Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente gráfico, cabe mencionar que se muestran a partir de la semana 3, ya que en las primeras semanas no se contaba con esta variable a analizar.



**Gráfica 2. Comportamiento del lixiviado obtenido del lisímetro**

Finalmente se analizaron los asentamientos de la masa de rechazo en el interior del lisímetro. Se trata de asentamientos mecánicos que se muestran en unidades de metros, para una mayor comprensión. Esto se observa en la gráfica 3.



**Gráfica 3. Asentamientos del rechazo durante la fase experimental**



## CONCLUSIONES

En este trabajo los resultados obtenidos de los rechazos, tanto inicial como final, la mayoría son muy similar, sin embargo el incremento del poder calorífico del rechazo final muestran un incremento en comparación con el inicial, esto debido a la disminución de las cenizas, como material combustible.

El resultado mínimo de DQO fue de 17,750 mg/L y el máximo en la semana 9 de 33,000 mg/L. Para la DBO<sub>5</sub> se alcanzó un valor mínimo de 6,000 mg/L y un máximo de 11,000 mg/L, valor congruente, pues es menor que la DQO; por representar solo el material biodegradable de rápida degradación del rechazo depositado en el lisímetro. Los sólidos alcanzaron un valor de 50,000 mg/L en la semana 9; valor similar a los reportados por otros autores y congruente con el valor de DQO, pues al representar solo el contenido de material oxidable, su valor debe ser menor al contenido de sólidos. Los sólidos totales representan material inerte, como la tierra y el polvo entre otros; que es lo primero que se arrastra en el lixiviado obtenido del lisímetro.

El volumen de lixiviado obtenido del lisímetro, muestra que a medida que se va compactando la masa de rechazo, el lixiviado tarda más en ser percolado; debido a que a medida que aumenta la densidad del rechazo, la velocidad de infiltración disminuye.

Los resultados indican que en un vertedero de rechazo, las capas inferiores de residuos tienen una velocidad de infiltración menor que las capas superiores. Esto es de utilidad al calcular el balance hidrológico de un vertedero, ya que la velocidad de percolación del agua de lluvia es muy diferente entre las capas superiores e inferiores.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Jaume I, de Castellón España y a la Universidad Tecnológica de León, en México, por ser un marco de referencia en mi preparación profesional.

## REFERENCIAS

- [1] Lusugga, J. M. Y. Michael. (1997). The governance of waste management in urban Tanzania; towards a community based. Resource, consevation and recycling.
- [2] Szantó, Narea. M (1986). Guía para la identificación de proyectos y formularios de estudio de pre factibilidad para manejo de RSU. Chile: CEPAL. Recuperado de: [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/30590/S9630203\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/30590/S9630203_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [3] Colmenare. W. (2001). Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. Lima, Perú.
- [4] Colomer. Mendoza, F, J., Gallardo, Izquierdo. A. (2007). Tratamiento y gestión de residuos sólidos. Universidad Politécnica de Valencia. (pp 233-234).
- [5] LGPGIR. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. México. Diario Oficial de la Federación, DOF. Recuperado de: <http://www.aguascalientes.gob.mx/PROESPA/pdf/LEY%20GENERAL%20PARA%20LA%20PREVENCION%20DE%20LOS%20RESIDUOS.pdf>
- [6] Esteban, Altabella, J., Colomer, Mendoza, F, J. Gallardo, Izquierdo. A. (2016). Diseño y construcción de un lisímetro para simular un deposito controlado a escala laboratorio. 20th International congress on Project management and engineering, 1499. Recuperado de <http://www.aeipro.com/files/congresos/2016cartagena/04029.4642.pdf>
- [7] Lomeli, García, A, I. Páramo, Vargas, J. Colomer, Mendoza, F, J. (2017). Evaluación de los cambios en los residuos sólidos urbanos en un vertedero durante el proceso de biodegradación. Tesis de Ingeniería en Tecnología Ambiental. Universidad Tecnológica de León. León, Gto. Mex.
- [8] Rivera, Laguna, E., Barba, Ho, L., Torres, Lozada, P. (2013). Determinación de la toxicidad de lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos mediante indicadores biológicos. Recuperado de: <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/276257/364167>
- [9] Tchobanoglus, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). Gestión Integral de Residuos. (Valreality ed.). Madrid, España: Mc Graw-Hill.