

Metano

Contaminación y mitigación, desde una mirada basura cero

Alicia Franco | Viviana Rocha Arias | José Luis Solano | José Ricardo Guamán



Metano

Contaminación y mitigación, desde una mirada basura cero

Metano

Contaminación y mitigación, desde una mirada basura cero

Autores:

Primera Parte: Diagnóstico de emisiones de metano y lixiviados de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) del Ecuador

Alicia Franco¹, José Luis Solano² y José Ricardo Guamán²

Segunda Parte: Sistematización de iniciativas que gestionan residuos orgánicos en el país

Viviana Rocha Arias¹

1. Proyecto Metano y Cambio Climático, Universidad Andina Simón Bolívar/Alianza Basura Cero Ecuador

2. Universidad Católica de Cuenca

Revisión de textos:

Fernanda Solíz

Melanie Valencia

Gabriela Galarza Ferrín

Marcos Gonzales

Diseño editorial:

Pato Chávez

Quito – Ecuador

2024



Tabla de contenidos

7	Parte 1 Diagnóstico de emisiones de metano y lixiviados de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) del Ecuador
8	Introducción
9	Metano y cambio climático
10	Fuentes de emisiones de metano
11	Emisiones de metano del sector residuos
13	Lixiviados
15	Objetivo de la investigación
16	Metodología
18	Resultados
18	Tipos de residuos producidos y sitios de disposición final
20	Producción de metano y lixiviados en los sitios de disposición final
25	Producción de metano per cápita
30	Conclusiones y recomendaciones
32	Bibliografía
35	Parte 2 Sistematización de iniciativas que gestionan residuos orgánicos en el país
36	Introducción
36	Generación de residuos orgánicos
37	Modelos de gestión de residuos orgánicos
37	Compostaje de residuos orgánicos
38	Compostaje industrializado
39	Compostaje descentralizado

41	Metodología
43	Resultados
43	Mapeo de iniciativas
47	Metano evitado por tonelada de basura dispuesta
50	Lixiviados evitados por tonelada de basura dispuesta
52	Estimación económica
53	Impacto de los recicladores de base
54	Conclusiones
56	Bibliografía
58	Anexos
58	Anexo 1. Enlace de acceso a mapas originales con buena resolución
59	Anexo 2. Tabla resumen de la gestión de residuos orgánicos de los GAD municipales

Parte 1

DIAGNÓSTICO DE EMISIONES DE METANO Y LIXIVIADOS DE LOS 221 GOBIERNOS AUTÓNOMOS DESCENTRALIZADOS (GADS) DEL ECUADOR

Alicia Franco¹,

José Luis Solano²

José Ricardo Guamán²

1 Proyecto Metano y Cambio Climático,
Universidad Andina Simón Bolívar/Alianza Basura Cero Ecuador

2 Universidad Católica de Cuenca

Introducción

Este boletín pretende hacernos navegar por el primer diagnóstico de generación de metano y lixiviados de los sitios de disposición final de residuos sólidos (rellenos sanitarios, botaderos y celdas emergentes) de los 221 GADs del Ecuador, y plantea preguntas críticas y reflexivas sobre esta problemática, para luego mostrarnos uno de los primeros mapeos de iniciativas ciudadanas que, de manera inteligente y descentralizada, nos enseñan el camino para transformar el problema de los residuos en una solución con el potencial de cambiar incluso la manera de habitar una ciudad.

Metano y cambio climático

La evolución de la atmósfera está completamente ligada a la historia de la biota de nuestro planeta. Se trata de un proceso de millones de años y de interacciones entre microorganismos que, a medida que fueron evolucionando, transformaron también la composición atmosférica. Así también generaron este espacio-tiempo donde las condiciones de vida son estables para sostener la existencia como la conocemos.

Sin embargo, hoy estamos viviendo la era del antropoceno, donde la humanidad ha logrado convertirse en una fuerza que ha transformado todo, presionando los límites planetarios que mantienen la estabilidad en nuestro planeta (Richardson et al. 2023). Las concentraciones de CO₂, metano y otros gases en la atmósfera, producto de las actividades antropogénicas extractivas, están incrementando la temperatura global, amenazando con cambiar drásticamente los patrones meteorológicos de nuestro planeta (Farmer y Cook 2013).

El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) ha advertido que los océanos se están calentado, la cantidad de nieve y hielo

glaciar disminuyen mientras que el nivel del mar ha subido. Todo esto, debido principalmente al calentamiento global producto de una alta concentración de gases de efecto invernadero (GEI) que han aumentado en las últimas décadas a un ritmo vertiginoso y sin precedentes (Bodelier y Steinberg 2014).

Cuando hablamos de cambio climático y gases de efecto invernadero el CO₂ es el protagonista, en tanto constituye el 99% de los GEI y su tiempo de permanencia en la atmósfera es de cien años. Sin embargo, el metano, que representa el 1% de las emisiones y cuyo tiempo de vida en la atmósfera es de 12 años, ha empezado a ganar relevancia (Mar et al. 2022). Debido principalmente a su potencial de calentamiento global GWP o capacidad de absorber calor, que es entre 84 y 87 veces mayor a la del CO₂ en una escala de tiempo de 20 años y 28 veces más poderoso en una escala de tiempo de 100 años (Jackson et al. 2020). Sumado a esto, sus concentraciones han aumentado de manera alarmante en los últimos quince años.

En el 2018, la fracción de metano en la atmósfera llegó a 1857 ppb (partes

por billón), una concentración 2.6 veces mayor que su estimado preindustrial de 1750 (Saunois et al. 2016). El metano se descompone a través de oxidación atmosférica, donde casi el 100% del carbono del CH_4 se convierte en CO_2 (Heald y Kroll 2020), y una pequeña cantidad se convierte en productos intermedios de oxidación que son eliminados en la atmósfera (Shindell et al. 2017). Esto implica que, durante los primeros doce años, cada molécula de metano causará un efecto invernadero 84 veces más potente que una

molécula de dióxido de carbono, y luego se descompondrá en CO_2 que continúa produciendo un efecto en la atmósfera (Mar et al. 2022).

Bajo la misma línea de crecimiento en las emisiones de CH_4 , se ha estimado que las de origen antropogénico aumentarán por encima del 15% para el año 2030, alcanzando casi 380 millones de toneladas por año, lo que supone un aumento del 8% respecto a los niveles de 2020 (UNEP 2021).

Fuentes de emisiones de metano

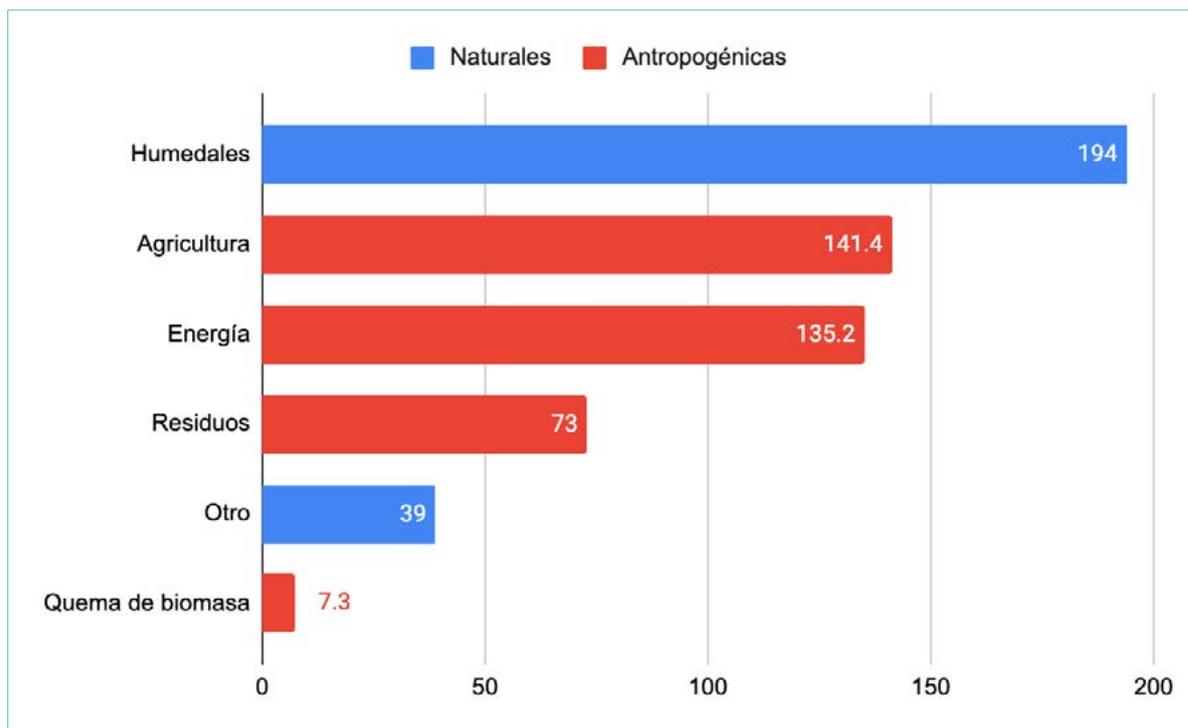


FIGURA 1. Emisiones globales de metano (millones de toneladas (Mt) por año) y sus fuentes.

Fuente: International Energy Agency IEA, 2021. Elaboración: Universidad Andina Simón Bolívar, Alianza Basura Cero Ecuador, Proyecto Metano y Cambio Climático, 2023.

A nivel global, el 40% del metano es generado por fuentes naturales, principalmente por humedales, y el 60% es de origen antropogénico (Skeie, R. et al. 2023). De estas últimas actividades, la agricultura figura como la que mayor emisiones genera

(40%), otras fuentes importantes de emisiones son la energía (35%), los residuos (20%), la quema de biomasa, entre otras (Changing Markets Foundation, EIA y GAIA 2023). La FIGURA 1 muestra la cantidad de emisiones de metano a nivel mundial a partir de sus distintas fuentes, en millones de toneladas al año.

Emisiones de metano del sector residuos

Pese a que las emisiones de metano son multicausales, en este boletín nos enfocaremos en el sector de los residuos ya que representa el 20% de las emisiones globales de este GEI.

El fenómeno de la producción de residuos en la modernidad tiene que ver con una sociedad capitalista y altamente consumista donde los procesos de crecimiento y acumulación de capital generan también una producción incalculable de volúmenes de todo tipo de desechos (Soliz et al. 2017) que son una contaminación latente que también se acumula y sigue contaminando. Además de que estos desechos ocupan espacio, territorios que son sacrificados para sostener este modelo lineal de producción-consumo y contaminación.

Entre los métodos más comunes para disponer los residuos sólidos están los rellenos sanitarios, celdas emergentes, botaderos o vertederos, por la relativa facilidad que representa implementarlos cuando no se consideran variables ambientales y técnicas, y por ende resultan más económicas en contraste a otras tecnologías que sí precautelan y proce-

san mejor estos residuos. Se prevé que la cantidad anual de residuos producidos en 2025 alcanzará las 2 200 millones de toneladas. Cabe mencionar que a nivel mundial la manera más común de suponer la basura sigue siendo el relleno sanitario o el vertedero (Reshadi 2021).

El enterramiento como disposición final de los residuos sólidos, es el causante principal de las emisiones de metano, sobre todo por la presencia de la materia orgánica (residuos de alimentos, de jardinería como madera, ramas, hojas, de desechos humanos, cartón y papel). Todos estos residuos que se depositan en vertederos, basureros o rellenos sanitarios, entran a un proceso de descomposición anaeróbica, que es el precursor de las emisiones de metano y lixiviados (Changing Markets Foundation, EIA y GAIA, 2023). Y son los residuos sólidos urbanos (RSU) los que se constituyen como los responsables de la mayoría de las emisiones procedentes de este sector (Solíz et al 2020).

De acuerdo a Maasakkers (2022), se prevé que en los países tropicales, los residuos depositados en vertederos crezcan más del doble que su crecimiento demográfico para el año 2050, lo que implica que, de ser así, las emisiones de metano podrían casi duplicarse en este período (Maasakkers 2022).

En la FIGURA 2 se presentan los datos más actualizados de emisiones de metano en kilotoneladas disponibles para Ecuador, éstos corresponden al año 2022 y son el resultado de estimaciones realizadas por la International Energy Agency (IEA) para energía y promedios de varias fuentes que incluyen datos satelitales, campañas de medición, estudios científicos y los reportes país al UNFCC. Estos datos nos muestran que el sector de residuos es la

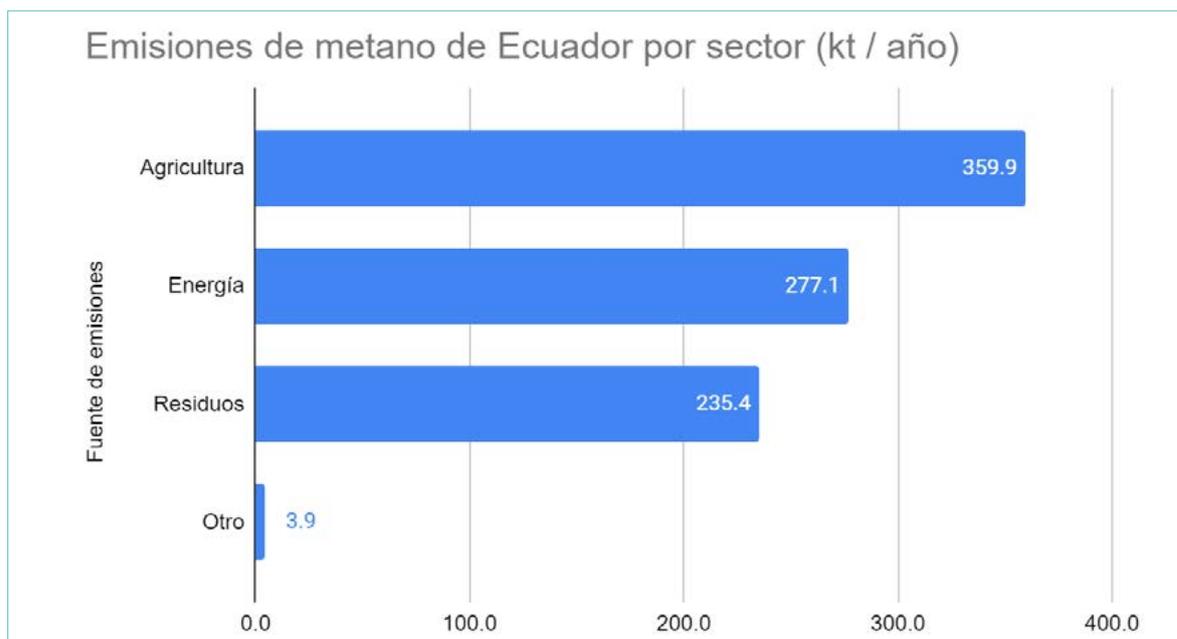


FIGURA 2. Emisiones antropogénicas de metano en Ecuador (kilotoneladas (kt) por año) y sus fuentes.

ELABORACIÓN: Universidad Andina Simón Bolívar, Alianza Basura Cero Ecuador, Proyecto Metano y Cambio Climático, 2023.

FUENTE: International Energy Agency IEA, 2023.

tercera fuente de emisiones de este gas, sin embargo, hay que decir que los estimados nacionales oficiales no son actualizados, y por otro lado, en su mayoría son calculados sin el uso de tecnologías de medición directa (IEA 2023).

Los porcentajes de las tres principales fuentes generadoras de emisiones de metano de acuerdo a este organismo se resumen en la FIGURA 3, donde se destaca que, aunque los residuos sólidos representan el 27% de emisiones y se ubican en tercer lugar, no están muy alejados de la principal fuente emisora: la agricultura, que representa el 41%.

De acuerdo a la IEA (2023), Ecuador representó el 0,2% de las emisiones globales de metano para ese año. Si se realiza una retrospectiva cerca-

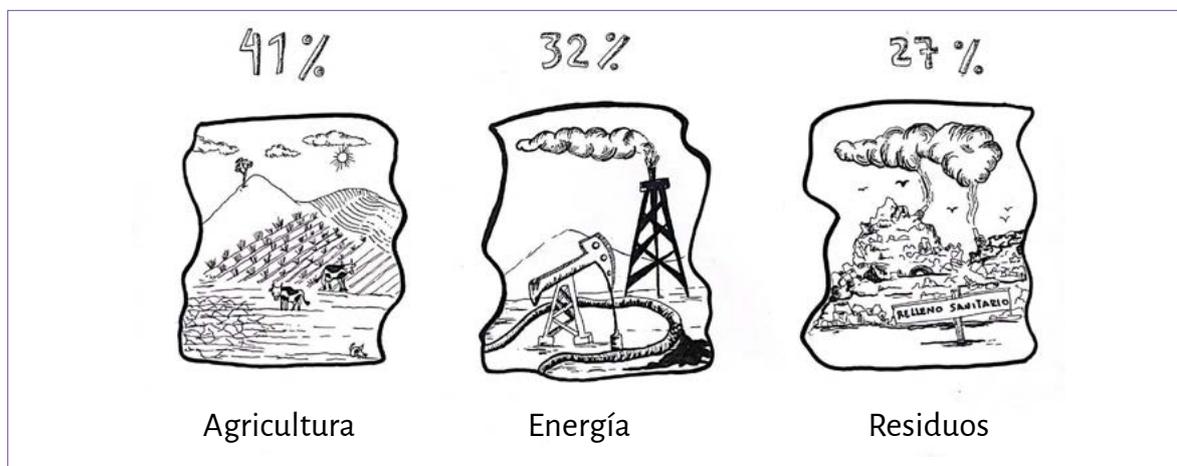


FIGURA 3. Porcentaje de emisiones de metano de los diferentes sectores del Ecuador.

FUENTE: IEA, 2023. ELABORACIÓN: Alicia Franco.

na, de acuerdo al Ministerio del Agua, Ambiente y Transición Ecológica MAATE, en el año 2018, el sector de los residuos sólidos representó el 3,4 % del total nacional de emisiones de GEI y el 17,35 % de las emisiones totales de metano del país con 93.22 kt CH₄. La gran mayoría de gases de efecto invernadero generados por el sector residuos, el 91,73 %, fueron de metano. Adicionalmente, es importante destacar que el 64,94 % de las emisiones de este sector son generadas por la disposición final de tipo enterramiento, mientras el restante, proviene de procesos como la incineración, tratamiento biológico, y aguas residuales (MAATE 2022).

Es preciso recalcar que existe cierta incertidumbre en las estimaciones, debido principalmente a que las tasas de emisión pueden variar dependiendo de la temperatura, la humedad y el contenido orgánico, lo que dificulta la medición directa (Kasa et al. 2018). Los modelos estadísticos que se han desarrollado para la estimación de las emisiones también han sido criticados por su inexactitud, pero en muchos casos son una herramienta importante para levantar una línea base de las emisiones de metano (NASEM 2018). Actualmente, el desarrollo de nuevas tecnologías de medición, el uso de satélites y otras, están mejorando la precisión de las estimaciones. Sin embargo, mientras no se utilicen de forma más generalizada y su acceso sea limitado, tendremos que basarnos en la bibliografía existente sin perder de vista las limitaciones ya mencionadas (Changing Markets Foundation, EIA y GAIA 2023).

Por estos motivos, es de vital importancia generar estudios complementarios que estimen la cantidad de emisiones de metano del sector residuos, fuentes

independientes e investigaciones complementarias que aporten, mediante el uso de diferentes aproximaciones metodológicas, a tener una mejor idea de la cantidad real de emisiones de metano y otros GEI. Además, las estimaciones con las que se cuenta son generales y no nos permiten entender lo que sucede internamente en las regiones, provincias y cantones del Ecuador. Por otro lado, los gobiernos autónomos descentralizados y el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) cuentan con registros detallados de la gestión de residuos sólidos, que constituyen un enorme potencial para aproximar un análisis pormenorizado de la emisión de metano del sector de residuos en el Ecuador, que permitan interpretar y estimar el comportamiento de los gases de efecto invernadero a lo largo de todo el territorio nacional.

Lixiviados

Los lixiviados son una mezcla de agua lluvia percolada, más el agua producto de la biodegradación de los residuos y el agua inherente a los residuos enterrados. Están conformados por grandes cantidades de materia orgánica disuelta, sales, iones de metales pesados y otros compuestos orgánicos como, por ejemplo, alifáticos clorados y pesticidas (Teng. et al. 2021).

Los lixiviados de los vertederos y rellenos sanitarios son tóxicos y suponen una amenaza potencial para el medio ambiente y los ecosistemas circundantes. Afectando fuentes de agua, aguas subterráneas, el pH del suelo y cambiando la composición biótica del mismo (Yang

et al. 2019). La composición de los lixiviados varía según las condiciones en las que se generan, se ve afectada por diversos factores técnicos como el tipo de residuo, condiciones operativas, edad del vertedero, entre otras, y climáticas como la hidrología, temperatura y precipitación de la zona (Teng et al. 2021).

La edad del relleno sanitario o vertedero influye directamente en la composición y las propiedades de los lixiviados, si el relleno tiene menos de 5 años se lo clasifica como lixiviado joven, entre los 5 y 10 años se trata de un lixiviado medio, y aquellos que pasan de 10 años se conocen como lixiviados viejos. El lixiviado joven está compuesto principalmente de materia orgánica hidrófila de bajo peso molecular, con un pH ácido y es bastante biodegradable. Mientras que los lixiviados viejos tienen un pH básico

y son muy difíciles de biodegradar, además el nivel de metales pesados suele disminuir con la edad del relleno, ya que pierden solubilidad por el aumento del pH (Miao et al. 2019). Pese a esta variación, cualquier tipo de lixiviados son peligrosos, presentan una toxicidad aguda o crónica y son un riesgo para el medio ambiente y la salud humana (Reshadi et al. 2021).

Para los municipios el tratamiento de los lixiviados resulta no solo un reto, sino también un gasto constante que podría evitarse si se apostara por modelos de basura cero. Estos modelos se basan en políticas de reducción, rechazo, re-diseño de productos, complementadas por tarifas diferenciadas, responsabilidad extendida a los productores, separación en fuente, compostaje a pequeña escala (domiciliario, comunitario) y reciclaje inclusivo (Soliz et al. 2020).

Objetivo de la investigación

El objetivo de la presente investigación fue estimar la cantidad de metano y lixiviados generados por el sector residuos, a partir de datos oficiales de la gestión de residuos en los 169 sitios de disposición final declarados por los GADs municipales (vertederos, celdas emergentes y rellenos sanitarios) que abarcan todo el territorio ecuatoriano.

Metodología

Para estimar las emisiones de metano de cada sitio de disposición final se utilizó el modelo de Corenostós (Echeverry y Collazos 2013), un simulador del proceso de llenado de un relleno sanitario, donde se calculan los gases y lixiviados que se producen por la degradación de los desechos orgánicos enterrados, así como por la infiltración de las aguas lluvias que tienden a tener contacto con los lechos de basura dispuesta.

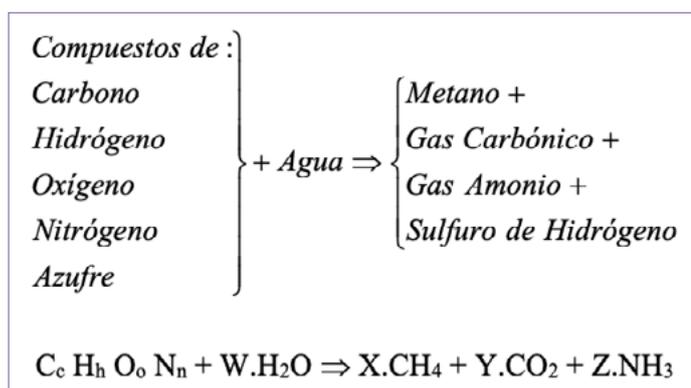


FIGURA 4. Reacción global y ecuación en las que se fundamenta el modelo de Corenostós.

FUENTE: Echeverry y Collazos 213.

El modelo divide en tres grandes grupos a los materiales de desecho: agua, materiales susceptibles de des-

composición y materiales inertes. Los dos primeros componentes son los involucrados en la generación de gases y lixiviados, por las características de los sitios de disposición final, la descomposición es realizada principalmente por microorganismos en condiciones anaeróbicas. La reacción global en la que se basa el modelo se describe en la FIGURA 4, en la ecuación descrita el azufre es eliminado ya que los residuos domésticos contienen muy poco de este elemento, por lo tanto matemáticamente es posible ignorarlo, en consecuencia también se elimina del análisis el sulfuro de hidrógeno.

Los materiales susceptibles de descomposición se clasifican en dos clases principales, los de rápida putrefacción (principalmente desechos de comida) y de descomposición más lenta (papel, cartón, madera, textiles, y residuos de poda). Por tanto, la caracterización de los residuos se hace en función de la siguiente tipología: orgánicos o putrescibles, papel y cartón, textiles, y jardinería. El modelo considera las condiciones ambientales que influyen en la descomposición e incorpora cambios en la tasa de descomposición de acuerdo al ciclo de vida de los sitios

de disposición final. En la TABLA 1 se describen las variables requeridas por el modelo y utilizadas en las estimaciones, y las fuentes de los datos. Esta informa-

ción fue obtenida para cada uno de los 169 sitios de disposición final que abarcan el territorio ecuatoriano.

TABLA 1
Variables utilizadas en el modelo Corenostós y fuentes de datos

VARIABLE	CARACTERÍSTICAS (UNIDAD)	FUENTE
Caracterización de residuos según tipología	media 2 014-2 021 (kg)	AME-INEC-BDE, 2021
Humedad de los residuos	Por región y tipología de residuos sólidos, ver Tabla 2 (%)	Quito Armijos, 2018 Ayala Sánchez, 2013 EMASEO, 2007 Coral Carrillo, Oviedo Costales y Rodríguez Machado, 2021
Altitud	Modelo de elevación digital, tamaño de pixel 400 m2 (m.s.n.m.)	GEBCO, 2023
Temperatura	media 1 985-2 015 (oC)	MAATE, s.f. y SPRACC
Presión atmosférica	actual (mbar)	AccuWeather, 2023
Tiempo de eversuría de los residuos	15 años después del cierre del sitio de disposición final	Collazos y Duque, 1993

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza basura Cero Ecuador.

FUENTE: INEC.AME, BDE. 2021

Las fracciones de cada tipo de residuos son auto reportadas por todos los cantones a la AME, pero en muchos casos existe una limitación para el cálculo, ya que varios cantones no los reportan o no los diferencian (Solíz et al. 2020). En el tratamiento de los datos de caracterización general de los residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos) se utilizaron herramientas estadísticas como la media geométrica (Díaz-Nigenda et al. 2022), regresiones lineales (Araiza-Aguilar et al. 2020; Hochstrasser et al. 2020) y promedios para completar los datos faltantes. En caso de no contar con la cantidad necesaria de datos reales para llevar a cabo estas estimaciones, se utilizaron los valores provinciales, regionales o nacionales, de acuerdo a su disponibilidad.

Para facilitar el análisis se asumió que los sitios de disposición final iniciaron su funcionamiento en 2014, año desde el cual se cuenta con datos registrados por el INEC, y se asumió un tiempo de 30 años para el cierre de los sitios de disposición final.

Otra de las variables importantes en la generación de metano es la humedad relativa de estos residuos, además de la entrada de fluidos externos al sistema. Los porcentajes de humedad de los residuos varían de acuerdo a la región y sus condiciones ambientales, los mismos fueron obtenidos de diversas fuentes bibliográficas detalladas en la TABLA 1. Los valores de humedad utilizados para cada tipo de residuo se presentan a continuación en la TABLA 2.

TABLA 2
Porcentaje de humedad usado para cada tipo de residuo sólido por región

TIPO DE RESIDUOS	REGIÓN			
	COSTA	SIERRA	AMAZONÍA	INSULAR
Putrescibles	70 %	69 %	69,12 %	70 %
Papel y cartón	5 %	15 %	15,35 %	5,2 %
Textil	10 %	17 %	18 %	10 %
Jardinería	12 %	12 %	12 %	12 %

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza basura Cero Ecuador.

FUENTE: Quito Armijos, 2018 Ayala Sánchez, 2013 EMASEO, 2007; Coral Carrillo, Oviedo Costales y Rodríguez Machado, 2022

Resultados

Tipos de residuos producidos y sitios de disposición final

En el Ecuador actualmente hay 85 rellenos sanitarios, 44 celdas emergentes y 37 botaderos a cielo abierto, y 3 que no declaran el tipo de sitio de disposición final. Estas cifras dan cuenta de una tendencia nacional hacia el uso de rellenos sanitarios para solucionar la disposición final de los residuos sólidos. Cabe mencionar que el 85 % de los 221 cantones cuentan con un sitio de disposición final propio, mientras que el 15 % restante comparte el lugar para la disposición, recibiendo residuos de, desde dos cantones, hasta

el caso de Cuenca, que acoge los residuos de 8 cantones. En el MAPA 1 se muestra la distribución geográfica de cada tipo de sitio de disposición final, y la extensión geográfica que cubren aquellos sitios que reciben los residuos de más de un cantón. Es importante mencionar que los sitios de disposición final de residuos siempre generan impactos sociales y ambientales, que van desde el impacto al paisaje, hasta la contaminación de fuentes de agua, tierra y aire. En América Latina los criterios de ubicación de los rellenos sanitarios generalmente no cumplen con el principio

precautorio, ni con los procesos de consulta previa, libre e informada (Solíz et al. 2020).

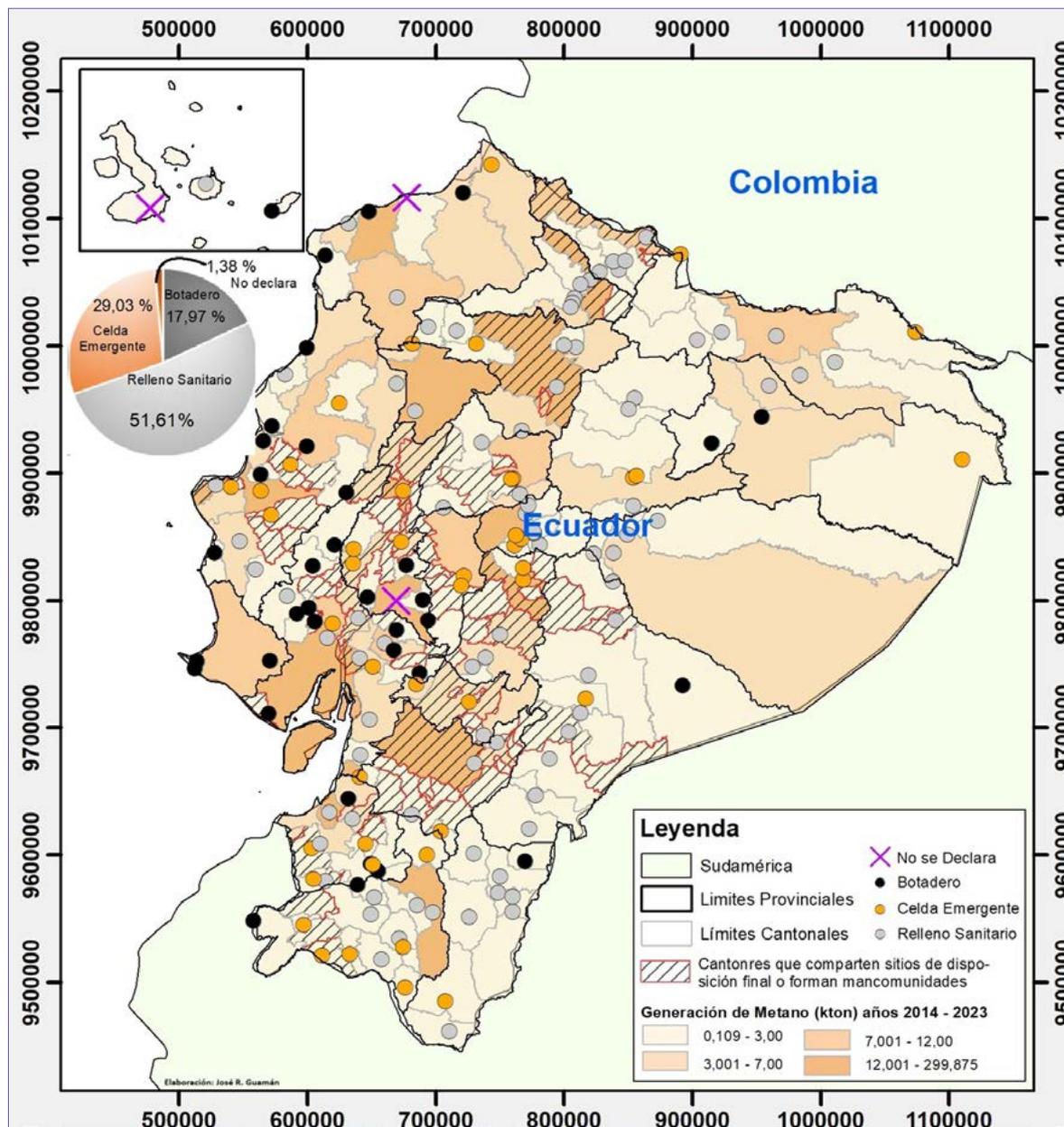


FIGURA 5. MAPA 1 tipo y ubicación de los sitios de disposición final en el Ecuador.

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza basura Cero Ecuador.

FUENTE: INEC.

Como principal resultado de este estudio, encontramos que, en el Ecuador, a lo largo de la década de 2014 a 2023, se produjeron **46 370.94 kilotoneladas (kt) de residuos sólidos**, con un total de **5 623.3 kt para el año 2023**. En prome-

dio el 58.56% son residuos orgánicos y el 41.44% inorgánicos (± 10.52). El cantón que genera una mayor proporción de residuos orgánicos es Puyango, en la provincia de Loja, donde el 83,3% de los residuos son orgánicos. Mientras que el cantón

Yacuambi, ubicado en la Amazonía, envía la menor proporción de residuos orgánicos, que constituyen el 22,87% del total. La generación de residuos per cápita es en promedio de 0.31 toneladas anuales por

persona, pero existen variaciones entre regiones, como se puede apreciar en la TABLA 3, la región costa produce la mayor cantidad de residuos per cápita.

TABLA 3
Generación de residuos en 2023 por región y por número de habitantes.

REGIÓN	NO. CANTONES	POBLACIÓN PROYECTADA 2023	RESIDUOS 2023 (T)	RESIDUOS PER CÁPITA (T/ PERSONA.AÑO)
Costa	86	9 432 110.00	3 401 440.84	0.36
Sierra	91	7 700 864.00	1 990 782.40	0.26
Amazonía	41	1 013 926.00	225 115.24	0.22
Insular	3	35 244.00	6 029.80	0.17
Total	221	18 182 144.00	5 623 368.27	0.31

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Alianza Basura Cero Ecuador, Proyecto Metano y Cambio Climático.

FUENTE: INEC

Producción de metano y lixiviados en los sitios de disposición final

A continuación, en la TABLA 4 se presenta el resumen de los resultados del presente estudio para el año 2023. Las 5 623 kilotoneladas de residuos sólidos producidas en 2023 generaron 1.15 millones de m³ de lixiviados y 533.16 millones de m³ de gases. En el año 2023 se produjeron 192.69 kt de metano en los sitios de disposición final de todo el territorio ecuatoriano, lo que representa 5 393.66 kt de equivalente de CO₂. Solamente Guayaquil y Quito generaron 87.16 kt de CH₄ (55.70 y 31.46 kt respectivamente), es decir el 41.01% de todas las emisiones del país (MAPA 2).

En la región Costa se produce el 60% de las emisiones de metano, seguido de la Sierra con el 36.2%, luego la Amazonía cuyas emisiones representan el 3.7% y finalmente la región insular que representa solamente el 0.1% de las emisiones de metano (FIGURA 5). En las emisiones de gases totales se observa el mismo patrón, la región de la costa produjo 115.70 kt de metano en el año 2023 lo que representa 3 238,70 kt de CO₂ equivalente.

TABLA 4
Generación de lixiviados, gases y metano por región estimados para 2023.

REGIÓN	RESIDUOS (KT)	LIXIVIADOS (M3)	GASES TOTALES (M3)	METANO (KT)	METANO (KT. CO2EQ)
Costa	3 401.44	675 962.81	320 157 603.79	115.70	3 238.70
Sierra	1 990.78	428 727.17	191 750 277.28	69.30	1 939.74
Amazonía	222.94	44 757.85	19 653 488.59	7.10	198.81
Insular	6.03	826.68	398 857.97	0.14	4.03
Total	5 621.19	1 150 274.51	533 183 595.71	192.69	5 381.28

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Alianza Basura Cero Ecuador, Proyecto Metano y Cambio Climático.

FUENTE: INEC

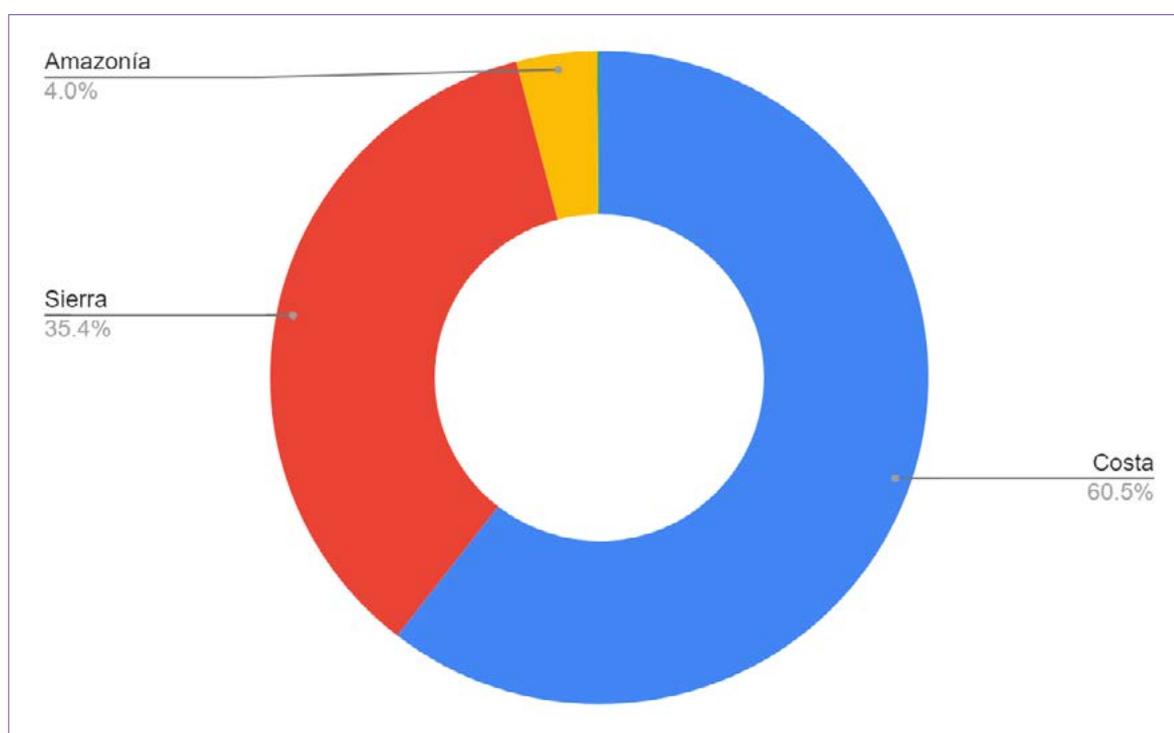


FIGURA 6. Emisiones de metano (kt/año) a partir de sitios de disposición final por región, 2023.

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza basura Cero Ecuador.

FUENTE: INEC.

Históricamente entre los años 2014-2023, las emisiones de metano también han sido lideradas por Guayaquil y Quito, y junto con otros 13 cantones (Cuenca, Santo Domingo, Durán, Machala, Ambato, Portoviejo, Manta, Esmeraldas, Loja, Quevedo, Riobamba, Ibarra y Babahoyo)

representaron el 63.65 % del total nacional con un total de 821,23 kt de CH₄. MAPA 3. De igual manera solo entre Guayaquil y Quito generaron más del 42 % de las emisiones de metano, ambos sobrepasando las 200 kt, después de ellos y con valores mucho menores se encuentra la ciudad de Cuenca que produjo 36.77 kt.

Sin duda existe una relación directa entre el número de habitantes y la cantidad de metano generado, pero además, estos resultados dan cuenta de que las

ciudades son las mayores productoras de metano en los sitios de disposición final. Esta situación es evidente en el MAPA 3, donde se ve que los 15 cantones más contaminantes corresponden a aquellos que reciben residuos de las principa-

les ciudades del Ecuador. Además, estos 15 cantones producen el 63,68 % de las emisiones de metano, lo que sitúa a los centros urbanos como los lugares prioritarios donde es necesario intervenir para reducir la contaminación.

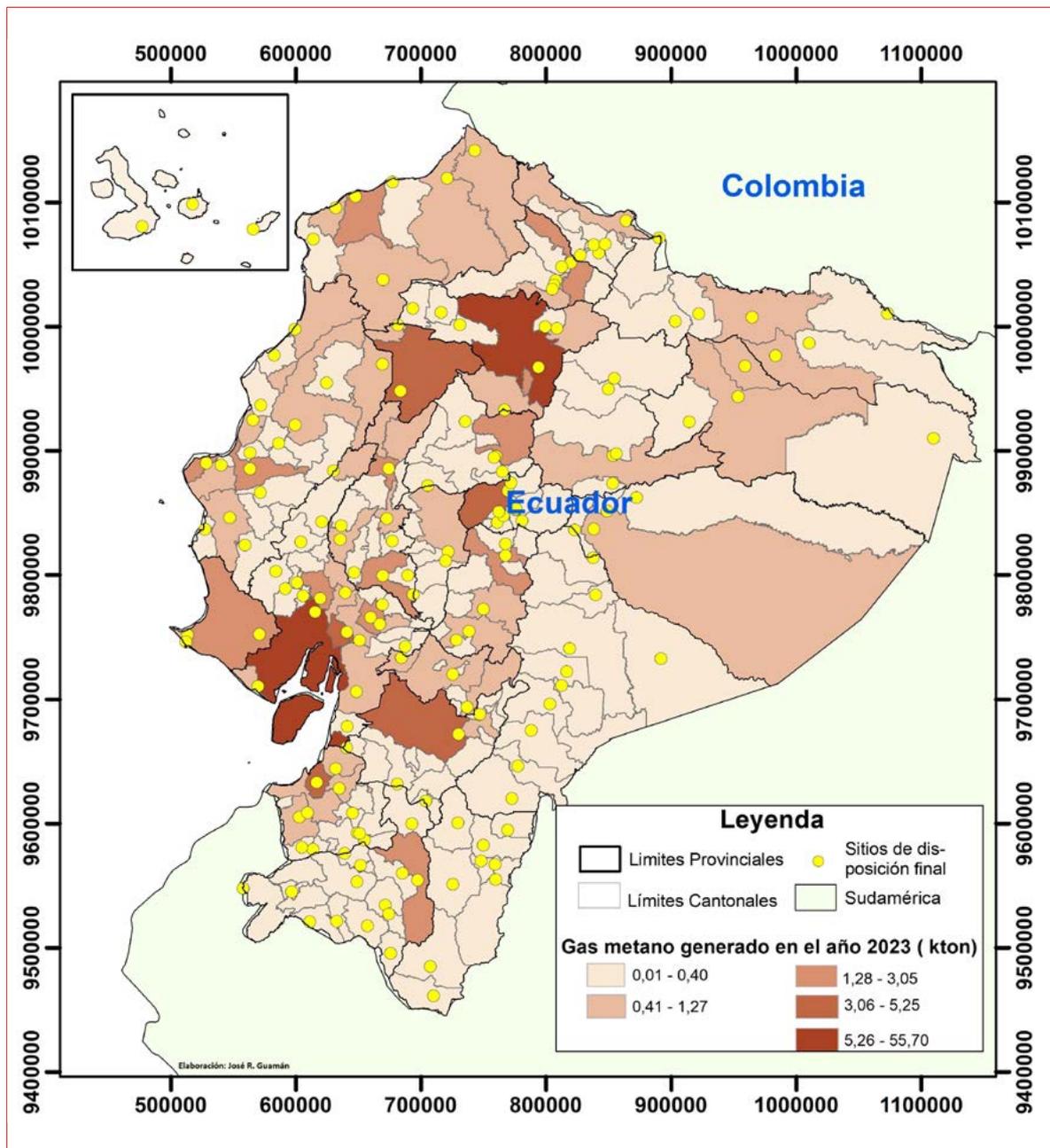


FIGURA 7. MAPA 2 cantidad de metano (kt) generado en 2023 por cantón.

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza basura Cero Ecuador.

FUENTE: INEC

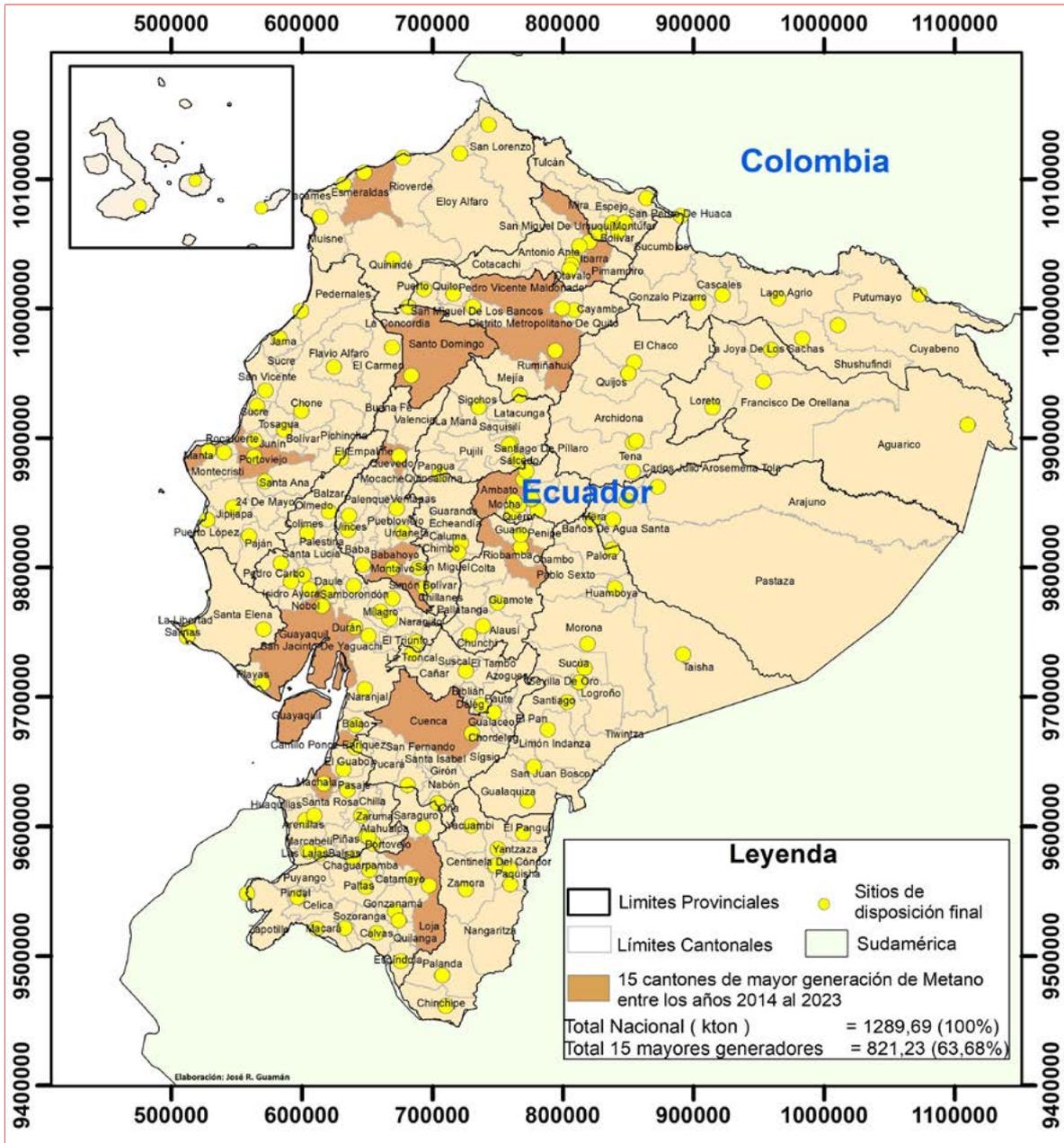


FIGURA 8. MAPA 3 Cantones con mayor generación de metano entre los años 2014-2023. ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza basura Cero Ecuador.

FUENTE: INEC

En los MAPAS 4 y 5, se observa cómo está distribuida geográficamente la generación per cápita diaria de gas metano y lixiviados respectivamente en el año 2023. El promedio nacional per cápita es de 0.1106 lt/hab/día de lixiviados y 0.01816 kg/hab/día para gas metano (TABLA 5). En la región Costa se produce la mayor cantidad de lixiviados y metano

per cápita del Ecuador con 0.1377 lt/hab/día y 0.0221 kg/hab/día respectivamente. Esto puede deberse no solo a una mayor producción de residuos de esta región sino también a factores ambientales como la temperatura y precipitación que generan un aumento de la actividad microbiana, incrementando así las emisiones de metano (Karanjekar et al. 2015).

TABLA 5
Generación per cápita diaria de lixiviados (Lpd 2023) y gas metano (GMPD) por región estimados para el año 2023.

REGIÓN	NO. CANTONES	POBLACIÓN* 2023	LPD 2023**	GMPD 2023***
Costa	86	9 432 110	0.14	0.02
Sierra	91	7 700,864	0.13	0.02
Amazonía	41	1 013,926	0.11	0.02
Insular	3	35 244	0.08	0.01
Total	221	18 182 144	Promedio 0.11	Promedio 0.02

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza basura Cero Ecuador.

FUENTE: INEC

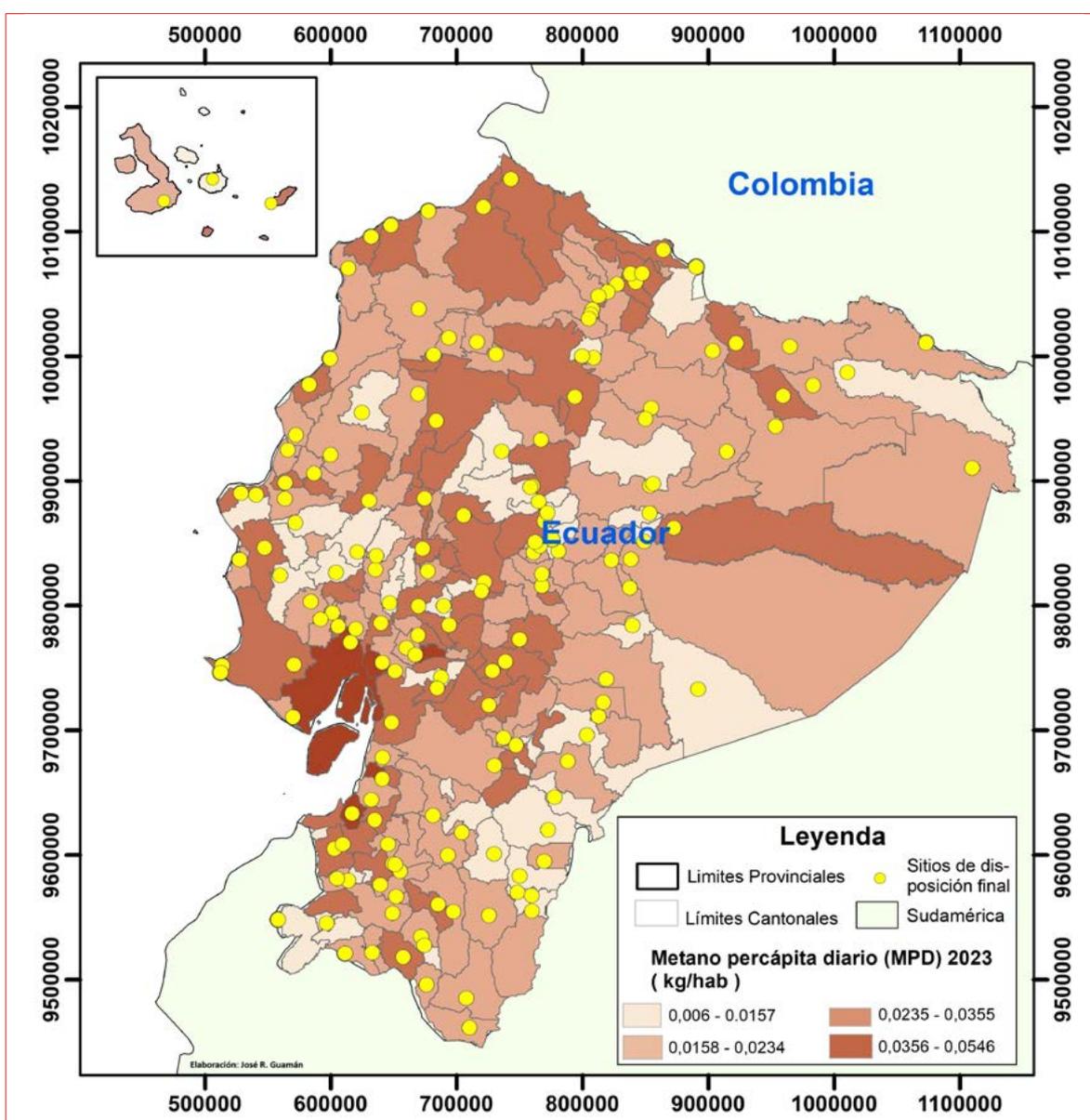


FIGURA 9. MAPA 4 generación diaria de metano per cápita, 2023.

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza basura Cero Ecuador. FUENTE: INEC.

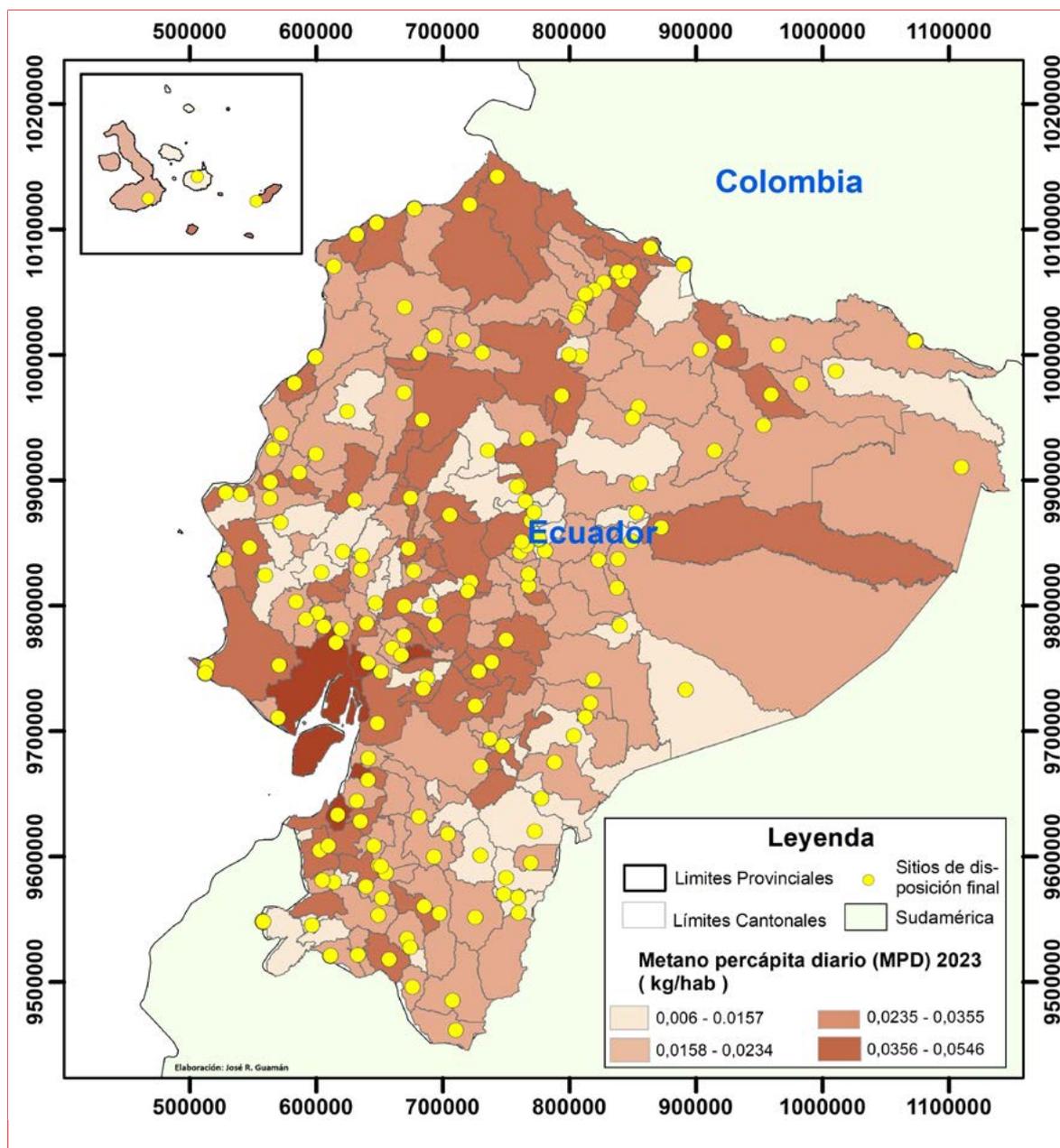


FIGURA 10. MAPA 5 Generación diaria de lixiviados per cápita, 2023. ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador.

FUENTE: INEC.

Producción de metano per cápita

Los resultados de la generación per cápita de metano y lixiviados por cantón se presentan en los MAPAS 5, 6 y en la TABLA 6. Al comparar la producción total

con la producción per cápita diaria, vemos que existen diferencias; aunque existen cantones con una alta generación de metano, no necesariamente presentan la mayor

producción per cápita. De los 15 cantones con mayor producción total de metano, solamente 6 forman parte de los 15 cantones con mayor producción per cápita de metano ver TABLA 6.

Algo similar sucede si se realiza una comparación entre la cantidad de metano generada y la densidad poblacional de cada cantón, en general, mientras más

habitantes tiene un cantón mayor es su producción de metano, pero esto no necesariamente quiere decir que a mayor densidad poblacional hay más producción de metano por habitante. Esto se puede observar en el MAPA 6, que muestra la relación entre la densidad poblacional y la generación de metano.

TABLA 6
Comparación de los cantones con mayor generación de metano vs los cantones con mayor generación per cápita de metano en el año 2023.

MAYORES GENERADORES DE METANO					MAYORES GENERADORES PER CÁPITA METANO				
Cantón	Provincia	Región	Lixiviado 2023*	Metano 2023**	Cantón	Provincia	Región	Lixiviado 2023***	Metano 2023****
Guayaquil	Guayas	Costa	301 604,41	55,70	Guayaquil	Guayas	Costa	0,30	0,06
Quito	Pichincha	Sierra	206 490,54	31,46	Naranjito	Guayas	Costa	0,17	0,05
Durán	Guayas	Costa	25 609,32	5,25	Durán	Guayas	Costa	0,21	0,04
Cuenca	Azuay	Sierra	27 726,31	4,86	Machala	El Oro	Costa	0,24	0,04
Santo Domingo	Santo Domingo de los Tsáchilas	Costa	32 512,91	4,66	Arenillas	El Oro	Costa	0,08	0,04
Machala	El Oro	Costa	26 024,51	4,26	Rumiñahui	Pichincha	Sierra	0,24	0,03
Ambato	Tungurahua	Sierra	17 582,31	3,73	Sevilla de Oro	Azuay	Sierra	0,15	0,03
Manta	Manabí	Costa	18 772,20	3,05	Cumandá	Chimborazo	Sierra	0,18	0,03
Portoviejo	Manabí	Costa	19 703,15	2,81	Guamote	Chimborazo	Sierra	0,20	0,03
Esmeraldas	Esmeraldas	Costa	13 254,54	2,50	Espejo	Carchi	Sierra	0,20	0,03
Loja	Loja	Sierra	10 657,11	2,14	Guaranda	Bolívar	Sierra	0,17	0,03
Riobamba	Chimborazo	Sierra	13 211,14	2,04	Manta	Manabí	Costa	0,19	0,03
Quevedo	Los Ríos	Costa	14 739,68	1,99	La Joya de los Sachas	Orellana	Amazonía	0,22	0,03
Ibarra	Imbabura	Sierra	12 961,73	1,93	Esmeraldas	Esmeraldas	Costa	0,16	0,03
Santa Elena	Santa Elena	Costa	8 852,78	1,88	Quito	Pichincha	Sierra	0,19	0,03

Unidades: *m³, **kt, ***(l/(hab*día)), ****(kg/(hab*día))

FUENTE: INEC.

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca.

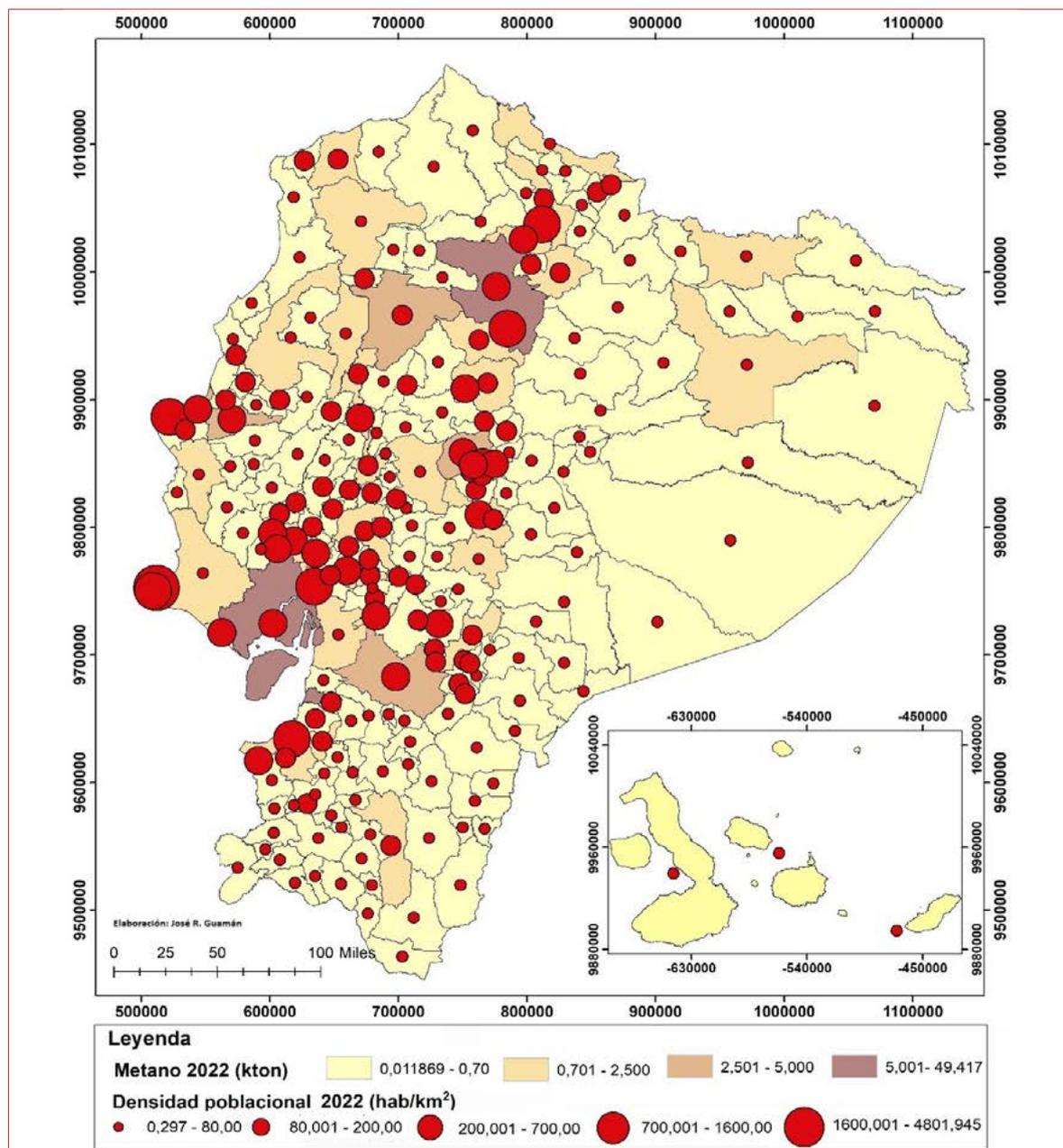


FIGURA 11. MAPA 6. Generación de metano vs densidad poblacional 2022.

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Alianza Basura Cero Ecuador, Proyecto Metano y Cambio Climático.

La TABLA 7 muestra la generación de metano a partir de los residuos orgánicos, que son los principales responsables de estas emisiones. Para el año 2023, el Ecuador produjo 3 376 393.94 toneladas de residuos orgánicos. Por tonelada de residuos totales (orgánicos e inorgánicos) dispuesta se generó un promedio de 50.28 m³ de CH₄, lo que equivale a 0.0343 tonela-

das de CH₄, y también es igual a 0.9573 t CO₂ eq. Pero hay que destacar los resultados que dan cuenta de cuánto metano se genera por unidad de residuos orgánicos dispuesto, en promedio cada tonelada de residuos orgánicos genera 86.31 m³ o 0.0571 toneladas de metano, esto equivale a 1.59 toneladas equivalentes de CO₂.

TABLA 7
Generación de gas metano por tonelada de residuos,
por región, estimados para el año 2023

REGIÓN	PROPORCIÓN ORGÁNICOS*	RESIDUOS ORGÁNICOS**	METANO A PARTIR DE RESIDUOS TOTALES		METANO A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS		
			a)	b)	c)	d)	e)
Costa	60.72	2 065 277.67	50.01	0.03	82.36	0.06	1.57
Sierra	59.86	1 191 648.90	51.17	0.04	85.49	0.06	1.63
Amazonía	52.51	117 064.24	46.84	0.03	89.20	0.06	1.70
Insular	39.85	2 403.14	35.14	0.02	88.18	0.06	1.68
Promedio/ Total	53.23	3 376 393.94	50.28	0.03	86.31	0.06	1.59

Unidades: *promedio en %, ** t, a) $\text{m}^3.\text{CH}_4/\text{t}$ residuos totales, b) $\text{t}.\text{CH}_4/\text{t}$ residuos totales, c) $\text{m}^3.\text{CH}_4/\text{t}$ residuos orgánicos, d) $\text{t}.\text{CH}_4/\text{t}$ residuos orgánicos, e) $\text{t}.\text{CO}_2\text{eq}/\text{t}$ residuos orgánicos

FUENTE Y ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Alianza Basura Cero Ecuador, Proyecto Metano y Cambio Climático.

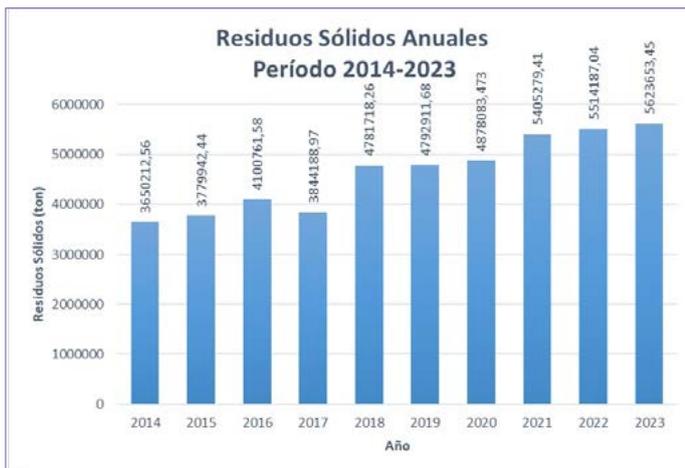


FIGURA 12. Producción de residuos sólidos entre los años 2014 – 2023.

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca.

Si comparamos la evolución de la generación de residuos entre 2014 y 2023 (FIGURA 12) con las consecuentes emisiones de lixiviados (FIGURA 13) y metano (FIGURA 14) para el mismo periodo, se evidencia que el metano y lixiviados tienen un crecimiento mayor que no se corresponde en magnitud al incremento de la cantidad de residuos dispuestos, lo que

quiere decir que la contaminación de un sitio de disposición final aumenta a través de su tiempo de vida por acumulación.

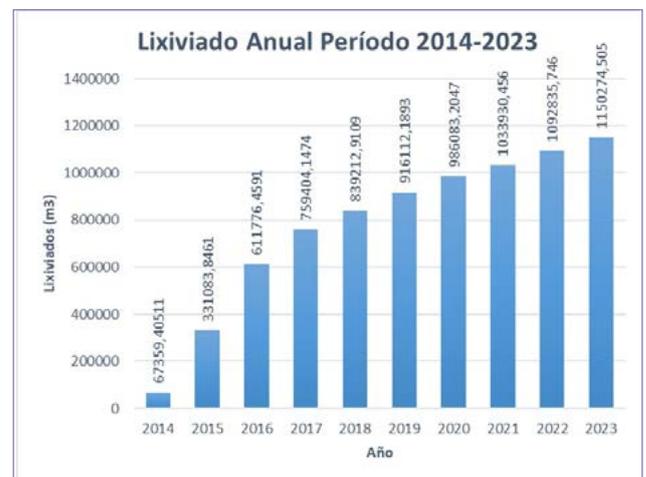


FIGURA 13. Generación de Lixiviados de Residuos Sólidos entre los años 2014 – 2023

ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca.

En el MAPA 7 se identifican las provincias con mayor generación de residuos, gas metano y lixiviados. Las tres provincias con mayor cantidad de emisiones entre los años 2014-2023 son Guayas, Pichincha y Manabí, que en conjunto representan

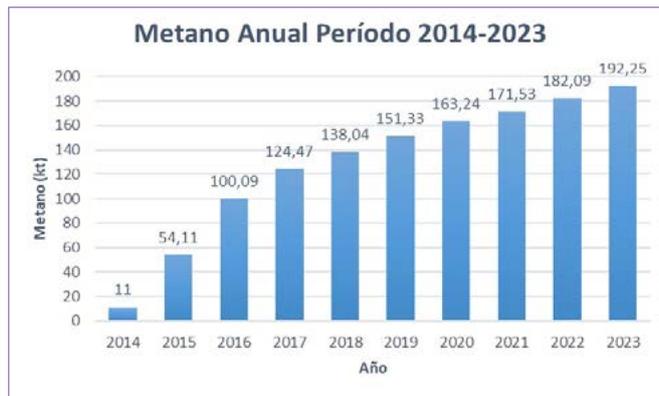


FIGURA 14. Emisiones de Gas Metano de Residuos Sólidos entre los años 2014 – 2023.
ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca.

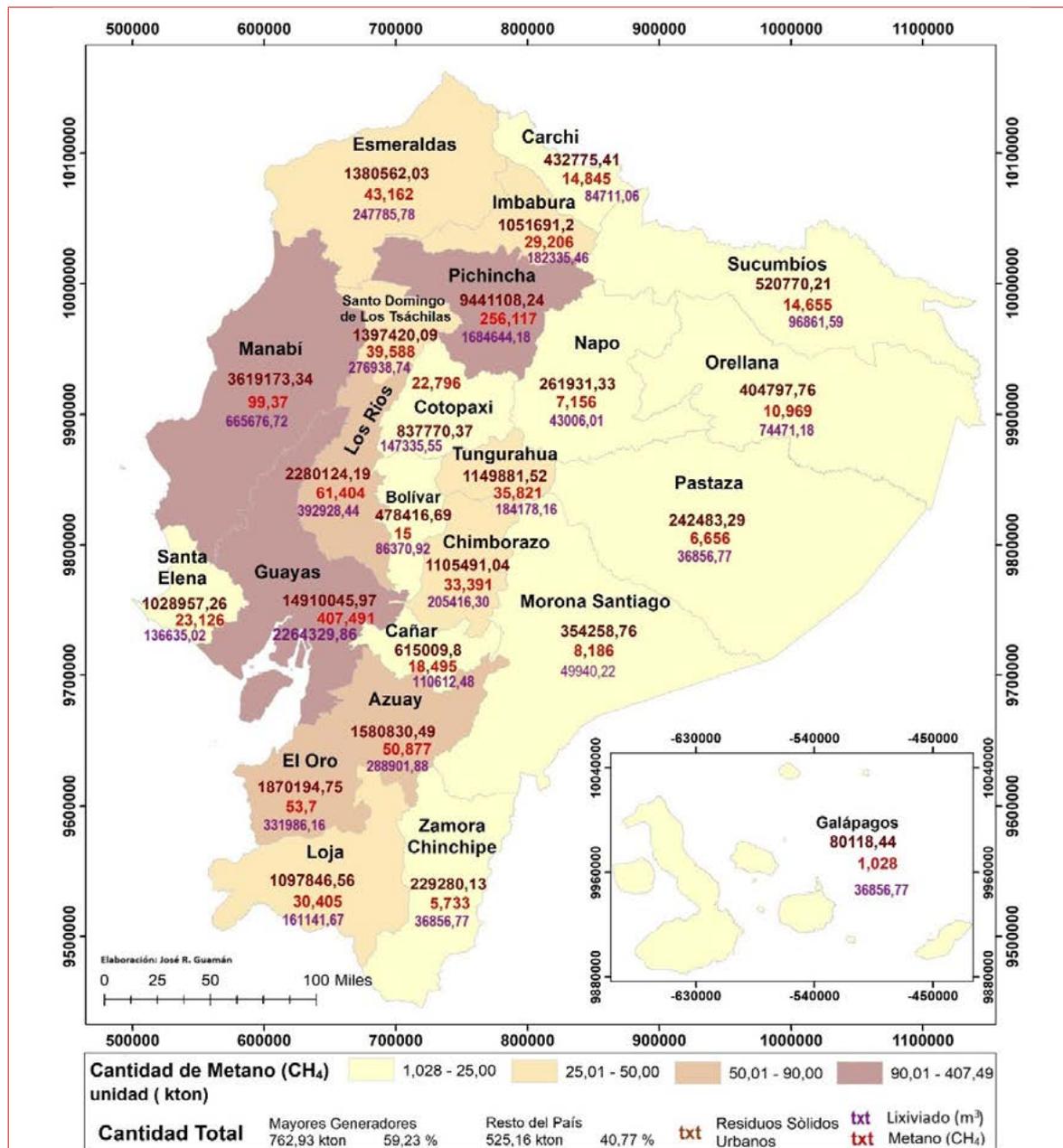


FIGURA 15. MAPA 7 cantidad de Residuos Sólidos Urbanos, gas metano y lixiviados generados en los años 2014-2023.
ELABORACIÓN: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Alianza Basura Cero Ecuador, Proyecto Metano y Cambio Climático.

Conclusiones y recomendaciones

En el 2021 el Ecuador suscribió el acuerdo de metano de la COP26, compromiso global de 100 países firmantes que busca reducir las emisiones de metano en un 30% hasta el año 2030. Sin embargo, los crecientes estudios científicos hablan de que en realidad es necesario lograr una reducción de 40-45% para el 2030. Enfocarse en la reducción de emisiones de origen antropogénico es la estrategia más rentable para lograr este objetivo, el cambio climático cada vez más nos obliga a tomar acciones a corto y largo plazo. Pese a las alarmas científicas, a nivel mundial solo el 13% de las emisiones están cubiertas por políticas y en el campo de los residuos las políticas son nulas o casi inexistentes (Olzack et al. 2023).

En el caso del Ecuador, la situación es igual, hay una carencia de políticas claras que aporten en la mitigación del metano. En el sector de los residuos es muy importante aumentar esfuerzos en políticas de separación en fuente, prevención de desperdicio de alimentos e incentivar el compostaje domiciliario

o descentralizado y a pequeña escala. En el caso de los plásticos de un solo uso deberían prohibirse y las ordenanzas vigentes deberían ser aplicadas. El Ecuador no debería importar residuos, y se debería exigir la retornabilidad como acciones inmediatas de los municipios.

La proporción promedio de cada tipo de residuos, calculada a partir de un periodo de 10 años, es de 58,56% de orgánicos y 41,44% de inorgánicos. Este resultado es de gran relevancia porque los residuos orgánicos ocupan el mayor volumen y son los principales generadores de lixiviados y gases de efecto invernadero. Por otro lado, su gestión es relativamente fácil y se puede realizar a diferentes escalas. El manejo de residuos orgánicos debe enfocarse en primer lugar en evitar que sean enterrados, reduciendo el desperdicio de alimentos, promoviendo la separación en la fuente, y permitiendo que sean transformados a través de compostaje, respetando la jerarquía del tratamiento de orgánicos.

Cada ecuatoriano produce en promedio 0.31 toneladas de residuos al año

(0.9 kg/hab/día) dato que coincide con los resultados del último informe técnico del INEC, lo que demuestra que la producción per cápita de residuos se encuentra en aumento. Si hablamos de la porción de residuos orgánicos, cada tonelada que termina en un sitio de disposición final produce 1.59 toneladas equivalentes de CO₂ y 0.057 toneladas de metano. Estos datos nos permiten realizar cálculos y proyecciones para comprender las tendencias de producción de estos gases en el sector de residuos del Ecuador, estableciendo una línea base de diagnóstico para generar las estrategias en este sector y así poder mitigar estos GEI.

Hay que considerar que en Ecuador casi el 50 % de los cantones aún cuentan con celdas emergentes y botaderos a cielo abierto, que tienen el potencial de aplicar sistemas de basura cero antes de decidir apostar por sistemas de relleno sanitario o complejos ambientales que invierten en infraestructura y, al no contar con un plan de prevención, terminan contaminando más que un botadero a cielo abierto; como el caso de Guayaquil y Quito, ciudades que encabezan la lista de mayores generadores de metano pese a tener rellenos sanitarios. De hecho, es alarmante que solamente tres provincias: Pichincha, Guayas y Manabí representan el 59.23 % de todas las emisiones de metano, y el 59.20 % de toda la cantidad de lixiviados generados.

La metodología utilizada para estimar las emisiones de gases y lixiviados nos aporta una línea base sobre la cantidad de metano que se está produciendo a nivel cantonal, sin embargo, es importante complementar estos datos a través de estudios de medición directa (p.ej. estudios satelitales). Todavía existen cantones que no tienen registros ni caracterizaciones

de sus residuos. Es necesario exigir que los GADs mejoren su metodología para generar datos reales, y seguir monitoreando las emisiones tanto por parte de organismos gubernamentales como de terceras partes. Estas acciones aportarían para un monitoreo de emisiones de metano y facilitarían los reportes país de GEI.

El 68 % de las emisiones de metano y la mayor generación de lixiviados per cápita está centrada en los principales centros urbanos, de ahí la necesidad de enfocar los esfuerzos de intervención en las ciudades, promoviendo iniciativas a diferentes escalas que permitan reducir la cantidad de residuos orgánicos que son enviados a sitios de disposición final en las ciudades.

Esta tarea de reducción de las emisiones tiene que buscar alianzas y esfuerzos no solo a nivel nacional, sino también tejer los nexos necesarios para ponerlo en la agenda prioritaria de todos los países posibles, poniendo esfuerzos en entender de dónde provienen las emisiones de metano, implementar proyectos de monitoreo, reporte y verificación, así como asistencia financiera y técnica; promover el desarrollo de sistemas basura cero, donde se motive la separación de los residuos en la fuente.

Para los sitios ya establecidos y que disponen de los controles adecuados, al menos hasta su fecha planificada de funcionamiento, se debería promover prácticas de reducción de emisiones de GEI y lixiviados, en el caso de los GEI, la recuperación de los mismos mediante mecanismos de aprovechamiento energético es una alternativa. También se pueden promover técnicas de tratamiento de gases y lixiviados, u otras técnicas existentes para sitios ya establecidos.

Bibliografía

- Allen, Myles R, Glen P. Peters, Keith P. Shine, Christian Azar, Paul Balcombe, Olivier Boucher, Michelle Cain, Philippe Ciais, William Collins, Piers M. Forster, Dave J. Frame, Pierre Friedlingstein, Claire Fyson, Thomas Gasser, Bill Hare, Stuart Jenkins, Steven P. Hamburg, Daniel J. A. Johansson, John Lynch, Adrian Macey, Johannes Morfeldt, Alexander Nauels, Ilissa Ocko, Michael Oppenheimer, Stephen W. Pacala, Raymond Pierrehumbert, Joeri Rogelj, Michiel Schaaffer, Carl F. Schleussner, Drew Shindell, Ragnhild B. Skeie, Stephen M. Smith & Katsumasa Tanaka 2022. **Indicate separate contributions of long-lived and short-lived greenhouse gasses in emission targets.npj** Climate and Atmospheric Science (2022) 5:5
- Asociación de Municipalidades del Ecuador AME – Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC – Banco de Desarrollo del Ecuador BDE. 2021 **Registro de gestión de residuos sólidos.**
- Ayala Sánchez, María, Isabel. 2013. **Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito.** [Tesis de ingeniería no publicada]. Universidad Internacional SEK.
- Bodelier, Paul. L y Steenbergh, Anne. (2014). **Interactions between methane and the nitrogen cycle in light of climate change.** Current Opinion in Environmental Sustainability, Volumes 9–10. Pages 26-36
- Mafla, Lorena. 2015. **Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos del distrito metropolitano de Quito.** Repositorio de la Universidad SEK <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/611>
- Changing Markets Foundation, Environmental Investigation Agency y la Alianza Global para las Alternativas a la Incineración. 2022. **El metano importa: un enfoque integral hacia la mitigación del metano.**
- Collazos, Hector y Duque, Ramón. (1993). **Residuos sólidos.** Fundación para la Investigación Sobre Residuos Sólidos FUNPIRS.
- Carrillo, Katty. Oviedo Costales, Jorge, & Rodríguez Machado, Ana. 2021. **Energía a partir de residuos sólidos urbanos, caso parroquia Limoncocha en la Amazonía ecuatoriana.** Estudios De La Gestión: Revista Internacional De Administración, (9), 216–236. <https://doi.org/10.32719/25506641.2021.9.9>
- Echeverry Jaime y Héctor Collazos. **Manual del Modelo Corenóstos para Estimación de Lixiviados: Empleo y Concepción.** 3era Versión. 2013.
- Farmer, Thomas. y Cook, John. 2013. **Climate Change Science: A Modern Synthesis. Volume 1: The Physical Climate.** Springer Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-007-5757-8
- General Bathymetric Chart of the Ocean [GEBCO]. 2023 **GEBCO Grid 2023.** https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/

- International Energy Agency [IEA] 2023. **Methane Tracker**. IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/methane-tracker>
- Jackson R; Saunio, M; Bousquet, J; Canadell, B; Poulter, A; Stavert, P; Bergamaschi, Y; Niwa, A; Segers, A Tsuruta. **Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources**. *Environ. Res. Lett.* 15 071002. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab9ed2>
- Karanjekar, Richa; Bhatt, Aripita. Altouqui, Said. Jangikhatoonabad, Neda. Durai. Vennila. Sattler, Melanie. Hossain, Sahadat. Chen, Victoria. 2015. **Estimating methane emissions from landfills based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: The CLEEN model**. *Waste Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.030>
- Maasakkers, Joannes. Varon, Daniel. Elfarsdóttir. Aldís. McKeever, Jason. Jervis, Dylan. Mahapatra, Gourav. Pandey, Sudhanshu. Lorente, Alba. Borsdorff, Tobias. Foorthuis, Lodewijck. Schuit, Berend. Toli, Paul. van Kempen Tim A. van Hees, Richard. Aben, Ilse. 2022. **Using satellites to uncover large methane emissions from landfills**. *Sci.Adv.* 8, DOI:10.1126/sciadv.abn9683
- Mar, Khatleen. Unger, Charlotte. Walderdorff, Ludmila. Butler, Tim. 2022. **Beyond CO2 equivalence: The impacts of methane on climate, ecosystems, and health**. Elsevier, 134, 127-136.
- Miao, Lei. Yang, Gangqing. Tao, Tao. Peng. Yongzhen. 2019. **Recent advances in nitrogen removal from landfill leachate using biological treatments – A review**. *J. Environ. Manage.* 235, 178–185.
- Mhyre, G. y Shindell, D. **Anthropogenic and natural radiative forcing**. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Qin, D. et al.) Cambridge University Press, 2013.
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. 2022. **Cuarta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (s.f.) **Sistema de Información de Proyecciones y Riesgo Climático, Medidas de Adaptación al Cambio Climático, e Indicador de Vulnerabilidad del Ecuador SPRAAC**. <http://spracc.ambiente.gob.ec/>
- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine 2018 **Improving characterization of anthropogenic methane emissions**. National Academies Press.
- Nisbet, E. G., Fisher, R. E., Lowry, D., France, J. L., Allen, G., Bakkaloglu, S., et al. 2020. **Methane mitigation: methods to reduce emissions, on the path to the Paris agreement**. *Reviews of Geophysics*, 58, e2019RG000675. <https://doi.org/10.1029/2019RG000675>
- OECD. 2024. **Municipal waste (indicator)**. doi: 10.1787/89d5679a-en (Accessed on 05 March 2024) <https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm>
- O'Grady. Cathleen. 2023. **Methane removal seen as tool to slow warming**. *Science* 374 (6568)
- Olczak, María. Piebalgs, Aandris. Balcombe, Paul. 2023. **A global review of methane policies reveals that only 13% of emissions are covered with unclear effectiveness**. *One Earth* 6, Published by Elsevier Inc. Open

- access article under the CC BY license <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332223001951>
- Organización Meteorológica Mundial. 26 de octubre de 2022 *Se suceden las malas noticias para el planeta: los niveles de gases de efecto invernadero alcanzan nuevos máximos*. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/se-sucedan-las-malas-noticias-para-el-planeta-los-niveles-de-gases-de>
- PNUMA y Coalición Clima y Aire Limpio. (2021). **Global Methane Assessment**.
- Quito, Leonardo. (2018). **Caracterización de residuos sólidos domiciliarios generados en la parroquia Febres Cordero, Sector Av. Portete de Tarquí, entre Las Calles 20ava, y 29ava** [Tesis de licenciatura no publicada]. Universidad de Guayaquil.
- Reshadi, Mir Amir Mohammad. Hasani, Sajad Soleymani. Nazaripour, Morteza. McKay, Gordon. Bazargan, Alireza. 2021. **The evolving trends of landfill leachate treatment research over the past 45 years**. Environmental Science and Pollution
- Saunois, M. Jackson, R. Bousquet, P. Poulter, B. Canadell, J. (2016). **The growing role of methane in anthropogenic climate change**. Environ. Res. Lett. 11
- Skeie, R.B., Hodnebrog, Ø. & Myhre, G. 2023. **Trends in atmospheric methane concentrations since 1990 were driven and modified by anthropogenic emissions**. Commun Earth Environ 4, 317 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00969-1>
- Soliz, Fernanda. Durango, Juan. Solano, José. Yopez, Alia. 2020. **Cartografía de los residuos sólidos del Ecuador**. Quito, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador / INEC / VLIR-UOS / GAIA / Alianza Basura Cero Ecuador / Acción Ecológica.
- SPRACC. Ministerio de Ambiente, Agua y transición Ecológica <https://spracc.ambiente.gob.ec/geovisor-web-s-pracc/frontend/>
- Sun, Tianyi. Ocko, Ilissa B. Sturcken, Elizabeth & Hamburg, Steven. 2021. **Path to net zero is critical to climate outcome**. Nature Scientific Reports | (2021) 11:22173
- Teng, C; Zhou, K; Peng, C; Chen, W. 2021. **Characterization and treatment of landfill leachate: A review**. Water Research 203. (2021) 117525.
- UNEP mayo 2021 **Evaluación global: Reducir las emisiones de metano 45% en 10 años es factible y crucial para la acción climática**
- Vargas, J. 2021. **Análisis, compromisos de Ecuador en el marco de la COP26**. 20220123_Resumen-Compromisos-Ecuador-COP26
- Yang, X; Meng, L; Meng F. 2021. **Combination of self-organizing map and parallel factanalysis to characterize the evolution of fluorescent dissolved organic matter in a full-scale landfill leachate treatment plant**. Science of The Total Environment, Volume 654, 1 March 2019, Pages 1187-1195.

Parte 2

Sistematización de iniciativas que gestionan residuos orgánicos en el país

Viviana Rocha Arias¹

¹ Proyecto Metano y Cambio Climático,
Universidad Andina Simón Bolívar/Alianza Basura Cero Ecuador

Introducción

Generación de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son aquellos que se degradan en periodos cortos, se pueden clasificar por su composición; así un resto orgánico puede ser: remanente de la cocción de alimentos, sobras de alimentos, alimentos en estado de descomposición, alimentos que no se han vendido, restos vegetales, de poda, restos de cultivos, restos leñosos, restos de origen animal, etc. (Alvariño 2005, 46-8).

En zonas rurales el resto orgánico es un recurso que ha sido aprovechado en la tierra o como alimento de animales, pues en estos espacios rurales los restos orgánicos tienen los medios para cumplir su ciclo de retorno a la tierra, sin embargo, esa dinámica natural se rompe cuando el residuo se produce en la urbe, ya que no se lo reconoce como un recurso, sino por el contrario, se lo ve con desagrado. La migración interna campo/ciudad en busca de mejores condiciones de vida, agrava la problemática de acumulación de basura en las ciudades del país (F. Solíz 2016, 104). La producción de residuos sólidos es proporcional a la cantidad de habitantes, nivel de economía, crecimiento industrial y comercio. Los 221

gobiernos autónomos descentralizados son los encargados de administrar la gestión de residuos sólidos, cada uno de ellos tiene la jurisdicción para decidir el modelo y los parámetros con los que se gestionan los residuos (F Solíz et al. 2020, 47-53).

Según el INEC, para el 2021 la producción per cápita media de residuos sólidos en el área urbana fue de 0,9 kg/hab/día. Siendo Quito, Guayaquil y Machala las ciudades que encabezan la lista. Los residuos orgánicos toman el protagonismo pues representan el 55 % de generación versus el 45 % de residuos inorgánicos (EC INEC, AME y BDE 2022, 8-10).

La gran acumulación de basura en las ciudades genera contaminación ambiental y problemas de salud pública, para contrarrestar la problemática fue necesario crear sistemas de gestión integral de residuos sólidos. Un correcto sistema de gestión integral de residuos comienza con políticas públicas de prevención, de valorización de residuos y de uso eficiente de los recursos naturales (Bagan y Mateu 2020, 17).

Modelos de gestión de residuos orgánicos

Compostaje de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos se pueden reintegrar al ciclo mediante el compostaje

(Chaves Arias, y otros 2019, 1-2). Entender la estructura de los residuos orgánicos y cómo influye en la actividad microbiana nos ayudará a entender mejor su proceso de descomposición. Su estructura está compuesta por:

TABLA 1.
Principales componentes y estructura de los residuos orgánicos

COMPONENTE	ESTRUCTURA
Lignina	Componente estructural (residuos verde leñosos). Degradación sólo en presencia de oxígeno.
Celulosa	Polímero de glucosa (residuos plantas). Fácil degradación en el compostaje.
Hemicelulosa	Polímero de glucosa y azúcares (residuos plantas). Fácil degradación en el compostaje.
Proteínas	Nitrógeno, componente celular y enzimas (restos de alimentos). Fácil degradación en el compostaje.
Carbohidratos	Nitrógeno, componente celular y enzimas (restos de alimentos). Fácil degradación en el compostaje.
Lípidos	Grasas y aceites, presentes como compuestos de almacenamiento (restos de alimentos). Fácil degradación en el compostaje.

ELABORACIÓN: Viviana Rocha

FUENTE: ISWA, 2020

Con ayuda de microorganismos como: bacterias, actinomicetos y hongos que intervienen en el proceso de descomposición, estos compuestos de los residuos

orgánicos pueden ser digeridos y transformados. Las bacterias descomponen estos componentes en presencia de oxígeno, crean células nuevas y liberan dióxido

de carbono, agua y calor. Los actinomicetos por su lado sobreviven a temperaturas altas y degradan parte de la lignina. Por último, los hongos son fundamentales en procesos de compostaje, la presencia de oxígeno es vital para su correcto desarrollo; los hongos son capaces de degradar la lignina y demás compuestos. La celulosa y hemicelulosa son los componentes que aportan energía y se metabolizan durante el compostaje (Gilbert, Ricci y Ramola 2020, 5-22).

El proceso de compostaje pasa por cuatro diferentes fases antes de transformarse en abono, las mismas están definidas principalmente por los cambios de temperatura y comunidades microbianas (Román, Martínez y Pantoja 2013, 21-5).

En términos económicos el compostaje es accesible y en condiciones adecuadas reintegra los residuos orgánicos al suelo mejorando sus condiciones físico-químicas (Vargas, Trujillo, & Torres 2018, 2-3). Si bien es cierto que a través del compostaje los residuos orgánicos se reducen en volumen, para poder utilizar el compost como fertilizante en cultivos destinados a la alimentación es importante mantener la calidad; es decir que ese compost haya alcanzado la madurez necesaria y tenga bajos niveles de metales, mientras de mejor sea la separación en fuente mejor calidad de compost (Hargreaves, Adl y Warman 2007).

Compostaje industrializado

Lamentablemente varios municipios en el país no gestionan adecuadamente sus residuos sólidos, una solución eficiente es implementar sistemas integrales de gestión de residuos, dichos sistemas constan de cinco etapas: diferenciación en fuente, recolección, traslado, valorización y disposición final, siempre acompañado de programas de educación ambiental y participación de la ciudadanía, pues la basura es una corresponsabilidad productor-consumidor (Bagan y Mateu 2020, 27).

Contar con una adecuada recolección diferenciada determina la eficiencia del sistema, para esta etapa se diseñan rutas, considerando ciertas características específicas del lugar como: la cantidad de usuarios, su dispersión, la forma de las calles, su arquitectura, nivel socioeconómico y el clima; en base a esos parámetros se determina el número de flujos, el tipo de contenedores, vehículo y frecuencia de recogida; en esta etapa es donde generalmente se cometen errores y hay un desperdicio importante de recursos económicos (Bagan y Mateu 2020, 42-4). La ubicación de los sitios de tratamiento y disposición final de residuos es fundamental pues debe cumplir con el principio de cercanía. Instalar y mantener estos sitios de disposición final suponen una gran inversión económica. En Ecuador aproximadamente cada municipio gasta 95,70 dólares por tonelada gestionada: recolección, transporte y enterramiento. Al desaprovechar los residuos orgánicos, económicamente hay una pérdida de has-

ta 2,4 millones de dólares mensuales (EC MPCEIP y GIZ 2021).

Una planta de tratamiento a gran escala de residuos orgánicos va a contar con un pretratamiento mecánico ya que puede no existir una eficiencia del cien por ciento en la diferenciación. Luego de pasar por el pretratamiento el flujo orgánico homogeneizado está listo para ser tratado. Los tratamientos biológicos pueden ser en presencia de oxígeno como es el compostaje, o sin oxígeno a través de una biodigestión. (Abad V y Valls 2021, 31-3). De la primera práctica obtenemos compost que es un abono natural rico en nutrientes, y de la segunda obtenemos un digestato de menor calidad y biogás (GAIA 2022, 9-10).

En un tratamiento aeróbico la técnica de compostaje va a variar según la cantidad de residuos tratados, si es a gran escala existen opciones como el compostaje en túnel, nave, trincheras, pilas volteadas, mesetas volteadas y compostador rotativo, cada una de ellas se elegirá según las necesidades y la cantidad de generación de cada municipio, cabe mencionar que estas tecnologías cuentan con control de emisiones, alto nivel de automatización y sistemas de aireación, por ende se requerirán de una gran inversión económica (Abad y Valls 2021, 49-56).

Compostaje descentralizado

Los sistemas descentralizados de compostaje son una alternativa viable, económica y sostenible para tratar los residuos orgánicos, sobre todo en zonas alejadas que no cuentan con el servicio de gestión de residuos sólidos, sin embargo, el compostaje comunitario y domiciliario también es posible en zonas urbanas (Vázquez 2015, 34-73).

Antes de pensar en instalar costosos y complejos sistemas de valorización energética, los modelos basura cero nos exponen una jerarquía de aprovechamiento eficiente para los residuos orgánicos (GAIA 2022. 8,17).



FIGURA 1. Imagen jerarquía de valorización de residuos orgánicos.

FUENTE: GAIA 2022.

Como resultado de este proceso de compostaje se obtiene compost, cuando éste es aplicado al suelo existen múltiples beneficios como la captación de carbono en el suelo. El compost además

mejora la microbiología del suelo, contiene nitrógeno, fósforo y potasio mejorando directamente la calidad del suelo, crea una reserva de nutrientes y por ende los cultivos se ven beneficiados (Gilbert, Ricci, & Ramola 2020, 11-17).

Algunos gases de efecto invernadero GEI se producen durante el proceso de descomposición de la materia orgánica; en el compostaje se pueden controlar ciertos parámetros como aireación, relación C/N, temperatura y humedad, si estos factores se encuentran en condiciones adecuadas significa una reducción en la emisión de GEI en comparación con otros sistemas de gestión de residuos orgánicos a gran escala (Alvarado, y otros 2023, 11-15). Entonces en un compostaje a menor escala estos parámetros se pueden controlar de manera por ende menos emisiones.

El compost maduro es un medio ideal para que crezcan bacterias metaotróficas las cuales son capaces de biooxidar el gas metano, mientras mejor porosidad, madurez y capacidad de retener el agua, mejor calidad de composta (Reza Bacelis, y otros 2006, 6-10).

Bajo este contexto y al conocer que más de la mitad de nuestra basura se puede recuperar, el objetivo de esta investigación es sistematizar las iniciativas ciudadanas que valorizan los residuos orgánicos y conocer cuál es su aporte como agente de mitigación del cambio climático a nivel nacional. Como objetivos específicos, se busca: seleccionar y categorizar la información bibliográfica sobre la gestión de residuos orgánicos y su relación con el cambio climático. Establecer el impacto de las diferentes iniciativas ciudadanas que valorizan los residuos orgánicos en el país.

Esta investigación se enmarca en comprender a los residuos orgánicos como una fuente de recursos que están siendo desperdiciados y no cómo una problemática ambiental.

Metodología

La investigación inició con una fase exploratoria, donde se recabó toda la información pertinente para entender el punto de partida acerca de la situación de residuos orgánicos en el país, seguido de un mapeo de las iniciativas mediante

el método bola de nieve, es decir de un primer grupo elegido refiere a nuevos actores hasta que se cumple con el criterio de saturación de la muestra. A partir de esta muestra se realiza cálculo de emisiones de metano evitadas.

TABLA 2
Metodología de la investigación

ACTIVIDAD	PRODUCTO	METODOLOGÍA
Contextualización de los residuos orgánicos en el país	Informe general sobre el manejo de residuos orgánicos en el país	Recolección de información y análisis
Mapeo de iniciativas	Sistematización de experiencias de compostaje	Referidos a través de la metodología bola de nieve
Georreferenciación de experiencias de compostaje	Mapa georreferenciado detallando las iniciativas	Mediante el uso de herramientas geospaciales del Qgis.
Cálculo de emisiones evitadas	Informe de emisiones desviadas de sitios de disposición final	Aplicación de fórmulas que permitan realizar el cálculo

ELABORACIÓN: Viviana Rocha

La sistematización de la información se la realizó aplicando la jerarquía Basura Cero, así se clasificaron en cinco grupos:

Banco de alimentos: el objetivo de estos proyectos es evitar el desperdicio de alimentos en las ciudades y ser un canal directo entre las empresas donadoras y grupos vulnerables. “The Global

FoodBanking Network” es una red internacional que reúne y sostiene la labor de estos espacios a nivel mundial, depende del contexto en el que se encuentren los apoyan para desarrollar un modelo eficaz en cada una de sus actividades (GFN 2023). A través de entrevistas, visitas y llamadas telefónicas se determinó el impacto

que generan estas iniciativas, que evitan que alimentos en buen estado terminen en sistemas de disposición final. **Gestores para alimento de animales:** estos gestores suelen retirar gratuitamente las sobras de alimentos preparados en colegios, restaurantes, hoteles, etc. Para destinarlo como alimento de animales menores (cuya, cerdo, perros). La autoridad ambiental, Ministerio y Secretaría de Ambiente facilitaron sus listados de gestores calificados, sin embargo, fue complejo obtener información acerca de su impacto ya que no se ha cuantificado con exactitud la cantidad de residuos gestionados. Para este caso se realizó una proyección para determinar un peso aproximado, tomando como referencia un tamaño estándar de recipientes con capacidad de 70lt, y utilizando un peso específico para residuos orgánicos mezclados de 291 kg/m³, se realizó la conversión; a este valor se multiplicó por una media de 6 recipientes de capacidad de 70 lt que entran en un medio de transporte pequeño como una camioneta. La cantidad y el tamaño de recipientes se estableció luego de una visita que se realizó a un gestor de alimentos para cerdos en Calderón-Quito. **Compostaje descentralizado:** se trata de compostaje a pequeña y mediana escala, dentro del contexto basura cero es la opción ideal de compostaje, pues no existen emisiones por transporte, son cantidades manejables y se obtiene un compost de excelente calidad. Se utilizaron datos sobre gestores calificados facilitados por la autoridad ambiental Ministerio y Secretaría de Ambiente, al igual que en la anterior clasificación fue difícil obtener datos específicos sobre la cantidad de residuos orgánicos compostados, por lo que se realizó una proyección tomando como

referencia un valor promedio de las composteras comunitarias que sí contaban con ese dato y la capacidad de media tonelada de residuos que se pueden compostar por metro cúbico. **Servicios de gestión de residuos:** son gestores ambientales cuyo trabajo se enfoca en educación ambiental, separación en fuente, transporte de los residuos, compostaje y valorización de subproductos. Aquí se identificó un modelo de negocio a través de la gestión por servicios de tratamiento de residuos, es decir hay una tarifa que el generador debe pagar por el servicio. Los datos utilizados fueron facilitados mediante comunicaciones directas vía telefónica con las/os fundadores/as de cada iniciativa, al ser iniciativas privadas con visión empresarial. **Municipios:** los GAD tienen la jurisdicción para decidir cómo tratar sus residuos, esta clasificación hace referencia a quienes dan algún tipo de gestión a los residuos orgánicos que se producen en su cantón. Para esta sección se utilizó la base de datos del registro de gestión de residuos sólidos 2022, elaborada por el AMEC e INEC, en esta sección se corroboró la mayoría de información mediante vía telefónica y reuniones virtuales con los encargados de cada municipio. No todos los datos pudieron ser corroborados pues no todos los mensajes fueron atendidos.

Cálculo de Metano y lixiviado: una vez calculado el peso global de residuos orgánicos que son compostados y tomando como referencia los datos de generación de residuos, emisión de metano y lixiviado determinado obtenidos del primer diagnóstico de emisiones de metano en el marco del proyecto “Metano y Cambio Climático” de la Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar y la Alianza Basura Cero Ecuador,

se pudo determinar la cantidad de metano y lixiviado evitado por tonelada de basura dispuesta mediante las siguientes fórmulas.

Se utilizó esta fórmula sencilla para cálculos de emisiones evitadas de metano y lixiviados.

En ambas fórmulas, para cuidar la calidad de los resultados finales y darle uniformidad a la estructura de cálculo, para cada punto de compostaje mapeado en la fórmula se aplicaron los datos generación total

de residuo del sitio de disposición final más cercano a su georreferenciación, ya que no todos los municipios cuentan

$$\text{Metano evitado} = \frac{\text{tonelada de residuo compostado} \times \text{metano emitido}}{\text{tonelada de residuo generado}}$$

$$\text{Lixiviado evitado} = \frac{\text{tonelada de residuo compostado} \times \text{lixiviado emitido}}{\text{tonelada de residuo generado}}$$

con información acerca de la caracterización orgánico e inorgánico.

Resultados

Mapeo de iniciativas

La información levantada de las iniciativas se sistematizó, en un primer momento, según la jerarquía basura cero para el manejo de residuos orgánicos. Como resultado, se obtuvieron los siguientes mapas, donde se visualiza cada iniciativa de gestión descentralizada de residuos orgánicos (GDRO) georreferenciada y la cantidad de toneladas de residuos orgánicos recuperados a nivel nacional.

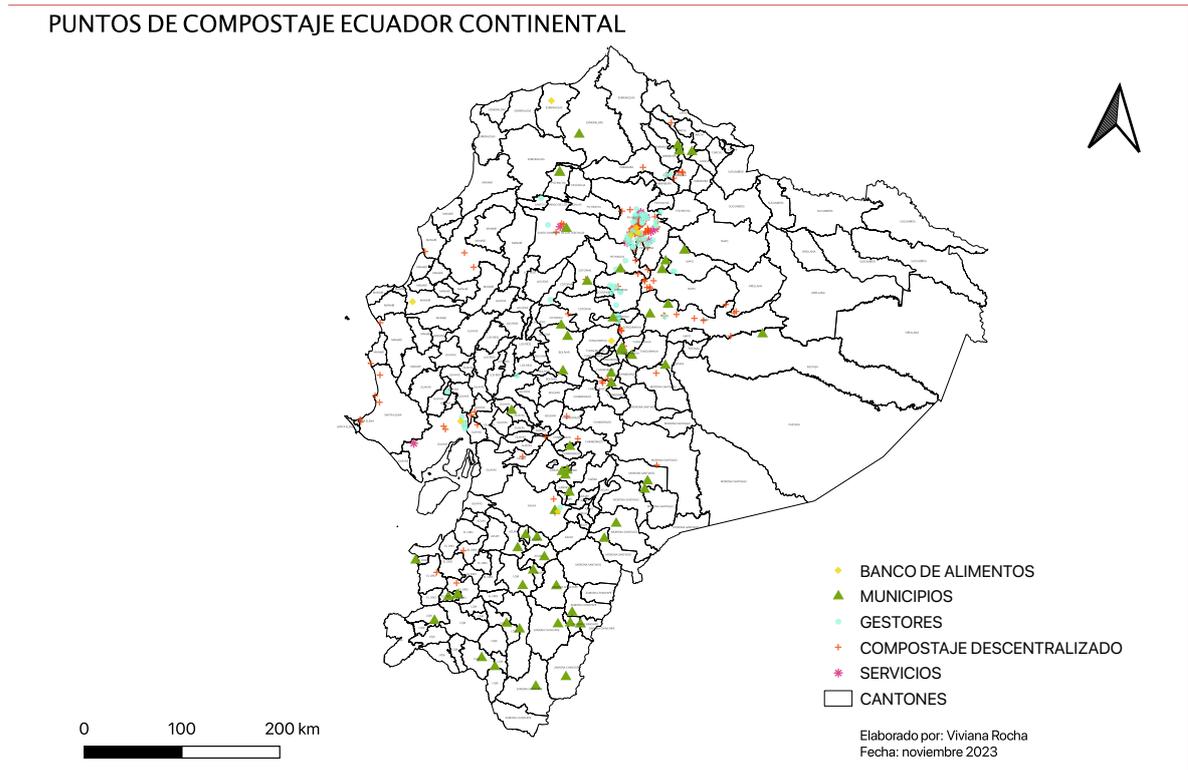


FIGURA 2. Mapa de las experiencias de gestión descentralizada de residuos orgánicos en Ecuador.
ELABORACIÓN: Viviana Rocha. Nota: En el ANEXO 1 se encuentra adjunto el mapa original con buena resolución.

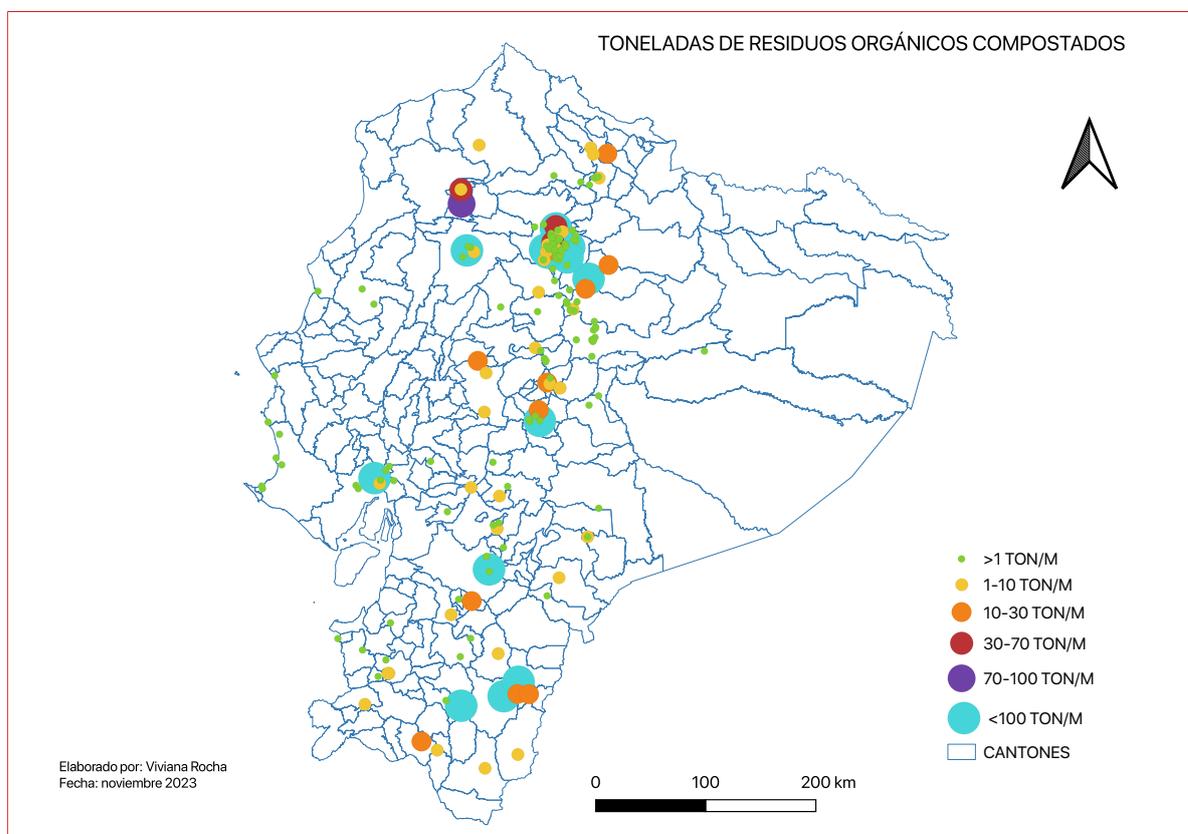


FIGURA 3. Mapa de toneladas de residuos orgánicos gestionados en el Ecuador.
ELABORACIÓN: Viviana Rocha. Nota: En el ANEXO 1 se encuentra adjunto el mapa original con buena resolución.

TABLA 3
Resumen de iniciativas de GDRO mapeadas y toneladas de residuos orgánicos recuperados

INICIATIVAS MAPEADAS	NÚMERO DE INICIATIVAS	TONS RECUPERADAS/MES
Banco de alimentos	9	475
Gestores comida de animal	150	261
Compostaje descentralizado	139	90.42
Servicios de compostaje	15	1294
Municipios	65	2 390.33
Total		4 510.75

ELABORACIÓN: Viviana Rocha

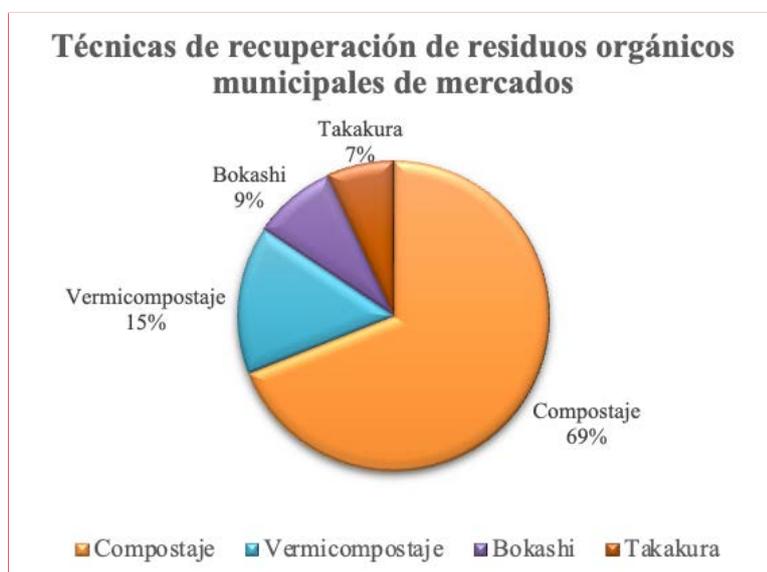


FIGURA 4. Técnicas de tratamiento de residuos orgánicos municipales de mercado.

Elaboración propia a partir del análisis del informe estadístico sobre gestión de residuos sólidos municipales del INEC (véase ANEXO 2).

Trescientas setenta y ocho iniciativas realizan GDRO en distintas escalas. Alrededor de 4 510.75 toneladas de residuos orgánicos se recuperan mensualmente a través de la GDRO. Encabezan la lista los 65 municipios que gestionan sus residuos orgánicos, sin embargo, este panorama de tratamiento de residuos orgánicos en el país es confuso, pues ciertos municipios no han encontrado un sistema eficiente, algunos gestionan solo

una pequeña fracción de su resto orgánico domiciliario, otros únicamente aprovechan los restos de mercado, pocos aprovechan ambos, y una minoría apenas están comenzando con pequeños planes piloto. Entre las técnicas de tratamiento que más se aplican en el país tenemos: compostaje en pilas, vermicompostaje, bokashi y tatakura. A continuación: podemos observar el porcentaje de aplicación de cada una de las técnicas de tratamiento de residuos orgánicos que provienen

de mercados y origen domiciliario (EC INEC, AME y BDE 2022).

El Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Energética en colaboración con la Unión Europea, la Asociación de Municipalidades del Ecuador y la Fundación ACRA desarrollaron un proyecto cuyo producto final fue un manual de gestión de residuos orgánicos municipales, aquí se detallan cómo aplicar las

diferentes técnicas de tratamiento de residuos orgánicos (EC MAE et al. 2020, 3-6).

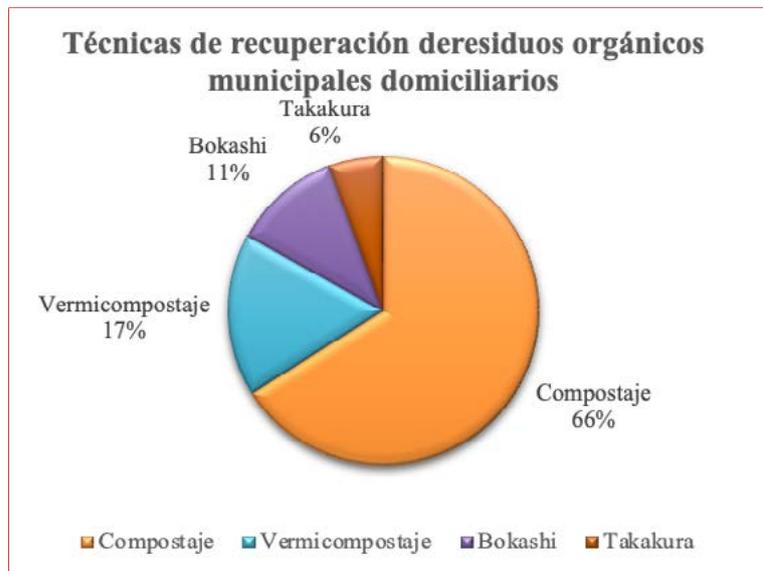


FIGURA 5. Técnicas de tratamiento de residuos orgánicos municipales domiciliarios.

Elaboración propia a partir del análisis del informe estadístico sobre gestión de residuos sólidos municipales del INEC (véase ANEXO 2).

Los servicios de compostaje recuperan una importante cantidad de residuos orgánicos con cerca de 1 294 toneladas al mes. Entre las principales provincias donde se brinda el servicio se encuentran Pichincha y Guayas. Este nivel de compostaje puede ser considerado a mediana escala, las empresas o emprendimientos ofrecen una gestión integral al residuo orgánico: separación en fuente, transporte de los residuos, compostaje y valorización del compost obtenido ya sea mediante la venta o la instalación de huertas. Aquí se identificó un modelo de negocio a través de la gestión por servicios de tratamiento de residuos, es decir hay una tarifa que el generador paga por el servicio, es importante mencionar que estos esfuerzos han sido autofinanciados por las iniciativas que se dedican a compostar y se sostienen gracias al pago de esta tarifa.

En el caso del compostaje descentralizado, se identificó que se lleva a cabo en espacios públicos, privados y comunales. El compostaje descentralizado se ha convertido en una fuente viable de recuperación de los residuos orgánicos convirtiendo a los espacios públicos, un lugar de reencuentro con los vecinos donde de a poco se van reestructurando tejidos sociales. Aunque para muchos pareciera descabellado, tener un espacio de compostaje descentralizado dentro del área urbana es una iniciativa que va tomando fuerza. Adicionalmente, en el área rural se están

desarrollando algunos proyectos de compostaje con enfoque educativo como el caso de la red de compostaje educativo de Mancomunidad del Chocó Andino y de la iniciativa comunitaria de Amiguitos por el Océano en Ayangué.

El uso de los residuos orgánicos como alimento de animales menores como cerdos y cuyes, en zonas rurales, es una práctica integrada en el diario vivir; sin embargo, en la ciudad pareciera que no es posible. A pesar de esa creencia, cerca de 150 iniciativas ciudadanas están registradas en la Secretaría de Ambiente de Quito como gestores de residuos orgánicos para alimento de animales. La mayoría de estas iniciativas se encuentran en zonas periféricas de la ciudad. Estos gestores suelen retirar las sobras de alimentos preparados de restaurantes, hoteles, etc. Su situación es compleja porque a pesar de ser gestores, en la mayoría

de los casos no reciben ningún pago por su labor y, sin embargo, están evitando que estos residuos terminen enterrados en sistemas de disposición final.

Por último, en la categoría de prevención se identificaron iniciativas como bancos de alimentos que recuperan alimentos que potencialmente terminarían siendo basura. Si bien estas iniciativas no compostan, sí evitan que los residuos terminen contaminando. Desvían alrededor de 475 toneladas de alimentos que se encuentran en buen estado, pero por su estética no pueden ser destinados para la venta.

La educación ambiental es un factor clave para la divulgación, formación y concientización de la problemática a la ciudadanía, en el país han sido pocos los esfuerzos por parte de la autoridad ambiental para promoverla como un eje transversal. Se han realizado únicamente proyectos puntuales de periodos cortos y sin seguimiento. Lastimosamente hasta ahora no existen estrategias claras para poder abordar este nivel de jerarquía (EC MAE 2018, 15).

Sistematizar la información en esta jerarquía nos amplió la visión acerca de la realidad de la GDRO en sus diversas escalas, técnicas y actores involucrados. Si bien

las cantidades que se recuperan versus las que se generan, siguen siendo poco representativas, son un buen indicador que se está empezando con una nueva cultura de GDRO en el país. Posiciona también el compostaje descentralizado, pues manejar compostaje a pequeña escala en varios puntos, definitivamente es un beneficio ambiental que dinamiza economías populares, recupera espacios y configura lugares de encuentro para la sociedad.

Metano evitado por tonelada de basura dispuesta

Una vez aplicada la metodología de cálculo, la sistematización de la información se realizó en base a la cantidad de residuos orgánicos recuperados por la GDRO y su ubicación geográfica. Como resultado se obtuvo el siguiente mapa:

TABLA 4
Cantidad de metano evitado por región

REGIÓN	TON RECUPERADAS POR DGRO	m ³ DE METANO EVITADO
Costa	40.43	1 727.96
Sierra	3 769.72	176 082.78
Amazonía	590.27	623.00
Galápagos	110.33	3 866.99
TOTAL	4 510.75	182 300.75

ELABORACIÓN: Viviana Rocha

FUENTE: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador

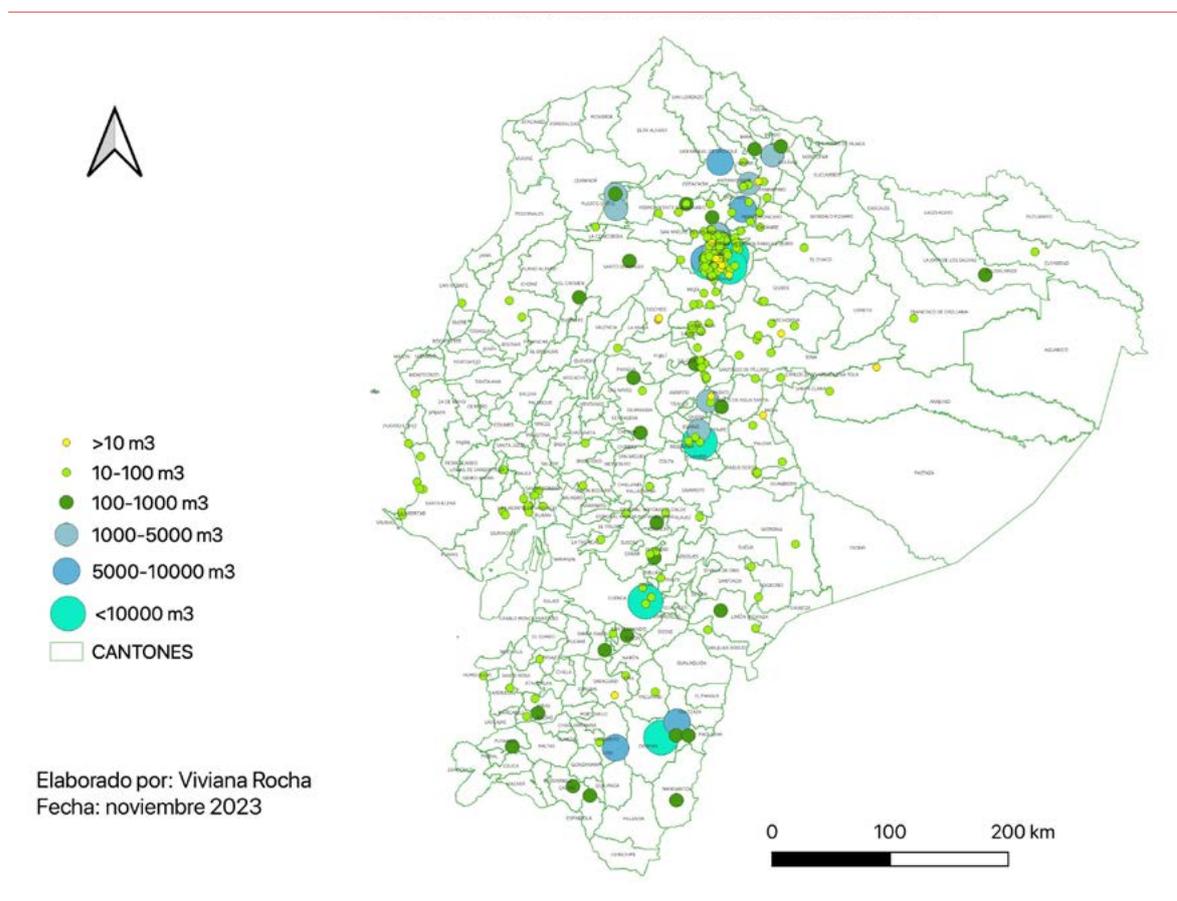


FIGURA 6. Mapa de emisiones de Metano evitadas en el Ecuador. ELABORACIÓN: Viviana Rocha.

FUENTE: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador.

Nota: En el ANEXO 1 se encuentra adjunto el mapa original con buena resolución.

En el mapa se pueden observar los puntos de GDRO en relación con la cantidad de metano evitado. Encabezan los puntos de compostaje de la región Sierra, donde se encuentran más iniciativas de compostaje y se recuperan 3 769.72 toneladas de residuos orgánicos al mes. A la Sierra le sigue la región amazónica con 590.27 toneladas de residuos orgánicos al mes. La Región Insular, por su parte, composta 110 toneladas de residuos orgánicos al mes. Por último, la región Costa apenas gestiona 40.43 toneladas de residuos orgánicos al mes.

Es importante mencionar que la gran diferencia encontrada entre regiones obedece a que en la región Sierra existe una

mayor cantidad de municipios que realizan algún tipo de gestión para los residuos orgánicos. En un análisis global, a nivel nacional, estas iniciativas representan: 182 300.75 metros cúbicos de gas metano evitado gracias a los GDRO.

A continuación, se presenta una comparación de metano generado y el impacto del metano evitado a nivel nacional:

TABLA 5
Comparación entre el metano generado y el metano evitado gracias a la GDRO

REGIÓN	TONS RECUPERADAS	METANO EVITADO	TONS GENERADAS	METANO GENERADO
Costa	40.43	1 727.960246	3 401 440.836	170 099 735
Sierra	3 769.72	176 082.7883	1 990 782.4	12 423 984
Amazonía	590.27	623.0054866	225 115.2396	10 544 812.7
Galápagos	110.33	3 866.996719	6 029.795762	211 913.242
Total	4 510.75	182 300.7508	5 623 368.271	283 280 444

ELABORACIÓN: Viviana Rocha.

FUENTE: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador

Como podemos observar en la tabla de resumen y el gráfico, Galápagos es la región que mejor gestiona sus residuos orgánicos pues evitan que el 91% de residuos generados con potencial de putrefacción emitan gas metano. La siguiente región con representatividad es la Sierra con un 9%; a pesar de ser la región con más iniciativas de compostaje, la cantidad de generación de residuos es altísima. Y por último las regiones Costa y Amazonía recuperan menos del 1% de sus residuos orgánicos en comparación a la cantidad de generación. A pesar de que existen iniciativas de GDRO en cada una de las regiones, la cantidad aún no es representativa, sin embargo, entender el panorama nos permite buscar soluciones viables, efectivas y reales ante la mala disposición de los residuos orgánicos.

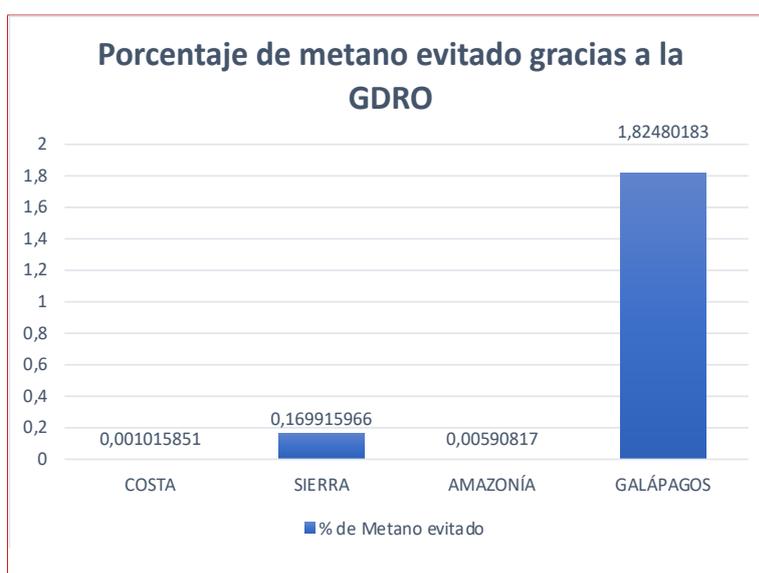


FIGURA 7. Porcentaje de metano evitado en relación con el metano generado.

ELABORACIÓN: Viviana Rocha.

FUENTE: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador

Lixiviados evitados por tonelada de basura dispuesta

La metodología y sistematización para el cálculo de lixiviados evitados fue similar a la del gas metano, se organizó la información en función de la cantidad

de lixiviado evitado por punto de compostaje georreferenciado. A continuación, el detalle de los resultados y el mapa:

TABLA 6
Cantidad de lixiviado evitado por región

REGIÓN	TON COMPOSTADAS	m ³ LIXIVIADO EVITADO
Costa	40.43	7.78
Sierra	3 769.72	736.30
Amazonía	590.27	2.49
Galápagos	110.33	14.18
Total	4 510.75	760.76

ELABORACIÓN: Viviana Rocha

FUENTE: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador.

Nota: En el ANEXO 1 se encuentra adjunto el mapa original con buena resolución.

TABLA 7
Comparación entre el lixiviado generado y el lixiviado evitado gracias a la GDRO

REGIÓN	TONS RECUPERADAS	LIXIVIADO EVITADO	TONS GENERADAS	LIXIVIADO GENERADO
Costa	40.43	7.782642708	3 401 440.836	675 962.8088
Sierra	3 778.863519	736.3072337	1 990 782.4	431 312.331
Amazonía	590.27	2.494467497	225 115.2396	45 077.0571
Galápagos	110.33	14.18099633	6 029.795762	826.6753198
Total	4 519.893519	760.7653402	5 623 368.271	1 153 178.872

ELABORACIÓN: Viviana Rocha

FUENTE: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador.

El mapa nos indica la cantidad de lixiviados evitados en función a las toneladas de residuos orgánicos recuperados, con un total de 760.6 metros cúbicos de lixiviados evitados. La cantidad de lixiviado

evitado va en función de la cantidad de residuos recuperados, así en la Sierra 736.30 metros cúbicos fueron evitados, seguido de Galápagos con 14.18 metros cúbicos y finalmente 7.78 y 2.49 metros cúbicos

de la Costa y Amazonía respectivamente. Además, se presenta una tabla comparativa entre la cantidad de lixiviado generado

y el lixiviado evitado para medir el impacto que se ha generado a través del compostaje.

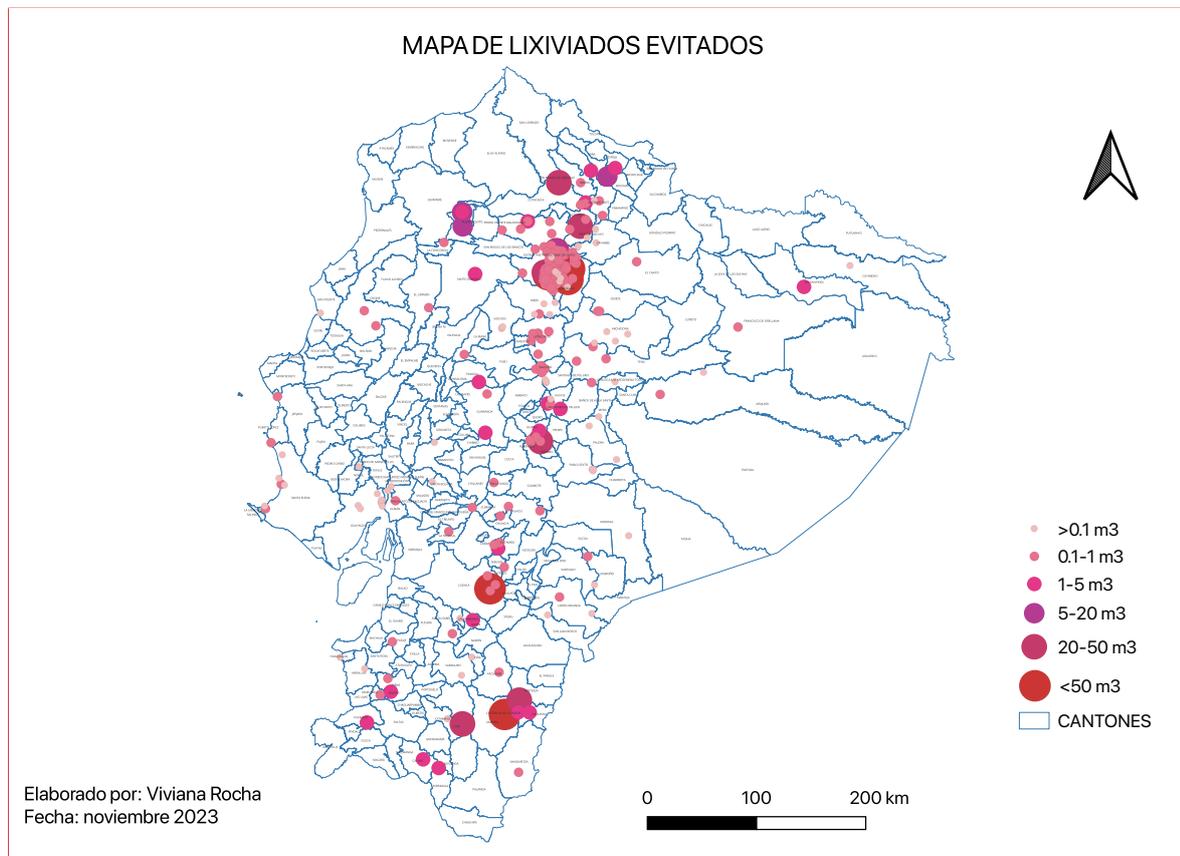


FIGURA 8. Mapa de lixiviados evitados en Ecuador.

ELABORACIÓN: Viviana Rocha.

FUENTE: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador



Para los lixiviados los resultados son similares a las emisiones de metano evitado, la Región Insular es la que mejor impacto representa, con un 86% de lixiviados evitados en comparación a los lixiviados generados

FIGURA 9. Porcentaje de lixiviados evitados en relación con los lixiviados generados.

ELABORACIÓN: Viviana Rocha

FUENTE: Universidad Católica de Cuenca, Universidad Andina Simón Bolívar, Proyecto Metano y Cambio Climático; Alianza Basura Cero Ecuador.

en esa región, le sigue la región Sierra con 14% de lixiviados evitados en comparación a los lixiviados generados y por último las regiones Costa y Amazonía recuperan me-

nos del 1% por lo que la representatividad del impacto en relación con la generación es nula.

Estimación económica

La mala disposición de residuos orgánicos supone un coste elevado para los gobiernos autónomos descentralizados del país, el valor varía considerablemente uno con otro. En el “Libro Blanco de Economía Circular del Ecuador” se estima que el valor aproximado por tonelada de residuos gestionado es de 95.70 dólares, tomando como referencia ese dato podemos estimar el ahorro que representan estas iniciativas de compostaje para el Estado.

Como resultado obtenemos que todas las iniciativas de compostaje mapea-

das en esta investigación representan para el Estado un ahorro mensual de 431 678.77 dólares. Mientras los municipios desperdician sus pocos recursos económicos en un modelo sin separación de flujos, ni aprovechamiento de residuos orgánicos, este indicador económico es una muestra de que apostar por la separación en la fuente y la valorización de residuos orgánicos a través del compostaje descentralizado es una acción efectiva ante la crisis de basura que atraviesa el país.

TABLA 8
Estimación económica del ahorro que representa para el Estado las iniciativas de GDRO mapeadas

INICIATIVAS MAPEADAS	TON/MES	VALOR USD
Banco de alimentos	475	45 457.5
Gestores comida de animal	261	24 977.7
Compostaje descentralizado	90.42	8 653.19
Servicios de compostaje	1 294	123 835.8
Municipios	2 390.33	228 754.58
Total	4 510.75	431 678.77

ELABORACIÓN: Viviana Rocha

Impacto de los recicladores de base

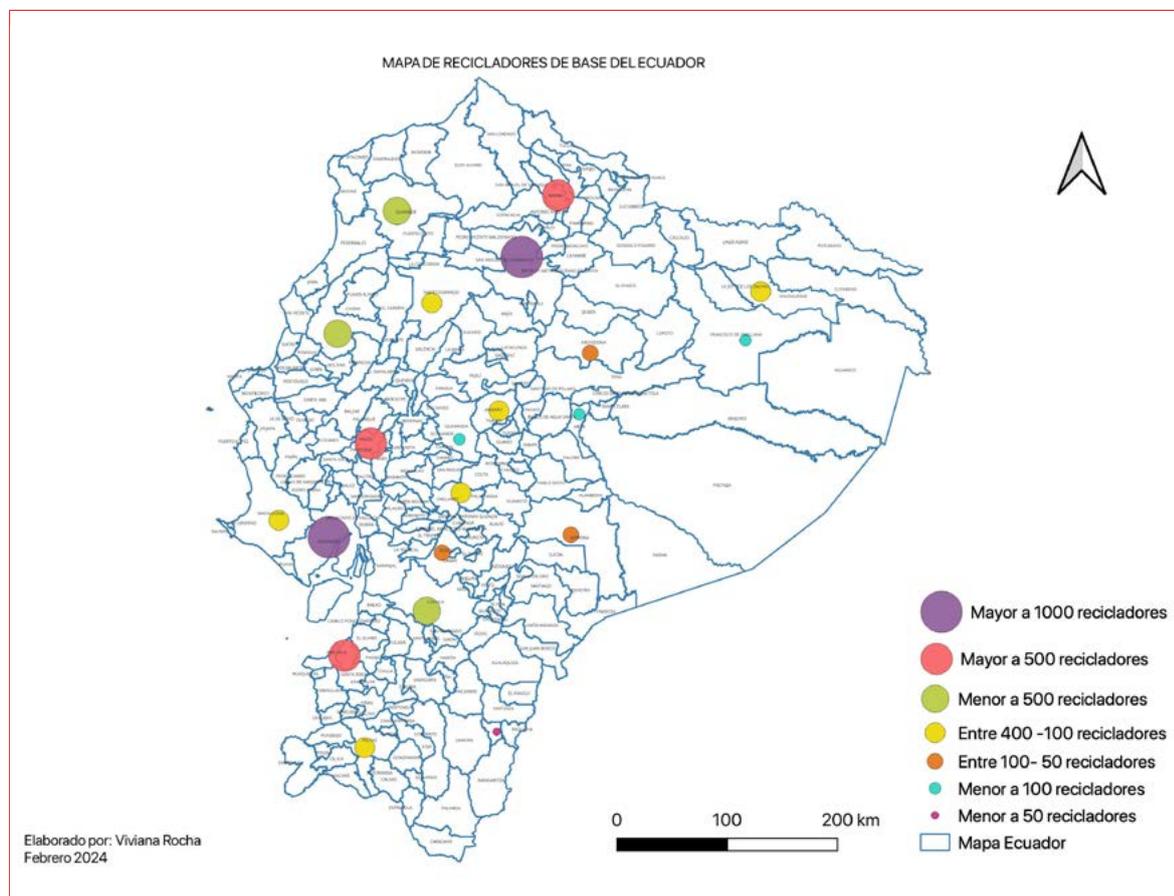


FIGURA 10. Mapeo de recicladores de base en el Ecuador.

ELABORACIÓN: Viviana Rocha.

FUENTE: MIES 2023. Nota: En el ANEXO 1 se encuentra adjunto el mapa original con buena resolución.

Conforme los datos del primer censo de recicladores de base a nivel nacional realizado por el MIES en el 2021, en el país existen 9 744 familias recicladoras, siendo Pichincha y Guayas las provincias con mayor número de recicladores de base. Sin embargo, la Red Nacional de Recicladores del Ecuador, RENAREC afirma que son más de 20 000 familias recicladoras.

Como se puede observar en el mapa, en varias provincias del país hay presencia de recicladores de base, y éstos, son acto-

res claves en la gestión de residuos sólidos. Las familias recicladoras encuentran en la basura un medio de subsistencia y, aunque en su mayoría recuperan residuos inorgánicos, la recuperación de residuos orgánicos es una práctica frecuente en los recicladores que trabajan en botaderos a cielo abierto y celdas emergentes. En general, los recicladores que recuperan residuos orgánicos, los utilizan en primer lugar para el autoconsumo y, en segundo lugar, como alimento para animales

de crianza (vacas, cerdos y pollos) y para animales domésticos (gatos y perros).

Según datos de la RENAREC, cada reciclador recupera una tonelada de residuos al mes, y el 60% de los recicladores trabajan en botaderos a cielo abierto. En el censo de INEC consta que el 17.3% de GADS tienen botaderos a cielo abierto como sitio de disposición final lo que significa que 3 520 recicladores recuperan una cantidad importante de residuos orgánicos. Si asumimos, que, de las 3 520 toneladas, un 20% corresponden a residuos orgánicos esto significa que este grupo importante en la GDRO estaría recuperando alrededor de 704 toneladas mensuales de residuos orgánicos, este valor traducido a emisiones de metano

evitado serían 35 464.41 metros cúbicos, y alrededor de 144.36 metros cúbicos de lixiviado evitado. En términos económicos con esta simulación los recicladores de base estarían ahorrando 67 372.80 dólares por mes al Estado.

Aunque con exactitud no se ha determinado la cantidad de residuos orgánicos que está siendo recuperado por el movimiento reciclador, pues al ser un residuo que no se lo comercializan no llevan un control de la cantidad recuperada, sin embargo, por todos los beneficios que presentan, hay una ventana abierta con grandes posibilidades de que empiecen a diversificar los residuos con los que trabajan a diario.

Conclusiones

Los efectos ambientales, económicos y sociales de una mala gestión de residuos sólidos son innegables y, mientras no existan políticas públicas claras y radicales para abordar el manejo de residuos, estos se intensificarán exponencialmente a lo largo de los años.

La prevención en la generación, la prohibición de materiales de un solo uso, la responsabilidad extendida al productor, las tasas de cobro diferenciadas, la obligatoriedad en la separación en fuente, son algunas condiciones mínimas esenciales.

Estamos viviendo un momento crucial de la crisis climática donde la única esperanza reside en transitar hacia nuevos modelos donde la idea de “basura” sea obsoleta. Para ello, requerimos trabajar en la construcción de ese futuro y tejer nuevas estrategias desde los espacios familiares, educativos, comunitarios y barriales.

Las iniciativas descritas en esta investigación son un claro ejemplo de que una gestión descentralizada funciona, pues sus modelos – aunque a pequeña escala – cumplen con los lineamientos de una gestión integral de residuos sólidos, generan un impacto positivo, ahorro

económico, desvían residuos orgánicos del relleno sanitario, evitan contaminación y, lo más importante, recuperan estos residuos orgánicos a través del compostaje, alimentación de animales e incluso de personas.

En total, las iniciativas mapeadas en esta investigación gestionan 4 510.75 toneladas de residuos orgánicos al mes. Esto se traduce en 182 300.75 metros cúbicos de metano evitado y 760.76 metros cúbicos de lixiviados evitados a nivel nacional, adicional el movimiento reciclador recupera alrededor de 704 toneladas mensuales de residuos orgánicos, este valor traducido a emisiones de metano evitado serían 35 464.41 metros cúbicos, y alrededor de 144.36 metros cúbicos de lixiviado evitado.

Resulta entonces imperativo impulsar modelos “basura cero” donde los residuos orgánicos juegan un papel crucial. Estos modelos buscan restaurar los ciclos de la Naturaleza y esto se traduce en beneficios directos para la sociedad, en tanto un ambiente más saludable garantiza una mejor calidad de vida.

El compostaje descentralizado es una práctica eficaz para la mitigación de emisiones de metano, al gestionar los residuos orgánicos a nivel local, se reduce la necesidad de transportar estos materiales a grandes instalaciones de tratamiento, lo que a su vez disminuye las emisiones asociadas con el transporte y la gestión centralizada de residuos .

La descentralización del compostaje, reduce costos y energía en los procesos de transformación de los residuos en compost. Además de fomentar la participación activa de la comunidad en la gestión de residuos. Al permitir que los residentes participen en la separación y compostaje

de residuos orgánicos en sus propias viviendas o comunidades, se promueve un mayor sentido de responsabilidad ambiental y se fortalece el tejido social.

El compostaje descentralizado puede generar compost de alta calidad, es más fácil evitar la intromisión de plásticos en el compost cuando se lo hace a pequeña escala. Además de poder usarse para mejorar la fertilidad del suelo en jardines, huertos comunitarios o recuperación de quebradas.. Esto contribuye a cerrar el ciclo de nutrientes y reduce la dependencia de fertilizantes químicos, lo que a su vez puede tener beneficios ambientales adicionales.

A la par es importante fomentar la educación ambiental y conciencia ciudadana pues entender estos conceptos implica la responsabilidad individual y colectiva en la reducción del consumo de productos desechables y la adopción de prácticas sostenibles. Cuando se combina con políticas públicas efectivas, esta concienciación puede marcar la diferencia en la lucha contra la crisis de los residuos sólidos y el cambio climático. En última instancia, debemos actuar de manera conjunta y decidida para abordar estos desafíos y crear un futuro más sostenible y saludable para todos, todas y para la Naturaleza de la que somos parte.

Bibliografía

- Abad, Vanessa, y Johan Valls. 2021. "Tecnologías y procesos para el tratamiento y valorización". Módulo Posgrado, Barcelona: Fundació IL3-UB.
- Alvarado, Horacio, Pablo Escamilla, María Eugenia Estrada, y Francisco Pérez. «La composta como reductor de gases de efecto invernadero en el sector agrícola: una revisión integral.» *ResearchGate*, 2023: 1-17.
- Alvariño, Caridad Ramos. «Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa.» *Revista CENIC*, 2005: 45-53.
- Bagan, Nuria, y Albert Mateu. 2020. "Ge (Reza Bacelis, y otros 2006)stión de Residuos". Módulo Posgrado, Barcelona: Fundació IL3-UB.
- Chaves Arias, Raizeth, Roohe Campos Rodríguez, Laura Brenes Peralta, y María Fernanda Jiménez Morales. «Composting of biodegradable wastes from the university restaurant at Tecnológico de Costa Rica.» *Revista Tecnología en Marcha*, 2019.
- EC INEC, Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME) y Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE). 2022. "Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales". *Boletín Técnico, Gestión de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales basadas en Registros Administrativos (GESARA)*.
- EC Ministerio de Ambiente y Agua Ecuador (MAE), Asociación de municipalidades del Ecuador (AME), Fundación ACRA, y Unión Europea (UE). 2020. *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales*. Quito: Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador.
- EC Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP) y GIZ. 2021. *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador*. Quito: MPCEIP) / GIZ.
- GAIA. *Zero waste to zero emissions*. Informe, Berkely: Global Alliance for Incinerator Alternatives, 2022.
- GFN. *GLOBAL FOODBANK NETWORK*. 2023. <https://www.foodbanking.org/promoting-food-security/> (último acceso: 18 de 09 de 2023).
- Gilbert, Jane, Marco Ricci, y Aditi Ramola. *Los Beneficios del compostaje y la digestión anaeróbica cuando se aplica al suelo*. Netherlands: ISWA, 2020.
- Gilbert, Jane, y Marco Ricci. s.f.
- Hargreaves, J.C, M Adl, y P Warman. «A Review of the Use of Composted Municipal Solid Waste in Agriculture.» *Agriculture, Ecosystems & Environment, volumen 123* , 2007: 1-4.
- Reza Bacelis, Gabriela, María Sauri Riancho, Elba Castillo Borges, y Roger Méndez Novelo. «APROVECHAMIENTO DE LA COMPOSTA PARA LA OXIDACIÓN DE METANO.» *AIDIS*, 2006: 1-13.
- Román, Pilar, María Martínez, y Alberto Pantoja . *Manual de compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013.

- Vargas, Oscar, Juan Trujillo, y Marco Torres. *El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento*. Orinoquia: Universidad de los Llanos, 2018.
- Vázquez, Marcos A. «Compostaxe descentralizada de residuos orgánicos: do ámbito doméstico á granxa.» *TESE DE DOUTORAMENTO*. Coruña, 2015.
- ONU, Medio Ambiente. 2018. *Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe ONU Medio Ambiente*. Ciudad de Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Solíz Carrión, Fernando, María Fernanda Solíz Torres, Melanie Valencia Velasco, y Milena Yépez Fuentes. 2019. *Reciclaje sin recicladorAs es basura*. Quito: La Tierra.
- Solíz Torres, María Fernada. 2016. *Salud colectiva y ecología política: La basura en Ecuador*. Quito: Ediciones La Tierra.
- Solíz Torres, María Fernanda, Juan Sebastián Durango, Milena Alia Yépez, y José Luis Solano. 2020. *El derecho a la salud en el oficio del reciclaje Acciones comunitarias frente al COVID-19*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar.
- Solíz Torres, María Fernanda. 2021. *La basura como naturaleza. La basura con derechos*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar.

Anexos

Anexo 1. Enlace de acceso a mapas originales con buena resolución

https://drive.google.com/drive/folders/1ocLPTmm4M5SRIubxpD4f8BKy6MB-4GCEW?usp=drive_link

Anexo 2. Tabla resumen de la gestión de residuos orgánicos de los GAD municipales

CÓDIGO	TIPO DE GESTIÓN
1	Separacion en la fuente (domiciliario)
2	Separacion organicos
3	Aprovechamiento ro mercados
31	Compostaje mercados
32	Vermicompostera mercados
33	Bokashi mercados
34	Tatakura mercados
4	Aprovechamiento ro domestico
41	Compostaje ro domestico
42	Vermicompostera domiciliario
43	Bokashi domiciliario
44	Tatakura domiciliario
45	Otra gestion
5	Recolección diferenciada

Metano

**Contaminación y
mitigación,
desde una mirada
basura cero**

Alicia Franco
Viviana Rocha Arias
José Luis Solano
José Ricardo Guamán

