

ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE ASENTAMIENTOS EN CELDA 1, RELLENO SANITARIO TECNOAMBIENTE, MIRAMAR, COSTA RICA

NIDIA CRUZ ZUÑIGA, Universidad de Costa Rica, ncruzzz@gmail.com,
nidia.cruz@ucr.ac.cr

JUAN DIEGO FERNÁNDEZ TORRES, Universidad de Costa Rica,
juand1510@gmail.com

Resumen

El aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos tiene gran potencial que no está siendo explotado en Costa Rica. Aunado con ello, existe un alto impacto ambiental por el mal manejo de los gases, pues la medida más común es la quema del mismo, sin un aprovechamiento oportuno. Para la toma de decisiones respecto a este potencial aprovechamiento es indispensable estimar los volúmenes de producción, pero para ello se requiere entender los procesos de descomposición. Una forma de hacerlo es a través de los asentamientos que se producen en las celdas de los rellenos. La presente investigación fue un estudio de caso puntual para un relleno sanitario ubicado cerca de la costa pacífica de Costa Rica. Se evidenció la influencia del clima en la descomposición y se aplicaron dos modelos teóricos para la estimación del biogás. Los resultados reflejaron que, con el modelo de Emcon Associates, la cantidad de gas producido fue de 2 676 Ton/año, mientras con el modelo de Durmusogli se estimó una producción de 3 375 Ton/año, con una diferencia aceptable del 32%.

Palabras clave

Estimación de Biogás, Gestión de residuos sólidos, Rellenos Sanitarios, Asentamientos diferenciales

Abstract

The energy yield by municipal solid waste has a great potential that is not being exploited in Costa Rica. There is also big environmental impact caused by the carelessness of the collection of the biogas, the only treatment seen on most landfills are burners which turns the methane and other gases into CO₂ mainly by heat. To change the way decision making to exploit this energy is being made, it is necessary to estimate the production of profitable biogas, which leads on more understanding on how the solid waste cells decompose over time based on the local climate and residues variables. The following investigation was a punctual case based on a landfill located near the Pacific shore. The influence of the climate variables were evidential, and 2 production gas models from abroad were applied, Emcon Associates and Durmusogli giving the estimation of de 2 676 Ton/year and 3 375 Ton/year respectively. The difference on the outcome between both models were 32%.

Introducción

La gestión de residuos sólidos sigue siendo un reto a nivel global. A pesar de los esfuerzos realizados para mejorar su valorización, todavía gran parte de los residuos ordinarios tienen como único tratamiento el relleno sanitario. En Costa Rica, en promedio cerca del 58% de los residuos que llegan a los rellenos son de tipo orgánico, por lo que se generan grandes retos para el manejo de la estabilidad y de la descomposición de estos residuos en las celdas. Aunado al gran potencial en la producción de biogás que es poco aprovechado.

Según la revisión bibliográfica realizada, existen pocos registros de estudios de asentamientos y generación de biogás en las condiciones del trópico, por lo que el aporte de la presente investigación es muy relevante para comparar las modelaciones teóricas con los que se refleja en la realidad. También se tuvieron enormes limitaciones respecto a la cantidad y calidad de la información disponible, reto que debe interiorizarse en la realidad latinoamericana para crear conciencia en las necesidades de monitoreo y medición.

El proyecto se desarrolla tomando como base la información topográfica, los registros históricos climáticos, las muestras de laboratorio de la DBO (demanda biológica de oxígeno) y demás información de campo que registra la empresa Tecnoambiente S.A., dueña del relleno sanitario en estudio.

En esta investigación se realizó una serie de procesos por medios computacionales, para estimar la degradación de la celda 1B del relleno sanitario del Parque Eco Industrial de Miramar, con el objetivo de determinar la cantidad de metano que se produjo en un espacio de tiempo de un año y correlacionar esta producción con las características meteorológicas de la zona.

Con base en los registros de asentamientos, se procedió a estimar la producción de metano por medio de dos modelos existentes en la literatura de la materia. Además se realizó una comparación de los registros de asentamientos con las condiciones climáticas de la zona, con el fin de probar la hipótesis de si existía una relación que acelerara el proceso de descomposición de los residuos por dichas condiciones. Se logró encontrar una relación importante con el régimen de

lluvia, no así con la temperatura; ya que las variaciones de esta variable en el sitio donde se ubica el relleno son muy leves a lo largo del año.

Objetivos

El objetivo general de la investigación fue determinar la tasa aproximada de degradación de los residuos sólidos urbanos biodegradables que se ha presentado en la celda 1B del relleno sanitario en estudio, con miras a estimar la producción de metano.

Además se trabajó con los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la composición de los residuos que se han dispuesto en la celda en estudio, con el fin de buscar una caracterización que permita estimar la cantidad de material biodegradable presente.
- Evaluar las posibles causas de la degradación biológica acelerada de los residuos dispuestos en esta celda, en relación con las características meteorológicas presentes en el sitio.
- Estimar un aproximado de la producción de biogás que se está generando en la celda, con base en la tasa de degradación, para definir posibilidades de aprovechamiento.

Metodología

La investigación se realizó en el relleno sanitario Parque Ecoindustrial Miramar, ubicado en Miramar de Montes de Oro, Puntarenas. Este constituye un terreno con capacidad para el tratamiento de 2,5 millones de m³ de residuos, diseñado para una vida útil aproximada de 10 años y con una altura promedio de residuos de 20 a 25 metros (STC Grupo, 2011). La celda en estudio inició operaciones en 2014, y al llegar a capacidad fue cerrada; sin embargo se presentó un proceso acelerado de descomposición y asentamiento que permitió reabrir la celda pocos años después y volver a utilizar un aproximado del 50% de su volumen útil. No se tiene certeza de lo que ocasionó esta situación, pues según diseños no se esperaba que se presentara este asentamiento en tan corto plazo.

Se realizó un modelado matemático de los asentamientos totales registrados en la celda, mediante el uso de Auto Cad CIVIL 3D, y con base en los levantamientos topográficos registrados en el año de análisis. Se requirió circunscribir el análisis a solo un año, pues fue en único período donde se tenía continuidad y calidad de todos los datos disponibles. Esta es una limitante importante del proceso.

El modelado en masas fue una herramienta muy útil, pues permitió observar el cambio en toda la celda. Además se consideró una ventaja al analizar los asentamientos, pues los residuos no se dispersa homogéneamente a lo largo de la celda, lo que también ocasiona que hayan zonas que presentan más deformación que otras. Se analizó el cambio en las superficies de distintos meses, para comparar entre ellas que tanta cantidad se asentó en la vertical y con ello estimar el volumen reducido. Este tipo de análisis es muy práctico para estimar la tasa de degradación que se manifestó en un determinado tiempo.

Luego de la revisión bibliográfica y de la recopilación de los datos existentes, se procede a realizar los análisis con los siguientes pasos:

- Con base en los registros de la DBO a la salida de la celda, se estima el período en el cual se presenta la fase metanogénica de descomposición anaerobia en la celda 1B.
- Definido este lapso de análisis, se evalúan las mediciones topográficas para determinar los asentamientos (que en esta fase son principalmente por descomposición de los residuos orgánicos).
- Paralelamente, para ese período se analizan los datos climáticos (lluvia y temperatura) para determinar si hay una correlación en la aceleración de la tasa de degradación.
- Calculados los asentamientos de este tipo, se procede a aplicar los modelos de generación de biogás para tener una tasa de producción en el año de análisis.

Antecedentes teóricos

Existen muchos modelos teóricos y empíricos para estimar los asentamientos en rellenos sanitarios. En Costa Rica, un estudio de Rivera (2012) evidenció que los principales factores influyentes en el asentamiento en rellenos sanitarios son: temperatura, precipitación, altura del relleno, recirculación, tipos de residuos, contenido orgánico, humedad,

compactación, pH, densidad, compresibilidad. Estas variables cambian su comportamiento con el tiempo y es difícil tener modelos de predicción que permitan estimar los asentamientos a largo plazo.

En los primeros años de estudio de rellenos sanitarios, el asentamiento se calculaba en 3 etapas, Sowers (1973). La primera etapa inmediata ocurre por el peso mismo de los desechos o por compactadoras. Una segunda etapa regida por la disipación del agua de los poros y de los vacíos en la mezcla de desechos, puede tardar meses. Y la última etapa ocasionada por el reacomodo en el largo plazo de la mezcla de desechos, con magnitud de años. Los primeros modelos de asentamiento no consideraban la descomposición biológica, fue hasta que Manassero (1996) estableció una nueva propuesta, según la cual los asentamientos se componían de 5 etapas que pueden interponerse entre ellas o darse al mismo tiempo, estas comprenden:

- Compresión física por peso.
- Migración de pequeñas partículas a los vacíos.
- Comportamiento viscoso y consolidación.
- Asentamiento por descomposición. (Foco de esta investigación)
- Colapso de componentes debido a cambios físico-químico.

La descomposición como se observa en el modelo de Manassero, ocurre hasta la 4 fase, y como explica Vaquero (2004) es precisamente en esa fase que se manifiesta la mayor producción de CH₄ en el sistema.

Se tiene limitaciones importantes para estimar la degradación en los rellenos sanitarios ubicados en climas tropicales, pues la mayoría de modelos existentes son de países templados, con distintas condiciones climáticas y caracterización de los residuos.

La identificación de la fase metanogénica es crucial para poder estimar con mayor precisión la degradación biológica que se da en una celda. La mejor manera es basarse en la premisa de “No en todas las etapas de la digestión ocurre la digestión de la DBO. Así la hidrólisis ocurre sin variación detectable de la DBO. En general, durante la acidificación la disminución de la DBO es mínima. Por tanto, es en la metanogénesis donde ocurre las mayores disminuciones de DBO.” (Lorenzo y Obaya, 2005).

Resultados y discusión

Cálculo de los asentamientos

Se procedió a identificar las etapas donde la celda 1B trabajó en fase metanogénica, hito clave para conocer la degradación que produce metano. Las fases se representaron gráficamente comparando los valores de DBO en el tiempo, esencialmente para conocer la caída del mismo, pues las bacterias metanogénicas habitan en ambientes anaeróbicos. Determinadas estas fases, se procedió a analizar las curvas de nivel medidas en campo durante varios meses en la celda en estudio. Con ello se identificó un lapso donde se presentaba la fase metanogénica y que coincidía con el cierre temporal que se había definido para la celda en estudio. Esto es clave para el análisis, ya que durante el proceso de llenado de la celda la intervención de maquinaria genera una distorsión en los datos de asentamientos.

Con base en los levantamientos topográficos realizados se estimaron los asentamientos totales, y se trabajó con la premisa de que en ese período estos asentamientos eran mayoritariamente por degradación. Se crean 2 superficies topográficas en el software con las curvas de nivel suministradas, luego se procede a definir un límite de área “boundarie” que se utilizó luego como la superficie patrón (condición de mayo 2014). En la figura 1 se puede ver este análisis para el año en estudio:

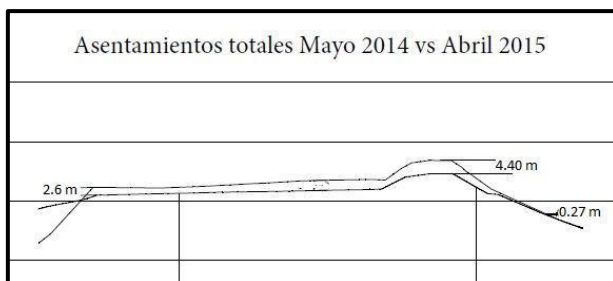


Figura 1. Perfil entre superficies.

Fuente: Datos de TecnoAmbiente, modificado por Fernández, 2018.

No se puede calcular el volumen real de la celda, pues no se cuenta con registros topográficos de la superficie inicial de la misma, por ello fue que se requirió definir el patrón mencionado. Esto conlleva a que datos de asentamiento se manejan de manera porcentual. Se usó la menor elevación en las superficies para trazar un plano de cortante en los montículos, y se realizó una comparación entre cada mes individualmente para obtener el volumen variable de cada topografía realizada. Al hacer una simple operación se puede obtener el porcentual de asentamiento, basado en el volumen real que hay en la celda sobre ese plano de corte:

Volumen de Mayo 2014: 145 027 m³.

Volumen de Mayo 2015: 135 221 m³.

$$\text{Asentamiento}(\%) = \frac{V_i - V_f}{V_i} * 100 \quad (1)$$

Asentamiento bruto: 9.86 % equivalentes a 14 305.04 m³.

Estimación de la influencia del clima en la descomposición de residuos

Para analizar el efecto del clima en la descomposición, se trabajó con los datos de un año completo de mediciones en el mismo lapso para el cual se calculó el asentamiento por degradación, con el fin de asegurar que las dos estaciones climáticas del país estuvieran registradas y fuera contempladas en sus variables de temperatura y precipitación. Se comparó gráficamente los datos de asentamiento con los datos de precipitación y temperatura, para identificar cualitativamente el efecto del clima en la eficiencia de descomposición, con lo que se pudo detectar una correlación con la precipitación, no así con la temperatura.

Se utilizaron datos recopilados por la estación meteorológica propia del Relleno Sanitario, con el fin de visualizar si existía algún patrón. En la figura 2 se presentan los resultados obtenidos:

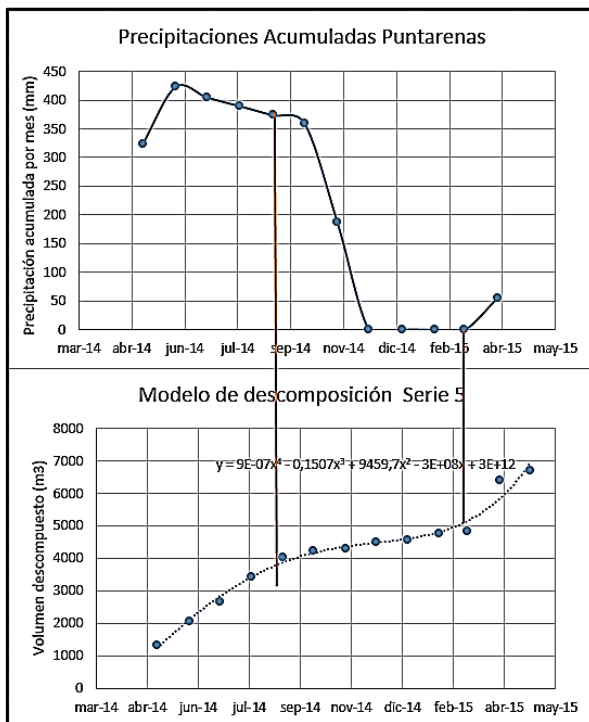


Figura 2. Correlación cualitativa entre descomposición y precipitación

Fuente: Datos de TecnoAmbiente, modificado por Fernández, 2018.

En la figura 2 se muestra ambas gráficas de precipitación y volumen degradado, donde las líneas naranjas delimitan el inicio y fin de la estación seca, demostrando que ante la disminución de la humedad en la celda, disminuye la capacidad de degradación de la materia orgánica por parte de las bacterias. En el momento que aumentan las precipitaciones la pendiente de la descomposición crece. Esto comprueba la teoría, que al haber mayor humedad en la celda, junto con las altas temperaturas, se propicia un mejor ambiente para las bacterias mesofílicas que teóricamente estarían siendo las que predominan en dicha celda.

Cálculo de la estimación de biogás

El modelo Emcom Associates (1980) dice que por cada kilogramo de CHON se produce 0.36 kg de metano. El dato de CHON presente en la celda se estimó utilizando la densidad de materia orgánica dentro de la densidad total de los residuos. Con base en ello se realizó un estimado del biogás potencialmente producido el año en el que se midió el asentamiento. Los resultados pueden verse gráficamente en la figura 3:

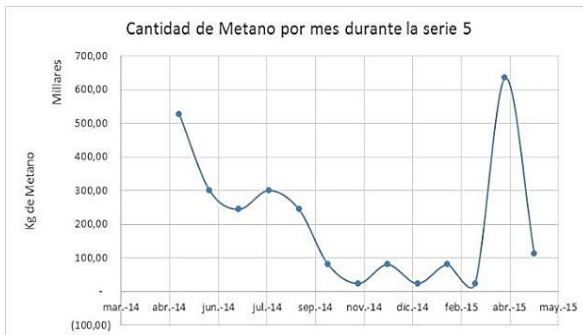


Figura 3. Cantidad de metano producido durante la serie 5 por medio del modelo de Emcom Associates.

Por otra parte, el modelo de Durmusogli contempla el porcentaje de orgánicos y la vida útil del relleno para hacer la estimación. El modelo contempla que se calcule el potencial de gas en el tiempo, y se multiplique por una constante de producción, que en realidad es un factor de ajuste para condiciones reales y de biodegradabilidad para obtener una tasa de producción anual (Durmusogli, 2005). Las variables de este segundo modelo se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Variables modelo de Durmusogli.

Variables		
Nombre	Nomenclatur	Unidades
Fracción orgánica	A_m	kg/kg
Vida media	$t(1/2)$	años
Constante de razón de producción de gas	λ_m	año ⁻¹
Potencial de producción de gas	$G(m,p)$	kg/m ³
Razón de producción total de gas	$\alpha(m,T)$	kg/(m ³ *año)

Fuente: Durmusogli, 2005

Las ecuaciones de este modelo, se muestran a continuación.

$$\lambda = \frac{-\ln(0,5)}{t_{1/2}} \quad (2)$$

$$\alpha_T^m = \sum_t G_T^i A_m \lambda_m e^{-(\lambda_m * t)} \quad (3)$$

$$G_P^m = G_T A_m \lambda_m e^{-(\lambda_m * t)} \quad (4)$$

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2. Resultados modelo de Durmusogli

Variable	Símbolo	Resultado	Fuente
Fracción Orgánica	Am	0.58	PRESOL
Vida Media	t(1/2) (años)	30	STC Group
Constante de razón de producción de gas	λm (adimensional)	0,023	Ecuación (2)
Potencial de producción de gas	G (m,p) (Kg/m ³)	530,91	Ecuación (3)
Razón de producción total de gas	α (m,T) CH ₄ (kg/m ³ *año)	7,115	Ecuación (4)

En síntesis, para los 275107,26 m³ que entraron a la celda 1B, se utiliza el dato nacional (PRESOL, 2008) de 58% de fracción orgánica, se tiene un total de 1 957 Ton de CH₄. Esta cantidad de biogás es menor comparada a la obtenida usando el modelo de Emcon Associates, esto se debe a que el modelo de Emcon es una ecuación basada en condiciones óptimas de laboratorio, mientras que el modelo de Durmusogli considera un ambiente de intemperie real. La diferencia entre ambas estimaciones es de 37%

Conclusiones

Los datos obtenidos por medios computacionales para estimar los asentamientos mediante el uso de modelaros en 3D, fueron de gran utilidad para evidenciar el progreso de la reducción de volumen.

Contar con una etapa metanogénica de la celda 1B en el preciso momento de su cierre temporal, abrió una ventana de análisis primordial para esta investigación, pues redujo considerablemente factores distractores para encontrar el asentamiento por degradación que se presentó en la celda. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de condiciones de inactividad operativa, por lo que fue posible dar con valores de asentamientos fiables.

Se correlacionó cualitativamente el efecto de las precipitaciones en la degradación de la materia orgánica, se demostró que en los meses lluviosos hubo mayor degradación y en los meses secos la pendiente de degradación desciende, haciendo evidente su protagonismo en el asentamiento vinculado a la fracción orgánica.

Los valores de producción de metano simulados por ambas modelaciones dan resultados en el mismo orden de magnitud, diferenciados un 37% entre ellos, lo que indica que la cantidad real se encuentra entre esos rangos. Esto es importante para la investigación pues permite tener un primer acercamiento de generación de biogás, siendo un punto de comparación para futuras investigaciones, donde se realicen mediciones de campo o se tengan series históricas más largas para analizar.

Es recomendable realizar este mismo ejercicio en el momento que se dé el cierre de las demás celdas, para determinar el asentamiento con residuos más viejos y conocer el comportamiento de la degradación en el tiempo.

Referencias bibliográficas

Associates, E. (1980). *Methane generation and recovery from landfills*. Ann Harbor: Ann Harbor Science.

Durmusoglu, E. (2005). Landfill Settlement with Decomposition and Gas Generation. *Journal of Environment Engineerong*.

- Group, S. (2006). *stcgroup*. Retrieved from <http://www.stcgrupo.com/proyectos/miramar.html>
- Lorenzo, Y., & Obaya, C. (2005). La Digestión Anaerobia. Aspectos teóricos. Parte 1. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. XXXIX, 35-48.
- Manassero, M. (1997). Waste disposal and containment. *Proceedings 2nd International Congress Environmental Geotechnics*, (pp. 1425-1474). Osaka .
- Rivera, I. (2012). *Determinación de Asentamientos Teóricos en Rellenos Sanitarios*. San José.
- Salud, M. d. (1993). *Reglamento sobre rellenos sanitarios*. San José.
- Senior, E. (1990). Refuse decomposition. *Microbiology of landfill sites*, 17-57.
- Sower, G. (1973). Settlement of waste disposal fills. *Proc., 8th Int. Conf. on soil mechanics and Foundation Engineering Vol 2*, 207-210.
- Vaquero, I. (2004). *Manual de diseño y construcción de vertederos de residuos sólidos urbanos*.