

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

**IMPACTO DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS
MUNICIPALES EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA Y
AGRICULTURA EN EL SECTOR IQUITOS–NAUTA**

**IMPACT OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT
ON SMALL INDUSTRY AND AGRICULTURE IN THE
IQUITOS–NAUTA SECTOR**

Wilson Guerra Sangama

Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología, Peru

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.20377

Impacto del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en la Pequeña Industria y Agricultura en el Sector Iquitos–Nauta

Wilson Guerra Sangama¹wlison.guerra@unapiquitos.edu.pewguerra@inudi.edu.pe<https://orcid.org/0000-0002-7047-9964>

Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú

Iquitos – Perú

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar el rol de los residuos sólidos municipales en el desarrollo de la pequeña industria y agricultura en el sector de Iquitos – Nauta en el Perú, donde se tomó en cuenta otros estudios de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) del área de estudio y se realizó análisis de las características del suelo se consideró: la textura del suelo, salinidad, pH, Calcáreo total, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico (CIC), boro soluble y yeso soluble. El área de estudio estuvo representada por 8 hectáreas del Vertedero Municipal de Iquitos, ubicado en el kilómetro 1.5 de la carretera Iquitos – Nauta, se utilizó una investigación de tipo no experimental transaccional correlacional por que se ha analizado la asociación entre las variables en estudio, en un momento definido, las cuales fueron residuos sólidos municipales y fuente de recursos (abono), se utilizaron fuentes primarias y secundarias en la recolección de información y para la extracción de las muestras se tuvo presente los procedimientos establecidos en las cartillas y guía para la descripción de perfiles de suelo. El análisis estadístico de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Como resultados se tuvo que las muestras tomadas, tienen valores con ligeras variaciones, en el caso del nivel de acidez destaca la CIA 60-90 con una ligera alcalinidad (pH: 7.34), en tanto las demás tienen valores ligeramente superiores a 5.5. De modo general, son suelos que no tienen problemas de acidez. Los niveles de fósforo (P), potasio (K), el nivel medio de materia orgánica, y el alto porcentaje de saturación de bases son mayores en la CIA 60-90, lo que indicaría que tiene potencial para la producción de cultivos y sobre la concentración de metales pesados, específicamente plomo (Pb), se encuentra por debajo de los niveles máximos permisibles para uso industrial, residencial o agrícola. Concluye que el Vertedero Municipal de Iquitos genera gas Metano, lo que lo convierte en una fuente de recurso energético para la industria.

Palabras claves: residuos sólidos, vertedero, industria, contaminación

¹ Autor principal

Correspondencia: wlison.guerra@unapiquitos.edu.pe

Impact of Municipal Solid Waste Management On Small Industry and Agriculture in the Iquitos–Nauta Sector

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the role of municipal solid waste in the development of small industry and agriculture in the Iquitos-Nauta sector in Peru, taking into account other studies on Ecological and Economic Zoning (EEZ) in the study area and analyzing soil characteristics such as soil texture, salinity, pH, total calcium, organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium, cation exchange capacity (CEC), soluble boron, and soluble gypsum. The study area was represented by 8 hectares of the Iquitos Municipal Landfill, located at kilometer 1.5 of the Iquitos-Nauta highway. A non-experimental transactional correlational research design was used because the association between the variables under study was analyzed at a specific point in time, which were municipal solid waste and resource source (compost). Primary and secondary sources were used to collect information, and the procedures established in the booklets and guide for the description of soil profiles were followed for the extraction of samples. The statistical analysis of the samples was carried out at the Soil Laboratory of the Faculty of Agronomy of the National Agrarian University of La Molina, Lima. The results showed that the samples taken had slightly varying values. In terms of acidity, CIA 60-90 stood out with slight alkalinity (pH: 7.34), while the others had values slightly above 5.5. In general, these soils do not have acidity problems. The levels of phosphorus (P), potassium (K), the average level of organic matter, and the high percentage of base saturation are higher in CIA 60-90, which would indicate that it has potential for crop production. The concentration of heavy metals, specifically lead (Pb), is below the maximum permissible levels for industrial, residential, or agricultural use. It concludes that the Iquitos Municipal Landfill generates methane gas, making it a source of energy for industry.

Keywords: Solid waste, landfill, industry, pollution

Artículo recibido 25 setiembre 2025

Aceptado para publicación: 29 octubre 2025



INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos se remonta a los inicios de la humanidad, adquiriendo una relevancia cada vez mayor urbana. En la actualidad, el crecimiento demográfico, el desarrollo urbanístico, la industrialización y la producción masiva han provocado un aumento significativo en la generación de desechos que afectan al medio ambiente si no se gestionan adecuadamente. El manejo de residuos sólidos constituye un desafío global que ha alcanzado dimensiones críticas para el entorno natural y la salud humana. La contaminación resultante afecta al suelo, agua, aire y a los organismos vivos, incluyendo al ser humano a través del contacto directo, inhalación o ingestión. Para mitigar los daños ambientales, es esencial planificar y operar la disposición de residuos con el objetivo de reducir impactos negativos y riesgos para la salud pública y el entorno natural, minimizando así la migración de contaminantes. El "Manual de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales en Ciudades de América Latina y Caribe", detalla diversas estrategias para el tratamiento adecuado de estos desechos (Andia, 2006). La Organización de las Naciones Unidas subraya la importancia del manejo adecuado de residuos a través de su Agenda 21. En su punto 21.3 se establece que "los desechos sólidos... incluyen todos los residuos domésticos y aquellos no peligrosos como los generados por comercios e instituciones, basura callejera y escombros". En algunos países, el sistema también abarca residuos humanos tales como excrementos y cenizas provenientes de incineradores; estos deben ser tratados como peligrosos si presentan características nocivas.

Es fundamental que una tesis doctoral utilice el método científico para asegurar que sus resultados contribuyan al conocimiento con rigor académico; incluso si dicha contribución es mínima. La metodología científica se define como aquella que sigue las etapas propuestas por Bunge (1972), resumidas en: Planteamiento del Problema; Construcción del modelo teórico; Deducción de consecuencias particulares; Prueba de hipótesis; Conclusiones vinculadas con la teoría. Estas fases están integradas en cada capítulo del trabajo: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión y Propuesta (Bunge, 1972).

El uso riguroso del método científico implica aplicar principios tales como análisis lógico-sintáctico-semántico; empleo del método experimental para verificar afirmaciones informativas; observación detallada para deducir pruebas universales; formulación precisa de preguntas; utilización estadística



para recolección y análisis datos; reconocimiento constante de que no existen preguntas finales ni respuestas definitivas. Estos principios son esenciales en todas las etapas del proceso tesis (Bunge, 1972).

El estudio tiene lugar en el vertedero municipal ubicado en el kilómetro 1.5 de la carretera Iquitos-Nauta. Este sitio fue inaugurado en 1980 y hasta mayo de 2007 ha recibido desechos sólidos provenientes principalmente de Iquitos junto con sus distritos: Punchana, Villa Belén y San Juan Bautista. Las condiciones operativas del vertedero son relatadas conforme a evaluaciones realizadas por la Municipalidad Provincial de Maynas (MPM-Pigars, 2005).

Con una extensión total de ocho hectáreas —de las cuales seis están cubiertas por vegetación— este vertedero ha recibido alrededor promedio anualmente 139 mil toneladas métricas en años recientes. Antes del depósito definitivo en este sitio se llevaron a cabo actividades previas orientadas al reciclaje específico para plásticos, cartones y vidrios.

En relación al proyecto Biodamaz, se ha investigado el área circundante a esta carretera dentro del ecosistema boscoso tropical húmedo. Fisiográficamente presenta colinas bajas junto con terrazas medias típicas del paisaje amazónico. Desde una perspectiva biodiversa destaca una formación florística denominada varillal —un ecosistema frágil necesario preservar tanto desde fines turísticos como científicos— caracterizado por su alta biodiversidad sobre suelos poco aptos para agricultura convencional. Asimismo existe un complejo sistema hídrico capaz drenar lluvias abundantes ofreciendo potenciales recursos hídricos útiles para acuicultura o incluso generación hidroeléctrica mediante pequeñas instalaciones energéticas accesibles sin requerir grandes inversiones (Carruitero, 2006).

La población situada alrededor esta carretera es mayoritariamente joven: un 50% tiene menos 15 años mientras que solo un 2% supera los 65 años según datos proporcionados por la Municipalidad Provincial Maynas (MPM-Pigars, 2005).

Las comunidades asentadas son principalmente dedicadas a prácticas agropecuarias subsistenciales aunque recientemente han comenzado especializarse hacia cultivos industriales tales como caña azúcar destinada aguardiente local o pijuayo palmito destinado mercados nacionales e internacionales. Los cultivos tradicionales —arroz, maíz, plátano, yuca— poseen baja productividad normalmente limitados ciclo corto destinados exclusivamente consumo familiar (Sandoval, 2006).

La mayoría tierras contiguas carretera carecen idoneidad agrícola; estudios realizados IIAP (1996) indican apenas 1,6% terrenos aptos cultivo limpio (para productos básicos), 16,3 % permanentes (sistemas agroforestales) restando vocación forestal protección (Yalta, 2007).

Por otro lado, la agricultura practicada aquí tiende hacia modelos migratorios basados tala/quema presentando desperdicio elevado recursos escasa productividad ;aunque sostenible quizás único aplicable modelo aquí resulta insostenible dado alta densidad habitacional demanda excepcional recursos naturales proximidad ciudad pobreza extrema suelos ;los campesinos dependen estrictamente productos parcela (Collazos, 2006).

El tratamiento residuos sólidos constituye pieza clave política ambiental: su adecuada gestión busca prevenir degradación ambiental cuando generación excede capacidad transformación naturaleza. Evidencian correlaciones entre volumen calidad residuos desarrollo económico nivel urbanización; en EE.UU promediaban 1986 aproximadamente 1 .5 kilos per cápita diarios mientras Alemania Occidental 1 .2 Japón 1 .4 Lima metropolitana alcanzaba 0 .55 kilos Iquitos registró 0 .61 kilos per cápita diario; anexamos cuadros detallando valores comparativos americanos peruanos (Field et.al, 2005).

Generalizando relaciones entre tamaño urbano poblacional encontramos manual gestión RSM ciudades latinoamericanas caribeñas mayores poblaciones generan más kilos diarios residuales; Iquitos siendo ciudad mediana menos 500 mil habitantes asocia rango entre 0 .5 –0 .8 kilogramos per cápita diarios; cuadro adicional ofrece más detalles específicos (Yunén et.al, 2006).

El gas recuperado puede ser utilizado de diversas formas. Por ejemplo, se puede emplear en la generación de electricidad mediante generadores de combustión interna, turbinas o microturbinas. También sirve como combustible para calentadores de agua y otras instalaciones; sin embargo, a menudo se quema utilizando quemadores. Además de los beneficios energéticos asociados al biogás, su recolección y gestión contribuyen a la disminución de emisiones contaminantes en la atmósfera. El uso e incluso la quema controlada del gas mediante quemadores pueden formar parte de programas de Créditos de Carbono, los cuales ayudan a mitigar el efecto invernadero y la contaminación ambiental (Nebel & Wright, 1999).

La cuantificación del volumen de metano en el vertedero municipal de Iquitos, situado en el kilómetro 1.5 de la carretera Iquitos – Nauta, representa un paso significativo hacia la obtención de beneficios por medio del biogás recuperado. Las proyecciones sobre la recuperación se determinan multiplicando las estimaciones por la eficiencia del sistema de recolección. Este estudio se centra en medir el volumen del gas presente en el vertedero (Carranza, 2001).

El enfoque relacionado con el stock de recursos también es aplicable a la recuperación de productos provenientes del vertedero, ya que aumenta tanto los recursos disponibles para energía como aquellos que enriquecen el suelo. Es importante destacar la conexión entre recursos y pobreza: “... las economías menos favorecidas dependen más intensamente de sus recursos naturales que aquellas más desarrolladas... Por lo tanto, la sostenibilidad en estas sociedades dependerá del mantenimiento adecuado de su stock natural; no obstante, incluso con un stock mantenido, podría no lograrse una economía sostenible. Un mayor stock permitirá a las economías empobrecidas una mayor flexibilidad para adaptarse a choques externos...” (Galarza, 2004).

El crecimiento económico necesita varios elementos fundamentales, incluyendo alimentos y energía. La agricultura requiere suelos ricos en nutrientes; sin embargo, los suelos en Loreto presentan bajos niveles productivos. Asimismo, es impensable desarrollar industria sin acceso a energía. La región Loreto enfrenta un déficit crónico energético, especialmente en electricidad generada por centrales térmicas. Desarrollar alternativas energéticas es crucial para abordar esta carencia (Aguayo et.al., 2005). Los residuos sólidos municipales pueden jugar un papel clave en buscar soluciones tanto para enriquecer los suelos como para generar energía. La recuperación derivada de la degradación de estos residuos ayuda a reducir la contaminación del suelo, agua y aire (Morales et.al., 2005).

La problemática que se investigará se enfoca en aumentar el stock disponible de recursos desde dos perspectivas: una orientada al enriquecimiento del suelo para prácticas agrícolas y otra relacionada con la producción energética proveniente del tratamiento de residuos sólidos generados en el vertedero municipal ubicado en el kilómetro 1.5 de la carretera Iquitos - Nauta.

METODOLOGÍA

Tomando en consideración los estudios de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) correspondientes al área de investigación, se llevaron a cabo análisis sobre las características del suelo. Para ello, se recolectaron muestras mediante la perforación de calicatas, utilizando herramientas como lampas, picos, espátulas, winchas, cuchillos o navajas, lupas, tablas Munsell para suelos y bolsas de polietileno transparente de medio kilo, además del apoyo de dos trabajadores.

El área investigada abarca 8 hectáreas dentro del Vertedero Municipal de Iquitos, situado en el kilómetro 1,5 de la carretera Iquitos – Nauta; influenciada por un ecosistema de bosque húmedo tropical. Esta región se caracteriza por temperaturas y niveles de humedad elevados que permanecen relativamente constantes durante todo el año; presenta una precipitación anual promedio de 2,600 mm y una temperatura media de 26,5°C. Desde un enfoque fisiográfico, el paisaje incluye colinas bajas y terrazas medias que dominan una parte del territorio.

Este estudio es no experimental transaccional correlacional ya que se examinó la relación entre variables independientes y dependientes en un momento específico, identificando sus relaciones causales además de fundamentarse en una hipótesis correlacional. Para la recolección de datos se emplearon los siguientes instrumentos:

Fuentes secundarias

- Análisis bibliográfico sobre rellenos sanitarios y vertederos municipales.
- Zonificación Ecológica y Económica correspondiente a la carretera Iquitos – Nauta.
- Revisión bibliográfica sobre la elaboración y características del compost.

Fuentes primarias

Se decidió extraer cuatro muestras del área sin vegetación cubierta donde se construyeron cuatro calicatas con dimensiones de 0,80 metros de ancho, 1 metro de largo y 1,5 metros de profundidad para realizar la recolección.

En el proceso de extracción se siguieron los procedimientos establecidos en las guías para describir perfiles edáficos. Para cada horizonte identificado se definieron muestras pesando un kilogramo destinado al análisis en laboratorio.

El análisis estadístico fue realizado en el Laboratorio de Suelos perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima.

Los cálculos fueron efectuados utilizando Microsoft Excel; mientras que Microsoft Word y PowerPoint fueron empleados para la redacción del documento y presentaciones respectivamente.

Para cuantificar el gas metano se aplicó el Modelo Centro Americano de Biogás basado en los residuos sólidos municipales acumulados en el vertedero. En lo que respecta al metano, este estudio también es no experimental transaccional correlacional ya que analizó las asociaciones entre variables independientes y dependientes en un momento definido e identificó sus relaciones causales sustentadas además en una hipótesis correlacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1 Análisis del suelo del Vertedero Municipal de Iquitos.

MUESTRA	pH	%			Suma de Cationes	Suma de Bases
		CaCO ₃	M.O.	Sat. de Bases		
CIA, 0-30	6.04	0	1.8	88	2.26	2.26
CIA, 30-60	6.74	0	1.6	100	2.72	2.72
CIA, 60-90	7.34	0	2.6	100	3.2	3.2
CIB, 30-60	6.79	0.2	2.4	100	3.68	3.68

MUESTRA	ppm				C.E.
	Pb	Cd	P	K	
CIA, 0-30	5.75	0	7.1	40	0.26
CIA, 30-60	6.87	0	10.1	92	0.62
CIA, 60-90	6.87	0	26.6	283	1.07
CIB, 30-60	19.5	0	31.6	119	0.55

MUESTRA	CIC	me/100g				
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺
CIA, 0-30	2.56	1.85	0.23	0.05	0.13	0
CIA, 30-60	2.72	2.23	0.26	0.09	0.14	0
CIA, 60-90	3.2	2.15	0.51	0.33	0.21	0
CIB, 30-60	3.68	2.9	0.43	0.22	0.13	0

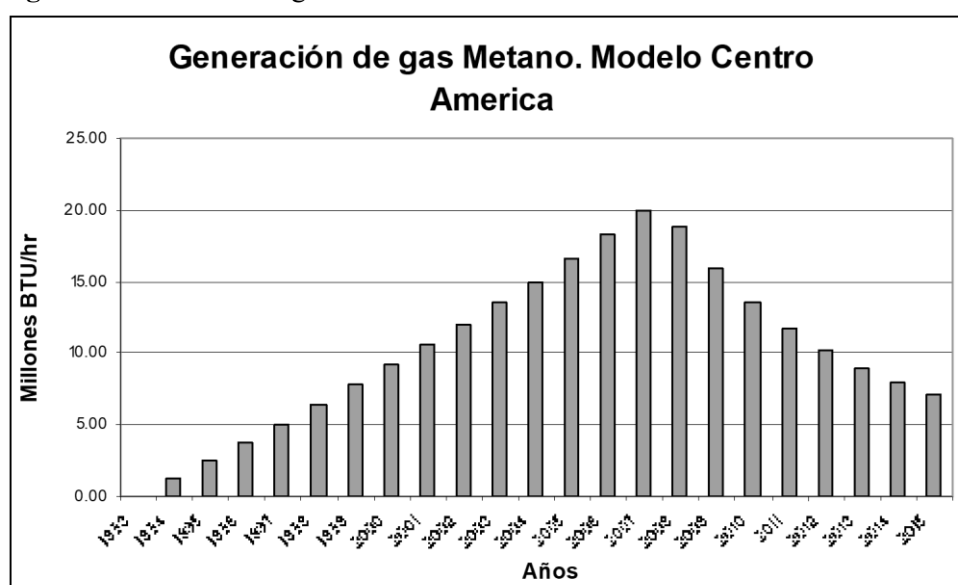
Fuente: Obtenido por el autor.

En la Tabla 1, se observan ligeras variaciones en los valores. Por ejemplo, la muestra de la CIA 60-90 destaca por su leve alcalinidad (pH: 7.34), mientras que las otras muestras presentan valores ligeramente superiores a 5,5. En términos generales, estos suelos no muestran problemas relacionados con la acidez. Los niveles de fósforo (P) y potasio (K), junto con un contenido medio de materia orgánica y un alto porcentaje de saturación de bases, son más prominentes en la CIA 60-90. Esto sugiere que esta muestra tiene un mayor potencial para la producción agrícola en comparación con las demás.

Respecto a la concentración de metales pesados, específicamente el plomo (Pb), este elemento se encuentra por debajo de los límites máximos permitidos para usos industriales, residenciales o agrícolas. Sin embargo, debido a la textura del suelo, existe el riesgo de que pueda filtrarse rápidamente hacia el subsuelo y contaminar los acuíferos. Entre las muestras analizadas, la CIB 30-60 presenta casi tres veces más plomo que las otras muestras; no obstante, este valor aún se mantiene dentro del límite permitido. Es por ello que se puede afirmar que las características del suelo del Vertedero Municipal de Iquitos son las siguientes:

- Presenta una ligera alcalinidad sin problemas significativos de acidez.
- Los valores de conductividad eléctrica (CE) indican que no hay altas concentraciones de sales ni sodio.
- Los niveles de nitrógeno y sodio resultantes de la descomposición de materia orgánica son bajos; además, la deficiencia en potasio y fósforo impide considerar estos elementos como beneficiosos para suplementar prácticas agrícolas.
- Aunque los contenidos de metales pesados como el plomo están por debajo del umbral máximo permisible, la textura del suelo podría facilitar su migración al subsuelo, generando un posible riesgo de contaminación en los acuíferos.

Figura 1 Generación de gas Metano.



Fuente: Obtenido por el autor

Tabla 2 Generación de gas Metano en el Vertedero Municipal de Iquitos.

Año	Residuos Sólidos	Residuos Sólidos Acumulados	Generación de gas Metano	
	(TN/año)	(TN)	(m3/hr)	(MillonesBTU/hr)
1993	39,683	39,683	0	0
1994	47,620	87,303	69.02	1.23
1995	55,556	142,859	139.46	2.49
1996	63,493	206,352	211.34	3.78
1997	71,430	277,782	284.67	5.09
1998	79,366	357,148	359.45	6.42
1999	87,303	444,451	435.67	7.79
2000	95,240	539,691	513.30	9.17
2001	103,176	642,867	592.35	10.58
2002	111,113	753,980	672.77	12.02
2003	119,050	873,030	754.54	13.48
2004	130,955	1,003,985	837.64	14.97
2005	138,891	1,142,876	928.95	16.60
2006	150,796	1,293,672	1020.28	18.23
2007	66,139	1,359,811	1118.77	19.99
2008	0	1,359,811	1055.40	18.86
2009	0	1,359,811	891.65	15.93
2010	0	1,359,811	760.13	13.58
2011	0	1,359,811	654.26	11.69
2012	0	1,359,811	568.80	10.16
2013	0	1,359,811	499.59	8.93
2014	0	1,359,811	443.33	7.92
2015	0	1,359,811	397.40	7.10

Fuente: Obtenido por el autor

En la Tabla 2, se tiene la correlación entre la cantidad de gas producido y el volumen de residuos sólidos acumulados en el vertedero es directamente proporcional al total acumulado. A medida que se incrementa la cantidad de residuos, también se eleva la generación de gas. Una vez que el volumen de residuos sólidos depositados en el vertedero alcanza su límite debido a su clausura, el volumen se estabiliza y la producción de gas comienza a decrecer anualmente.

En el año 2008, el Vertedero Municipal de Iquitos generó 18.86 millones BTU/hora de gas metano. Dado que se cerró en 2007, estamos en una fase donde la producción de gas está disminuyendo. Los valores estimados del gas metano, conforme al modelo empleado para Centro América, están reflejados en la Tabla 2 y la Figura 1.

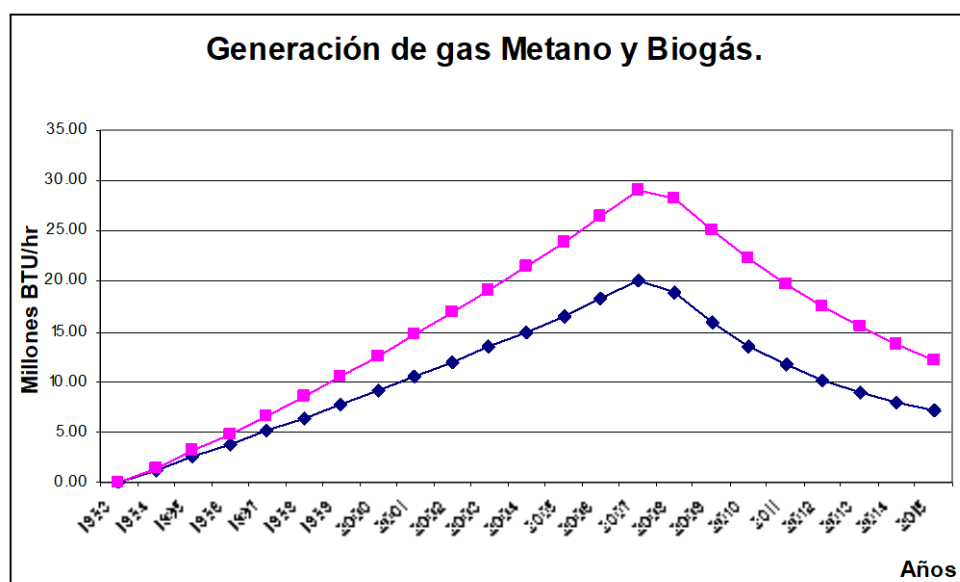
El año con mayor producción de gas fue 2007, alcanzando los 19,99 millones BTU/hora. Desde entonces y hasta 2015, los volúmenes de metano generados han mostrado una tendencia a la baja, finalizando con una producción de 7,10 millones BTU/hora en ese último año.

El análisis del suelo en el Vertedero Municipal de Iquitos indica que los residuos sólidos degradados presentan escasos niveles de nutrientes, lo que no asegura su eficacia como complemento para enriquecer los suelos agrícolas; en otras palabras, no se puede obtener compost. No obstante, es factible producir compost a partir de residuos sólidos municipales. La experiencia documentada por CONAM (2004) en Carhuaz demuestra que, mediante una metodología adecuada para el tratamiento de estos residuos, se logra la obtención de compost.

Asimismo, Acurio et al. (1997) y el Manual de gestión integrada de residuos sólidos municipales en ciudades de América Latina y el Caribe de Andía (2006) afirman que es posible generar compost a partir de estos residuos y sugieren su tratamiento para prevenir la contaminación del suelo y agua, además de fomentar ingresos para quienes participan en los procesos de reciclaje y producción de compost destinado a la agricultura.

En la investigación se ha señalado que, en el Vertedero Municipal de Iquitos, dado que solo se realiza una selección básica de materiales y el tratamiento depende esencialmente del proceso natural de degradación influenciado por factores ambientales como humedad, precipitación y temperatura del bosque tropical húmedo, no se pueden obtener compost a partir de los residuos sólidos municipales.

Figura 2 Comparación de gases generados en el Vertedero Municipal de Iquitos.



Fuente: Obtenido por el autor.

Tabla 3 Comparación de generación de gases (Metano y Biogás), en el Vertedero Municipal de Iquitos.

Año	Modelo Centro America	Modelo Mexicano V 1.0	Exceso Mexicano vs Centro América
	Millones BTU/hr	Millones BTU/hr	Millones BTU/hr
1993	0.00	0.00	0.00
1994	1.23	1.48	0.25
1995	2.49	3.09	0.60
1996	3.78	4.81	1.03
1997	5.09	6.64	1.55
1998	6.42	8.55	2.12
1999	7.79	10.54	2.76
2000	9.17	12.61	3.43
2001	10.58	14.73	4.15
2002	12.02	16.91	4.89
2003	13.48	19.14	5.66
2004	14.97	21.42	6.45
2005	16.60	23.88	7.28
2006	18.23	26.36	8.13
2007	19.99	29.00	9.01
2008	18.86	28.19	9.33
2009	15.93	25.00	9.07
2010	13.58	22.17	8.59
2011	11.69	19.67	7.98
2012	10.16	17.44	7.28
2013	8.93	15.47	6.54
2014	7.92	13.72	5.80
2015	7.10	12.17	5.07

Fuente: Obtenido por el autor.

La descomposición de los residuos sólidos en este vertedero produce metano en volúmenes inferiores al total generado como biogás. Los valores comparativos aparecen reflejados en la Tabla 3 y la Figura 2. La cantidad total de biogás fue calculada utilizando el Modelo Mexicano V 1.0.

Los volúmenes estimados para el biogás son mayores porque estudios previos (Schmidt, 1999; Aguirre et al., 2000; Guzzone, 2003) indican que el metano producido en vertederos o rellenos sanitarios representa entre un 50% y un 55% del biogás total generado. En modelos aplicados a Centroamérica se considera un porcentaje del 50%. Es relevante mencionar que las proyecciones muestran una simetría entre las curvas generadoras tanto del metano como del biogás a largo plazo.

El volumen estimado del gas metano se calcula por su alto poder calorífico (9.90 KWh/Nm³), mientras que el segundo componente más significativo, el dióxido de carbono (CO₂), tiene un efecto neutro (Schmidt, 1999). Es crucial señalar que según Schmidt, después de aproximadamente 2.5 años desde la degradación inicial, la producción de metano supera a la del CO₂; antes de este período, esta última es significativamente mayor. Esta relación es fundamental para determinar cómo utilizar los gases

generados durante la descomposición: ya sea mediante su combustión o comercializándolos como créditos carbonosos.

Los hallazgos investigativos evidencian que la utilización de residuos sólidos municipales provenientes del vertedero situado en el kilómetro 1.5 de la carretera Iquitos – Nauta tiene un efecto positivo sobre el desarrollo industrial principalmente debido al aprovechamiento potencial del gas metano como recurso valioso para la sociedad. En cuanto a la agricultura, dado que los procesos actuales no producen compost efectivo por parte de los residuos sólidos degradados, su impacto resulta ser neutral.

CONCLUSIONES

El Vertedero Municipal de Iquitos produce gas metano, lo que lo transforma en una fuente de energía para la industria. Esto valida parcialmente la hipótesis de trabajo. Los volúmenes de gas metano, hasta el año 2015, muestran un aumento constante desde 2007, seguido de una disminución continua debido al cierre del vertedero, resultado de la restricción en la acumulación de residuos sólidos.

El modelo utilizado para calcular la generación de gas metano en Centro América presenta valores más bajos que el modelo mexicano de biogás. Esta diferencia se debe a que el modelo centroamericano se enfoca exclusivamente en la producción de gas metano, mientras que el mexicano considera la generación total de biogás.

Para producir compost a partir de residuos sólidos municipales, no es suficiente con su simple degradación, como se evidenció en el estudio realizado; por lo tanto, actualmente no hay una fuente adecuada de recursos agrícolas proveniente del Vertedero Municipal. En este contexto, no se ha comprobado una parte específica de la hipótesis.

Existen alternativas y procesos recomendados que permiten la creación de compost a partir de residuos sólidos municipales. El compost actúa como un enriquecedor del suelo destinado a la agricultura. Su producción a partir de estos residuos tendrá un impacto positivo en la Amazonía, tanto en términos laborales como productivos y ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACURIO, Guido; ROSSIN, Antonio; TEIXEIRA, Paulo Fernando; ZEPEDA, Francisco (2000). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. BID, OEA. Washington D.C.
- AGUAYO, F; HERRERA RODRIGUEZ, F., CABAÑAS VARGAS, D.D. (2005). El uso de composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares. (Artículo científico). Universidad de Yucatán. México.
- AGUIRRE SALDIVAR, Rina; CAMACHO REA, Irene; SOLORZANO OCHOA, Gustavo. (VI-083). Metodología para la determinación de emisión de gases invernadero de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales. XXVII Congreso Interamerica de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Asociación Brasileira de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ABES.
- ANDIA VALENCIA, Walter. (2006). Manual de Gestión Ambiental. Centro de Investigación y Capacitación Empresarial. CICE. Perú.
- BUNGE, Mario. (1972). La investigación científica. Su estrategia y su filosofía. Barcelona España: Ediciones Ariel.
- CARRANZA NORIEGA, Raymundo. (2001). Medio Ambiente, problemas y soluciones. Perú: Universidad Nacional del Callao.
- CARRUITERO LECCA, Francisco. (2006). Derecho del Medio Ambiente. Selección de lecturas. Perú: Librería Studio Distribuidora SRL.
- COLLAZOS CERRON, Jesús. (2006). Manual de evaluación ambiental de proyectos. Lima: Editorial San Marcos.
- CONAM-DIGESA. (2004). Guía técnica para la clausura y conversión de vertederos de residuos sólidos. Lima.
- FIELD, Barry C. y ASQUETGA OYARZUN, Diego (2005). Economía y Medio Ambiente. Tomo I, II y III. México: Mc Graw-Hill.
- GALARZA CONTRERAS, Elsa. (2004). La economía de los recursos naturales. Perú: Centro de investigación de la Universidad del Pacífico.



- GUZZONE, Brian; MULLER, Duane; STEGE, Alex G. (2003). Manual de usuario, Modelo mexicano de Biogás.
- MORALES LOPEZ, Ossana; PELAEZ CAVERO, Catherine del Pilar; SOLOGUREN ARIAS, Jimena Patricia; VALZ OSORIO, Giovanni Carlos. (2005). Modelo de desarrollo sustentable para zonas rurales del Perú. Perú: Centro de Negocios de la PUCP, CENTRUM.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MAYNAS - PIGARS. (2005). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de la provincia de Maynas.
- NEBEL, J.B. y T. Wright. (1999). Ciencias Ambientales. Ecología y Desarrollo Sostenible. Cap. 20: Conversión de Basura en Recursos. (6° ed). México: Prentice Hall.
- SANDOVAL ALVARADO, Leandro. (2006). Manual de tecnologías limpias en Pymes del sector Residuos Sólidos. Organización de Estados Americanos (OEA). Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONCYTEC).
- SCHMIDT, Félix. (1999). Valoración del Biogás en un relleno sanitario. Seminario internacional Gestión y residuos sólidos y peligrosos, siglo XXI. Medellín, Colombia.
- YALTA VEGA, Ronald; MANRIQUE DEL AGUILA, Julio Abel. (2007). Comportamiento de las características físicas y químicas de un suelo de tierra firme con incorporación de compost de guaba (*inga edulis*) en rotación de cultivos en cajjenos. Zúngaro Cocha. (Tesis de Maestría). Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- YUNEN, Rafael Emilio; RODRIGUEZ, Roberto Eliseo; SANCHEZ, José Ramón. (2006). Guía Metodológica de Capacitación en Gestión Ambiental y Urbana para Universidades de América Latina y el Caribe. (1° ed.). PNUD. República Dominicana.

