



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“GENERACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS (ORGÁNICOS)
MUNICIPALES, IMPACTOS Y ALTERNATIVAS DE
APROVECHAMIENTO”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

John Walter Navarrete Huachallanqui (0000-0003-0518-4550)

Asesor:

Ing. Percy Iribarren Ibañez (0000-0001-8833-5224)

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°129-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 30 de septiembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Generación de residuos sólidos (orgánicos) municipales, impactos y alternativas de aprovechamiento**, presentado por:

- John Walter Navarrete Huachallanqui

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniero Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Generación de residuos sólidos (orgánicos) municipales, impactos y alternativas de aprovechamiento** con N° de registro de la carrera: **014-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador Ing. **Percy Iribarren Ibañez** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

T// (51) 610 6400
opción 2
www.cientifica.edu.pe

Campus
Panamericana Sur
km 19 - Lima 42

**GENERACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS (ORGÁNICOS) MUNICIPALES,
IMPACTOS Y ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO**

John Navarrete Huachallanqui

Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales, Lima, Perú.

Jonwal.nh@gmail.com

RESUMEN

Los residuos sólidos generados por la población, así como los desperdicios de comidas, verduras, plásticos de un solo uso, y más, son acumulados en los vertederos y rellenos sanitarios, en muchos casos en avenidas principales que pueden llegar a afectar la salud humana e impactar el medio ambiente. La abundancia de los residuos sólidos se ha estado orientando a ser uno de los problemas críticos a nivel global, todo ello debido al incremento de personas en el planeta. Este aumento exponencial tiene una relación directa con la generación de residuos, por lo que, se está imponiendo serias amenazas a nuestra sociedad, como la contaminación ambiental, el riesgo para la salud y la disminución de espacios territoriales. El principal impacto es por la generación de metano en los vertederos ya que es considerado como uno de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) más importantes debido a su potencial de calentamiento global. Hay medidas adaptadas a las buenas prácticas de gestión ambiental que son necesarias para mitigar la carga residual. En la actualidad, se realizan estudios para el aprovechamiento de residuos municipales, hay diferentes tipos de enfoques en el procesamiento y la gestión de desechos municipales para los beneficios y aplicaciones sociales. El enfoque de digestión anaeróbica y el biocompostaje han aparecido como las soluciones más ecológicas y prometedoras para el manejo de desechos municipales, la energía y la producción de nutrientes, que pueden contribuir a las necesidades energéticas de la población.

Palabras clave: Residuos sólidos, Actividades antrópicas, Gases de efecto invernadero, Aprovechamiento, Biogás, Compostaje, energía renovable, metano.

ABSTRACT

The solid waste generated by the population, as well as the waste of food, vegetables, single-use products, and more, are accumulated in landfills and sanitary landfills, in many cases in main avenues that can reach human health and impact Environment. Solid waste and its accumulation are becoming a critical problem throughout the world due to rapid population growth worldwide. This exponential increase has a direct relationship with the generation of waste, which is why it is about imposing serious responses to our society, such as environmental pollution, the risk of health and the reduction of territorial spaces. The main impact is the generation of methane in landfills and it is considered one of the most important Greenhouse Gases (GHG) due to its global warming potential. There are measures adapted to good environmental management practices that are necessary to mitigate the residual load. At present, studies are being carried out for the use of municipal waste, there are different types of results in the processing and management of municipal waste for the benefits and social applications. The approach of anaerobic digestion and biocomposting have appeared as the most ecological and promising solutions for the management of municipal waste, energy and the production of nutrients, which can contribute to the energy needs of the population.

Keywords: Solid waste, Anthropogenic activities, Greenhouse gases, Utilization, Biogas, Composting, renewable energy, methane.

REVISIÓN TEÓRICA

1. Residuos solidos

Los primeros seres vivos (hace aproximadamente 4000 millones de años) traen consigo la existencia de los residuos en el planeta. En la antigüedad, los residuos de los seres humanos eran eliminados sin tener problemas significativos porque la tasa poblacional era baja y el espacio disponible para su disposición final era grande. Sin embargo, el gran problema de los desechos inicia y se agrava a medida que va pasando el tiempo donde se han detectado cuatro causas fundamentales (el crecimiento demográfico, los centros urbanos con gran concentración de personas, el uso de materiales que se deterioran con rapidez y el uso de envases no degradables de un solo uso) (Freiles, 2016).

Diferentes actividades humanas involucradas en la producción y consumo de alimentos son los que generan desechos orgánicos que son descartados por el hecho de ser inútiles, estos desechos no cuentan con un valor asimilable y son más bien una principal causa que podría afectar las condiciones normales del ambiente (Kanmani y Gandhimathi, 2013). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) las define como las materias desechadas por las actividades de producción que no tienen ningún tipo de valor económico, debido a que, no existe una tecnología eficiente para su aprovechamiento o porque ya no existe mercado para ese residuo (Freiles, 2016). Los altos niveles de vida y una población cada vez mayor han acelerado el aumento en la cantidad de desechos. Es normal entender como residuos sólidos a los desechos generados en las viviendas de manera doméstica y en las tiendas como comercio. Algunos problemas ambientales que existen en las ciudades en proceso de urbanización de los países en vías de desarrollo están relacionados

con la inadecuada gestión de los residuos sólidos y su impacto en la calidad de las aguas subterráneas que se ha convertido en lo más destacado en los últimos años (Rajkumar, Subramani, y Elango, 2010).

Residuos sólidos de municipios

Los residuos municipales (RM) son generados por las tareas diarias de las personas, estas tareas traen consigo abundantes residuos considerados municipales. En la Unión Europea se ha visto que anualmente se incrementan 2 % de residuos equivalentes a más de 520 kg de desechos per cápita. El aumento de la generación de RM está vinculado al crecimiento de la población y, en mayor medida, al Indicador de crecimiento económico que incorpora factores ambientales y sociales (Regadío, Ruiz, Rodríguez, y Cuevas, 2015). El nivel de vida promedio puede ser vital para entender que las cantidades y características de los residuos municipales en determinados lugares son diferentes (Kumar et al., 2009).

Los desechos provenientes de las viviendas (domésticos) son considerados residuos municipales además de no tener un valor económico se consideran no deseables (basura doméstica). También incluyen residuos similares a los residuos de las empresas industriales, artesanías, comercios, hoteles, escuelas, servicios públicos, hospitales y servicios municipales, como residuos de carreteras, mantenimiento de parques y jardines, y otras áreas recreativas (Ramachandra et al., 2018). Los residuos municipales en los países en vías de desarrollo estas compuestos por más del 70% de materiales degradables, que desempeña un papel importante en las emisiones de gases de efecto invernadero. La emisión de gases de efecto invernadero se genera a partir del actual incremento de desechos sólidos municipales y su inadecuada eliminación

en la tierra (Ramachandra et al., 2018). Aproximadamente 45 toneladas métricas (TM/día) generadas en una pequeña municipalidad denominada Kharagpur, no son recolectados, esta municipalidad genera 90 TM/día y solo recolecta el 55 % del total. (Kumar y Goel, 2009). Según los estudios realizados por Kumar los residuos son vertidos sin ningún tratamiento ni aprovechamiento al campo abierto y a los riachuelos, lo que genera un flujo de agua contaminada a lo largo de sus diferentes cuencas. Otros problemas importantes son las ubicaciones de contenedores inadecuados y contenedores comunitarios mal diseñados, vehículos de recolección que están en malas condiciones, mano de obra inadecuada para la recolección y transporte de desechos (Kumar y Goel, 2009).

2. Generación de impactos en el ambiente

Los impactos ambientales vienen de la mano con la abundancia de los desechos que no son controlados adecuadamente, es decir, con tecnologías amigables con el medio ambiente. Muchos espacios marítimos y terrestres han sido alterados por la acumulación de desechos que no se han logrado controlar o eliminar en un relleno sanitario. Uno de los impactos de la abundancia de desechos en el ambiente es la afectación de las aguas del subsuelo debido a las lixiviaciones. Además, está la disminución de espacios, al haber más basura se requiere mayor territorio para su eliminación (Ramachandra et al., 2018). Los hogares generan un aproximado de 11 % de emisiones globales de metano, son considerados como una de las fuentes humanas más abundante (un tercio del total de fuentes antropogénicas) (Singh, Kumar, y Roy, 2018). En los últimos siglos, la concentración de CH₄ en la atmósfera ha aumentado rápidamente, desde los 50's hasta el año 2010, de 710 ppb a 1800 ppb. La tasa de aumento observada durante las últimas décadas es entre 1.5 a 2.5% por año (Kumar et

al., 2004), agrupadas con las fuentes naturales, es decir, los humedales y los océanos, que representan el 35% del total de generación de metano (CH_4), las actividades antropogénicas, incluida la producción y quema de combustibles fósiles, la ganadería, los vertederos y la agricultura, contribuyen con el 65% del total de emisiones globales de CH_4 (Zhang, Sun, y Li, 2017).

En los EE. UU. los vertederos representan la tercera fuente antropogénica más grande de metano, Con aproximadamente el 18% de las emisiones domésticas (Powell, Townsend, y Zimmerman, 2016). Una vez que los Residuos Municipales se depositan en vertederos, sufren descomposición aeróbica, lo que produce una cantidad muy pequeña de metano (CH_4). Sin embargo al pasar el tiempo esa cantidad pequeña se va incrementado y de esa forma se genera CH_4 por mucho tiempo ya que la condición anaerobia sigue activa y las actividades metano génicas persisten a pesar de que se encierran los vertederos (Chynoweth, Owens, y Legrand, 2001).

La salud de las personas se ve impactada por verse obligada a vivir en un entorno ambiental (aire, agua, suelo) contaminado por la pésima gestión de residuos sólidos. Durante la época medieval, la contaminación del agua en Europa ha provocado diferentes tipos de patógenos que afectaron la salud de los pobladores. Debido a las malas gestiones el cólera tuvo un gran impacto durante el siglo XIX. Los países en que se encuentran en la cúspide del crecimiento sufrieron más este tipo de impactos en la salud a falta de tecnologías de aprovechamiento y estudios técnicos para su correcta disposición final (Giusti, 2009). El rápido crecimiento de la población y las actividades de desarrollo han aumentado el nivel potencial de emisión de CH_4 , y se ha estimado que se

espera que la concentración de metano aumente de 6.88 Giga toneladas (GT) CO₂ equivalente en 2010, a 8.59 GT CO₂ equivalente para el año 2020.

El aumento de la generación de residuos sólidos tiene una relación directa con el incremento de la tasa poblacional y su forma de vivir, lo que se puede definir, como el mayor consumo de productos (Giusti, 2009). Las emisiones de metano son producto de la descomposición de residuos sólidos orgánicos generados por las personas de hogares y que han llegado a los vertederos. La fuente antropogénica es considerada como una de las principales fuentes de emisión de metano a nivel global. Uno de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) más relevantes es el metano debido a su potencial de calentamiento global, que es 28 veces más alto que el de CO₂ (Regadío et al., 2015). Es importante considerar este problema y centrarse en mejorar la recolección de los desechos, así como brindar un adecuado manejo y disposición final de estos. Por lo tanto, el confinamiento es considerado como uno de los temas más resaltantes ya que se debe realizar adecuadamente con el fin de evitar que los puntos donde se vierten los RM se transformen en focos infecciosos y contaminadores de tal manera que se pueda asegurar que no sean dispersados (Regadío et al., 2015).

Los lugares confinados con residuos municipales generan biogás, principalmente GEI como el metano, el dióxido de carbono, el nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, y en mínimas cantidades el monóxido de carbono, amoníaco y los compuestos orgánicos volátiles. Todos estos provocan impactos ambientales de diferentes formas, desde la contaminación odorífera hasta el aporte en el incremento de la temperatura media global. También, muchos de los gases son nocivos para la salud de las personas (Encarnación y Kiss, 2006).

Los residuos municipales impactan directamente a la capacidad de carga del territorio, los vertederos tienen una acumulación constante y cada vez se requieren más espacios para su uso. El inicio de la producción de CH₄ y CO₂ está en la descomposición de los residuos orgánicos encontrados en los vertederos. Uno de los impactos más relevantes es el cambio climático que se da a raíz de los gases de efecto invernadero como el CH₄ y el CO₂, el metano es considerado como el más potente debido a que retiene mayor a 20 veces el calor que retiene el dióxido de carbono (Papargyropoulou et al., 2014).

Por otro lado, los restos alimenticios generan impactos ambientales relacionados con el carbono incorporado a lo largo de su ciclo de vida. Es decir, todo el proceso que involucra su inicio hasta su final, algunos ejemplos relacionados a estas etapas son el cambio del uso del suelo, el proceso, el traslado, su acumulación y la entrega de productos a los consumidores los cuales son parte del incentivo para la producción de gases de efecto invernadero (Preece et al., 2012).

Contaminación del suelo y agua

Los vectores (animales e insectos) que se encuentran en los botaderos generan la propagación de enfermedades a las poblaciones aledañas debido a que están sin ningún tipo de cobertura. También presentan molestias y considerables impactos ambientales por la producción de lixiviados y biogás (Aronsson, Dahlin, y Dimitriou, 2010). El lixiviado transmite una importante carga de contaminación formada esencialmente por metales pesados, materia orgánica y una importante comunidad de bacterias patógenas: al lixiviar e infiltrarse a través del suelo, genera una contaminación orgánica, bacteriológica y de metales pesados de los

suelos, las aguas superficiales y aguas subterráneas (zona freática) (Mouhoun, Derridj, Tazdait, y Salah, 2019).

Fauna y enfermedades transmitas

Los residuos municipales depositados en los vertederos sirven como fuente y hogar de distintos organismos que pueden causar daño a la salud humana porque en muchos casos la distancia tan cercana a estos vertederos permite que se proliferen los vectores y sean un móvil que traslada un patógeno para provocar una infección directa en la salud humana provocando enfermedades como la malaria, diarrea, paludismo, dengue, tifoidea, etc. Los vectores más comunes son las moscas, pulgas, sancudos, y mosquitos quienes transmiten las enfermedades mencionadas. También, se pueden encontrar a los roedores y las ratas quienes son los principales transmisores de tifus, peste y leptospirosis. Por ultimo están las aves quienes se encargan de transmitir y portar la leptospirosis. Por estos motivos es importante tratar a los residuos sólidos y considerar alternativas de tratamiento y aprovechamiento de los desechos con el fin de salvaguardar la salud de las personas (Hernández, 2014).

3. Formas de reaprovechamiento

Un estudio realizado en Estados Unidos estimó la generación de residuos sólidos municipales, en el año 2014 se generaron aproximadamente 234 millones de toneladas métricas (TM) de desechos. Más del 50 % de estos desechos fueron destinados a los vertederos sin ningún tipo de tratamiento o reaprovechamiento. Recientemente diferentes investigadores han entendido que estos desechos sólidos pueden ser vitales para la producción de energía y combustible, de tal forma que el interés por parte de la población ha ido aumentando para usarla

como materia prima. El Departamento de Energía de los Estados Unidos declaró que el uso de RSM para la producción de combustible y energía tiene varias ventajas (Lee, Han, & Wang, 2017).

Estas ventajas pueden ser aprovechadas de diferentes formas, existen investigaciones sobre los procesos bioquímicos como la (Digestión y fermentación anaeróbica), La digestión anaeróbica se ha utilizado para producir biogás y gas natural renovable a partir de residuos de alimentos (Lee, Han, & Wang, 2016). Los desechos sólidos han sido estabilizados biológicamente mediante el proceso anaeróbico. El biogás es uno de los productos generados por el proceso anaerobio, este producto es considerablemente limpio porque reemplaza a los combustibles fósiles, de tal forma que reduce el impacto ambiental y la población se favorece por su uso al ser más económico y fácil de adquirir (Chynoweth et al., 2001).

Digestión anaerobia

En la actualidad se han detectado organizaciones interesadas en el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos mediante la digestión anaerobia porque están preocupados en reducir el impacto ambiental y sobre todo el calentamiento global que se viene afianzando más y más por la falta de conciencia poblacional (Muhammad, Mohd, & Omar, 2012). Existen tipos de reactores que ayudan a la puesta en práctica de la metanización biológica. El reactor de una sola etapa es uno de estos tipos, así como los reactores de dos etapas. También se encuentran reactores de flujo ascendente y de estado sólido, así como la combinación de ambos (híbridos) (Paritosh et al., 2017).

La generación de metano requiere de una configuración en partes de su proceso acorde a la necesidad poblacional para mejorar su eficiencia. Para esto, se emplean procesos de una sola etapa y de dos etapas para el tratamiento de residuos biodegradables. Para que exista una correcta digestión anaerobia de los residuos sólidos, todas las fases (hidrolisis, ácido génesis y metalogénesis) deben ocupar un lugar en el reactor y actuar en simultáneo. El reactor de una sola etapa produce dióxido de carbono, amoníaco, metano y ácido sulfhídrico en un solo recipiente a partir de las proteínas, carbohidratos, lípidos y demás compuestos poliméricos (Forster, Pérez, & Romero, 2008). Por otro lado, un digestor anaeróbico de dos etapas puede producir tanto hidrógeno como metano en dos reactores separados de desechos. En la etapa inicial del digestor anaerobio se produce rápidamente el hidrogeno y los ácidos grasos gracias a la interacción de los microorganismos y los acidogenos. Posterior a esta etapa, el CO₂ Y CH₄ son producidos a partir de la interacción de los ácidos grasos volátiles con los metanógenos y los acetógenos (Chu et al., 2008).

Fermentación

Una de las alternativas muy eficientes para el aprovechamiento de los residuos municipales es la generación de bioetanol mediante la fermentación (Lee et al., 2016). En un estudio se desarrolló el proceso de fermentación en dos etapas, una etapa es simultánea de sacarificación y fermentación, y la otra etapa de fermentación con metano seco, para utilizar la basura en la producción de etanol combustible y metano (Koike et al., 2009). Algunos investigadores desarrollaron el método de sacarificación y los resultados indicaron que el tratamiento previo de licuefacción y la combinación de celulasa y glucoamilasa fueron efectivos para la hidrólisis de polisacáridos de la basura por lo que fue adecuado para la

fermentación de la basura con etanol. La fermentación y sacarificación pueden ser claves para incrementar la producción del etanol 5 veces más que el inicial (1.5 g/L/h hasta 7 g/L/h). Se ha logrado demostrar que un gramo de sólido volátil de CH₄ seco ha generado 850 mL de biogás porque se ha digerido por completo mediante la fermentación. Más del 80 % de energía que está en los desechos se logró transformar en combustibles como etanol y gas (Koike et al., 2009).

Pirolisis y gasificación

También se encuentran a los procesos termoquímicos (Licuefacción hidrotermica, pirolisis y gasificación) para transformar los RSM en combustibles (Lee et al., 2017). Tanto los procesos de pirolisis como los de gasificación convierten los residuos sólidos orgánicos en combustible utilizando procesos termoquímicos. Los procesos de pirolisis convierten los desechos en biocarbón, bioaceite y gases (Chen, Yin, Wang, y He, 2015), y este bioaceite puede ser más procesado para producir mezclas de gasolina y biodiesel. La producción de líquidos combustibles se da a partir de la licuefacción hidrotermal, este requiere la materia orgánica (Residuos Sólidos Municipales) como materia prima (Dimitriadis y Bezergianni, 2017).

Compostaje

La materia orgánica pasa por un proceso aerobio y mediante la descomposición biológica se produce el compost juntamente con restos de agua, CO₂ y se libera energía en forma de calor. Existen cuatro etapas microbiológicas (termofílica, mesofílica, enfriamiento y maduración) que sufre la materia orgánica para cambiar su estructura y condiciones para obtener como resultado final el compost (Irvine, Lamont, y Antizar, 2010).

La estabilidad del compost se genera mediante el tratamiento anaerobio y es utilizado para acondicionar el suelo (Ramachandra et al., 2018). Los residuos municipales tienen un alto contenido de humedad y un bajo valor calorífico, lo que hace que el compostaje aeróbico sea una de las mejores estrategias de tratamiento, ya que puede ayudar a desviar más del 80% del total de residuos y puede dar lugar a enormes ahorros en los costos de recolección, transporte y eliminación de residuos (Kumar y Goel, 2009). Las familias están dispuestas a aplicar el compostaje como alternativa de aprovechamiento porque permite adaptarlo con facilidad, se pueden capacitar para que toda la familia realice el compostaje ya que cuentan con materia prima generados por ellos mismos. Además, varios países han identificado el nivel educativo, económico y cultural como factores socioeconómicos que influyen en el desarrollo del compostaje (Nsimbe et al., 2018).

Usos del compostaje (beneficios, económicos y al suelo)

En general, el carbono orgánico desempeña un papel multifuncional en el suelo, como la regulación del suministro de nutrientes a las plantas, la amortiguación, el filtrado, la restauración y el mantenimiento de la salud del suelo. También, brinda un método respetuoso con el medio ambiente que no solo mitiga los problemas de contaminación atmosférica, sino que también conserva la fertilidad del suelo y la biodiversidad. El bajo costo de compost ha facilitado su uso en los países en vías de crecimiento, los pequeños agricultores apuestan por el uso del compost para acondicionar los suelos ya que es más barato y factible que los fertilizantes comerciales (Chrysargyris, Saridakis, y Tzortzakis, 2013).

Las huminas crudas han tenido un deficiente estudio para ser utilizados como nutrientes en las plantas, sin embargo, el compost ha sido utilizado para fertilizar

las plantas de manera orgánica. Las sustancias húmicas mejoran la fertilidad del suelo mediante la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo a través de la mejora de la estructura del suelo, como fuente de nutrientes y minerales traza para la absorción de plantas con actividades de micro flora y fauna inducidas que son importantes en el ciclo de vida en la tierra (Palanivell, Susilawati, Haruna, y Muhamad, 2013). Un estudio ha demostrado que la adición o aplicación de huminas crudas a partir de residuos de sagú compostados puede aumentar la producción de materia seca vegetal, la absorción de nutrientes y la eficiencia de uso (Palanivell, Susilawati, Haruna, y Muhamad, 2013).

Además, el humus es una importante materia que sirve para activar la membrana de las plantas y ayuda a fortalecer su crecimiento por la fácil asimilación del nitrato que provoca esta sustancia. Algunos estudios han demostrado que las fracciones de sustancias húmicas de alto y bajo peso molecular promueven la apertura de la estoma. Además de aumentar la composición de la materia orgánica del suelo, juegan un factor importante en la recuperación del medio ambiente mediante la fitorremediación y la recuperación de la vegetación en el suelo infértil (Schmidt, Santi, Pinton, y Varanini, 2007).

CONCLUSIONES

La eliminación inadecuada de los residuos municipales ha provocado un grave problema ambiental (al suelo, agua y aire). Es importante considerar la conversión o transformación de los desechos sólidos en energía a través de diferentes procesos, principalmente, anaeróbicos que generan metano, lo que es, económicamente viable y ambientalmente renovable. La eficacia y los costos de la generación podrían mejorarse con los posteriores estudios de investigación y optimización que permitan asimilar diferentes procesos de fabricación de productos de valor agregado como el biocompostaje y la producción de biogás que son excelentes alternativas de aprovechamiento amigables con el ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aronsson, P., Dahlin, T., & Dimitriou, I. (2010). Treatment of landfill leachate by irrigation of willow coppice – Plant response and treatment efficiency. *Environmental Pollution*, 158(3), 795–804.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.10.003>
- Chen, D., Yin, L., Wang, H., & He, P. (2015). Reprint of: Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Waste Management*, 37, 116–136.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.022>
- Chrysargyris, A., Saridakis, C., & Tzortzakis, N. (2013). Use of Municipal Solid Waste Compost as Growing Medium Component for Melon Seedlings Production. *Journal of Plant Biology & Soil Health*, 1(2), 1–5.
<https://doi.org/10.13188/2331-8996.1000005>
- Chu, C.-F., Li, Y.-Y., Xu, K.-Q., Ebie, Y., Inamori, Y., & Kong, H.-N. (2008). A pH- and temperature-phased two-stage process for hydrogen and methane production from food waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(18), 4739–4746.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.06.060>
- Chynoweth, D. P., Owens, J. M., & Legrand, R. (2001). Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. *Renewable Energy*, 22(1), 1–8.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00019-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00019-7)
- Dimitriadis, A., & Bezergianni, S. (2017). Hydrothermal liquefaction of various biomass and waste feedstocks for biocrude production: A state of the art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 113–125.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.120>

- Encarnación, G., & Kiss, G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final G ábor K iss K öfalusi * y G uillermo E ncarnación A guilar *. *Gaceta Ecológica*, 79, 39–51.
- Forster, T., Pérez, M., & Romero, L. I. (2008). Influence of total solid and inoculum contents on performance of anaerobic reactors treating food waste. *Bioresource Technology*, 99(15), 6994–7002. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.018>
- Freiles, N. S. (2016). Manejo y separación de residuos sólidos urbanos. Análisis comparativo entre Madrid (España) y el distrito especial industrial y portuario de Barranquillas (Colombia). *Observatorio Medioambiental*, 19, 197–211. Retrieved from <http://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/54168>
- Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*, 29, 2227–2239. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.028>
- Hernández, E. (2014). Sustentabilidad y calidad de vida urbana. *Revista de Comunicación de La SEECI*, 159–169.
- Irvine, G., Lamont, E., & Antizar, B. (2010). Energy from Waste : Reuse of Compost Heat as a Source of Renewable Energy. *International Journal of Chemical Engineering*, 2010, 10. <https://doi.org/10.1155/2010/627930>
- Kanmani, S., & Gandhimathi, R. (2013). Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. *Applied Water Science*, 3, 193–205. <https://doi.org/10.1007/s13201-012-0072-z>

- Koike, Y., An, M.-Z., Tang, Y.-Q., Syo, T., Osaka, N., Morimura, S., & Kida, K. (2009). Production of fuel ethanol and methane from garbage by high-efficiency two-stage fermentation process. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 108(6), 508–512. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2009.06.007>
- Kumar, N., & Goel, S. (2009). Characterization of Municipal Solid Waste (MSW) and a proposed management plan for Kharagpur, West Bengal, India. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(3), 166–174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.11.004>
- Kumar, S., Bhattacharyya, J. K., Vaidya, A. N., Chakrabarti, T., Devotta, S., & Akolkar, A. B. (2009). Assessment of the status of municipal solid waste management in metro cities, state capitals, class I cities, and class II towns in India: An insight. *Waste Management*, 29(2), 883–895. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.04.011>
- Kumar, S., Mondal, A. N., Gaikwad, S. A., Devotta, S., & Singh, R. N. (2004). Qualitative assessment of methane emission inventory from municipal solid waste disposal sites: a case study. *Atmospheric Environment*, 38(29), 4921–4929. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.052>
- Lee, U., Han, J., & Wang, M. (2016). *Well-to-Wheels Analysis of Compressed Natural Gas and Ethanol from Municipal Solid Waste*. <https://doi.org/10.2172/1334188>
- Lee, U., Han, J., & Wang, M. (2017). Evaluation of landfill gas emissions from municipal solid waste landfills for the life-cycle analysis of waste-to-energy pathways. *Journal of Cleaner Production*, 166, 335–342.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.016>

Mouhoun, S., Derridj, A., Tazdait, D., & Salah, R. (2019). A Study of the Impact of Municipal Solid Waste on Some Soil Physicochemical Properties : The Case of the Landfill of Ain-El-Hammam Municipality , Algeria. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 8.

Muhammad, I. N., Mohd, T. I., & Omar, R. (2012). Production of biogas from solid organic wastes through anaerobic digestion: A review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 95, 321–329. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4152-7>

Nsimbe, P., Mendoza, H., Wafula, S. T., & Ndejjo, R. (2018). Factors Associated with Composting of Solid Waste at Household Level in Masaka Municipality, Central Uganda. *Journal of Environmental and Public Health*, 2018, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2018/1284234>

Palanivell, P., Susilawati, K., Haruna, O., & Muhamad, N. (2013). Compost and Crude Humic Substances Produced from Selected Wastes and Their Effects on Zea mays L . Nutrient Uptake and Growth. *The Scientific World Journal*, 2013, 15.

Papargyropoulou, E., Lozano, R., Steinberger, J., Wright, N., & Ujang, Z. bin. (2014). The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*, 76, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.020>.This

Paritosh, K., Kushwaha, S. K., Yadav, M., Pareek, N., Chawade, A., & Vivekanand, V. (2017). Food Waste to Energy : An Overview of Sustainable Approaches for Food Waste Management and Nutrient Recycling. *BioMed*

Research International, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2370927>

Powell, J. T., Townsend, T. G., & Zimmerman, J. B. (2016). Estimates of solid waste disposal rates and reduction targets for landfill gas emissions. *Nature Climate Change*, 6, 162–165. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/nclimate2804>

Preece, C., Padfield, R., & Papargyropoulou, E. (2012). A preliminary assessment of greenhouse gas emission trends in the production and consumption of food in Malaysia. In *International Journal of Technology* (Vol. 3).

Rajkumar, N., Subramani, T., & Elango, L. (2010). Groundwater Contamination Due to Municipal Solid Waste Disposal – A GIS Based Study in Erode City. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(1), 39–54. Retrieved from <http://www.ipublishing.co.in/jesvol1no12010/EIJES1004.pdf>

Ramachandra, T., Bharath, H., Kulkarni, G., & Han, S. S. (2018). Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1122–1136. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.085>

Regadío, M., Ruiz, A. I., Rodríguez, M., & Cuevas, J. (2015). Containment and attenuating layers: An affordable strategy that preserves soil and water from landfill pollution. *Waste Management*, 46, 408–419. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.014>

Schmidt, W., Santi, S., Pinton, R., & Varanini, Z. (2007). Water-extractable humic substances alter root development and epidermal cell pattern in Arabidopsis. *Plant Soil*, 300, 259–267. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9411-5>

Singh, C. K., Kumar, A., & Roy, S. S. (2018). Quantitative analysis of the methane gas emissions from municipal solid waste in India. *Scientific Reports*, *8*(1), 2913. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21326-9>

Zhang, W., Sun, W., & Li, T. (2017). Uncertainties in the national inventory of methane emissions from rice cultivation: Field measurements and modeling approaches. *Biogeosciences*, *14*(1), 163–176. <https://doi.org/10.5194/bg-14-163-2017>