



Huella de carbono de los residuos sólidos en el mercado del cantón Yaguachi

Carbon footprint of solid waste on the market of the Yaguachi canton

Reinoso Intriago, Carmen; Cadenas Martínez, Rubén

Carmen Reinoso Intriago

reinoso-carmen4208@unesum.edu.ec
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Rubén Cadenas Martínez

ruben.cadenas@unesum.edu.ec
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Resumen: Los mercados municipales están entre los sitios generadores de residuos cuyo destino final son los vertederos. La mayor parte de los residuos generados son de tipo orgánico cuya descomposición emite dióxido de carbono y metano, los cuales son gases de efecto invernadero. Para establecer un plan de reducción de emisiones se hace necesario conocer el aporte que tienen los residuos en la emisión de gases de efecto invernadero. El objetivo de la presente investigación fue estimar la huella de carbono generada por los residuos sólidos producidos en las actividades diarias del Mercado Municipal del Cantón Yaguachi. Para ello se cuantificaron y clasificaron los residuos producidos y se aplicó la metodología del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (*Greenhouse Gas Protocol*/GHG Protocol) bajo dos escenarios, el primero de los cuales supone que toda la materia orgánica es utilizada en la elaboración de compostaje y otros procesos biológicos y el segundo escenario supone que todos los residuos van al vertedero. Los resultados muestran que el segundo escenario produce aproximadamente el doble de las emisiones producidas por el primer escenario. Se concluye que con reutilizar los residuos orgánicos se evita que, anualmente, sean emitidas a la atmósfera alrededor de 3.000 t CO₂ eq.

Palabras clave: emisión de gases de efecto invernadero, residuos sólidos urbanos, residuos orgánicos.

Abstract: Municipal markets are among the waste generating sites whose final destination is landfills. Most of the waste generated is organic, which decomposition emits carbon dioxide and methane, which are greenhouse gases. Therefore, to establish an emissions reduction plan for greenhouse gases, it is necessary to know the contribution that waste has to the emission of greenhouse gases. The objective of this research was to estimate the carbon footprint generated by solid waste produced in the daily activities of the Municipal Market of Cantón Yaguachi. For this, the waste produced was quantified and classified and the methodology of the *Greenhouse Gas Protocol* / GHG Protocol was applied under two scenarios, the first of which assumes that all organic matter is used in the preparation of composting and other biological processes and the second scenario assumes that all waste goes to landfill. The results show that the second scenario produces approximately twice the emissions produced by the first scenario. It is concluded

Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación

CIDEPRO, Ecuador
e-ISSN: 2588-1000
Periodicidad: Trimestral
Vol. 6, No. 43, 2022
editor@journalprosciences.com

Recepción: 14 Marzo 2022

Aprobación: 2 Mayo 2022

DOI: <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp139-145>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Cómo citar: Reinoso Intriago, C., & Cadenas Martínez, R. (2022). Huella de carbono de los residuos sólidos en el mercado del cantón Yaguachi. *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 6(43), 139-145. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp139-145>

that reusing organic waste avoids that, annually, around 3,000 t CO₂ eq are emitted into the atmosphere.

Keywords: greenhouse gases emissions, urban solid waste, organic waste.

INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana produce residuos, entre los cuales aquellos que se generan en los núcleos urbanos se les refiere como residuos sólidos urbanos (RSU). La falta de una apropiada gestión de estos puede causar problemas directos al ambiente y la salud humana, pues gran parte de ellos podrían terminar en rellenos sanitarios o vertederos a cielo abierto, o ser lanzados a ríos y otro tipo de fuentes de agua, con lo que se generaría contaminación ambiental. Además, la descomposición de estos desechos genera lixiviados altamente tóxicos (Jiang *et al.*, 2019) y gases de efecto invernadero (GEI) (Zhang *et al.*, 2019), lo que convierte a los rellenos sanitarios y vertederos en fuentes de emisión de GEI. Una forma de cuantificar la emisión de GEI es midiendo la huella de carbono (HC) de la actividad.

Gran parte de los residuos está compuesto de materia orgánica cuya descomposición produce metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), los cuales están entre los seis gases identificados en el Protocolo de Kioto mayormente responsables del calentamiento global (*Intergovernmental Panel on Climate Change* [IPCC], 2021) En general, los residuos sólidos urbanos (RSU) contribuyen aproximadamente entre un 5,5% y un 6,4% a las emisiones globales de metano (CH₄) anualmente (Caetano *et al.*, 2020).

Actualmente se estima que la generación total de residuos a nivel mundial es de aproximadamente 3,40 billones de toneladas anuales (Ghani, 2021). En el contexto ecuatoriano, a nivel nacional, para el 2018 la producción total de RSU fue 60,51 ton/día, siendo en su composición, en su mayoría, orgánica con un 55,65 %, papel 4,79%, cartón 5,18%, textil 2,06% y madera 0,74% (Solíz *et al.*, 2020). Para el año 2020 la mayoría de los municipios reportaron un incremento de al menos un 25% en la generación de los residuos respecto a lo que se produjo en el 2018 (Solíz *et al.*, 2020). Esto significa que actualmente se producen alrededor de 330.200 toneladas diarias de los cuales entre 6% y 8% de los residuos generados es recuperado.

La cantidad de emisiones generadas de GEI depende de la fracción de cada material de residuo sólido diferenciado, es decir, del porcentaje que se ha reportado de papel, cartón, textil, etc. En particular, las emisiones y concentración de CH₄ continúan incrementándose, haciendo del CH₄ el segundo gas de efecto invernadero antrópico más importante después del CO₂ (Sauniois *et al.*, 2016). Una buena diferenciación mejoraría las estimaciones en futuros estudios y fomentaría la reducción de GEI mediante políticas públicas específicas para impulsar la transición a programas de Basura Cero (Solíz *et al.*, 2020).

Debido al alarmante aumento en la producción de residuos, y por consiguiente en las emisiones de GEI producto de estos, se hace necesario conocer su contribución al calentamiento global con el fin de establecer cualquier programa de reducción. En el presente trabajo se estiman las emisiones a partir de los RSU generados en el mercado del cantón Yaguachi, en el lapso comprendido entre el 15 de abril y el 29 de abril de 2019. El cálculo se realizó bajo dos escenarios: 1) que parte de la materia orgánica es utilizada para compostaje y otros procesos biológicos y 2) si todos los RSU van al vertedero.

METODOLOGÍA

La información de los datos sobre la composición de los residuos es esencial para el cálculo de la HC porque determina las emisiones de la degradación, incineración y vertederos (Sarbasov *et al.*, 2020). Para ello se aplicaron encuestas a los 12 dueños de los locales del mercado Municipal de San Jacinto de Yaguachi con el fin de conocer los tipos de residuos que cada local genera. Los desechos fueron luego separados y clasificados, procediéndose posteriormente a pesarlos y clasificarlos por volumen.

Separación de los residuos sólidos

Para determinar la composición física de los residuos sólidos que producen los 12 establecimientos comerciales en el mercado municipal del cantón San Jacinto de Yaguachi se procedió a separarlos con base en el siguiente procedimiento: 1) Se vaciaron los residuos recolectados por local para luego separarlos acorde su tipo. 2) Los residuos, una vez separados, se colocaron en fundas plásticas para una correcta clasificación. 3) Finalizada la separación de los residuos, se pesaron las fundas contentivas de los mismos.

Cálculo de la huella de carbono

La cuantificación de emisiones de GEI en cualquiera de los dos escenarios considerados, es decir: 1) parte de la materia orgánica es utilizada para compostaje y otros procesos biológicos y 2) todos los RSU van al vertedero, se basó en los lineamientos del IPCC y el Protocolo de GEI de emisiones de GEI asociadas a la descomposición anaeróbica de RSU para la muestra de RSU tomadas en los 12 locales del mercado municipal del cantón San Jacinto de Yaguachi durante el mes de abril de 2019. Se escogió este mes pues coincide con la producción y procesamiento del maíz el cual genera una alta producción de residuos. Estos valores fueron luego utilizados para estimar la huella de carbono del mercado durante el año 2019.

Para el cálculo de la HC en el primer escenario se utilizó la relación (Beltrán-Siñani y Gil, 2021):

$$\text{Emisiones de GEI} = \text{Dato de actividad} \times \text{Factor de emisión} \quad [1]$$

En esta relación *Dato de actividad* es una medida cuantitativa de la actividad humana que produce una emisión (Beltrán-Siñani y Gil, 2021), que en el caso de esta investigación es la cantidad de RSU producidos, y *Factor de emisión* es un coeficiente que cuantifica las emisiones o eliminaciones por unidad de actividad (Beltrán-Siñani y Gil, 2021).

La estimación de la emisión de CH₄ (segundo escenario) se efectuó aplicando la fórmula propuesta por Pipatti *et al.* (2006):

$$\text{Emisiones de CH}_4 = [\text{RSUT} \times \text{RSUF} \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{CODF} \times \text{F} \times (16/12) \times (1 - \text{R})] \times (1 - \text{FO}) \quad [2]$$

Donde (Pipatti *et al.*, 2006; Beltrán-Siñani y Gil, 2021)

- RSUT = cantidad total de RSU generada
- RSUF = fracción de RSU dispuestos en los vertederos de residuos
- FCM = factor de corrección para el metano (fracción)
- COD = carbono orgánico degradable
- CODF = fracción de COD no asimilada
- F = fracción por volumen de CH₄ en el gas de vertedero
- 16/12 = relación de peso molecular CH₄/C
- R = CH₄ recuperado
- FO = factor de oxidación (fracción)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escenario 1: Parte de la materia orgánica es utilizada para compostaje y otros procesos biológicos.

La tabla 1 muestra la distribución de los residuos producidos mercado municipal del cantón Yaguachi durante el mes de abril de 2019, mientras que en la figura 1 se muestra, en porcentaje, la composición de los residuos. Como puede observarse, el residuo orgánico es el que más se produjo; esto es debido a que la mayor parte de productos que se comercializan en el mercado son frutas, verduras y vegetales en general.

Tabla 1. Cantidad de residuos mensuales producidos por local en el mercado municipal de Yaguachi

Local	Residuos sólidos mensuales (kg)						Total
	Papel	Plástico	Vidrio	M. Orgánica	Madera	Cartón	
1	4,00	4,00	1,50	91,50	3,00	1,50	105,50
2	4,50	10,00	0,50	99,50	4,00	1,50	120,00
3	6,50	5,50	2,00	125,50	7,50	3,50	150,50
4	6,00	5,50	2,00	77,00	9,00	1,00	100,50
5	3,50	5,50	3,50	72,50	1,00	2,00	88,00
6	6,00	5,00	2,00	101,00	1,50	2,50	118,00
7	6,50	6,50	2,50	110,00	2,50	1,00	129,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	303,50	0,00	303,50
9	5,00	2,00	0,00	104,00	0,00	0,00	111,00
10	8,50	8,50	1,50	62,00	0,00	1,50	82,00
11	5,00	48,50	0,00	22,00	0,00	0,00	75,50
12	16,00	6,00	2,50	20,00	0,50	1,50	46,50
Total	71,50	107,00	18,00	885,00	332,50	16,00	1430,00

Elaborado por: los autores

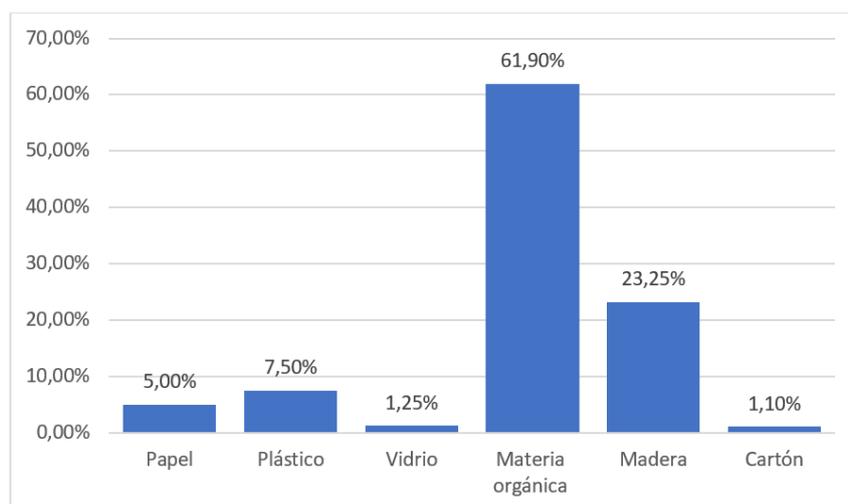


Figura 1. Composición de los residuos producidos por local en el mercado municipal de Yaguachi

Elaborado por: los autores

El mercado municipal no cuenta con una entidad que gestione los residuos, por lo que la mayoría de los no orgánicos van directamente al vertedero, mientras que la mayoría de los orgánicos se utilizan como alimento porcino.

Proyectando a un año la cantidad de residuos muestreados, tendríamos 17.160 kg o 17,16 t de residuos. Aplicando los porcentajes mostrados en la figura 1, el 61,90% de estos residuos corresponde a materia orgánica (10,62 t), los cuales, como mencionado, son utilizados (100%) como alimento porcino. El resto de los residuos, papel, plástico, vidrio, madera y cartón, correspondiente a 38,1% (6,54 t) son enviados al vertedero. En el supuesto que la materia orgánica se disponga para compostaje y otros procesos biológicos, se tendría que la materia orgánica emite 1.826,64 t CO₂ eq, mientras que el resto de los residuos emite 4.087,50 t CO₂ eq. Estos resultados se obtienen aplicando la relación [1] y se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Estimación de la huella de carbono del mercado municipal de Yaguachi durante el 2019

Residuos	Dato actividad (kg)	Factor de emisión (kgCO ₂ eq/kg) (IPCC, 2006)	Emisión (tCO ₂ eq)
Materia orgánica	10.620	0,172	1.826,64
Vertedero	6.540	0,625	4.087,50
Total	17.160		5.914,14

Elaborado por: los autores

Escenario: Vertedero.

En el supuesto que los residuos sean todos llevados al vertedero, el CH₄ es el gas de efecto invernadero mayoritario. Durante la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos depositados en vertederos de residuos sólidos (VRS) se producen emisiones de metano (CH₄). En este caso el cálculo es más laborioso que el del escenario 1. Sin embargo, podemos utilizar las fracciones del tipo de material presente en los residuos, mostrados en la figura 1, en la proyección anual para estimar las emisiones de CH₄ en la suposición que la totalidad del CH₄ potencial se libera durante el año en el que se produce la disposición de los desechos (IPCC, 2006). Para ello utilizaremos la relación [2] (Pipatti *et al.*, 2006).

La fracción de RSU que terminará en sitios de disposición de residuos sólidos (RSUF) y el factor de corrección de metano (FCM) reflejan la forma en que se gestionan los RSU y el efecto de las prácticas de gestión en la generación de CH₄. La metodología requiere que se cuente tanto con datos o estimaciones de la cantidad de desechos que se recuperan en los sitios de eliminación de desechos sólidos (IPCC, 2006). En el caso de no disponerse se utilizará el valor por defecto de RSUF=1 (Pipatti *et al.*, 2006; IPCC, 2008).

El COD interviene en la ecuación como sumatoria de los productos de la fracción de carbono orgánico degradable de cada material por su composición (ver tabla 3). Los demás parámetros que corresponden a valores tabulados son obtenidos de los informes del IPCC (Pipatti *et al.*, 2006) y se muestran en la tabla 4.

Tabla 3. Valores de COD por defecto para diferentes tipos de desechos (Pipatti *et al.*, 2006)

Residuo	Fracción del material presente en el residuo	COD
A, Materia orgánica	0,62	0,15
B, Madera	0,23	0,43
C, Plástico	0,07	0,00
D, Papel-cartón	0,06	0,40
E, Vidrio	0,01	0,00

Nota: Las letras se usarán para identificar el tipo de residuo y para hacer el cálculo del porcentaje de COD.

Tabla 4. Parámetros requeridos para el cálculo de emisiones de CH₄ en vertedero (Pipatti *et al.*, 2006)

	FCM	F	R	FO
0,55	1	0,5	0,7	0,14

Así el porcentaje de COD está dado por (IPCC, 2006):

Porcentaje de COD (por peso) = 0,15A+0,43B+0,40D = 0,15x0,62+0,43x0,23+0,40x0,06 = 0,217.

Sustituyendo este valor, junto con los de la tabla 4 en la ecuación para las emisiones de CH₄, se tendrá:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = [17.160 \times 1 \times 1 \times 0,217 \times 0,55 \times 0,5 \times (16/12) \times (1 - 0,7)] \times (1 - 0,14) = 352,26 \text{ t CH}_4 = 8.806,5 \text{ t CO}_2 \text{ eq.}$$

CONCLUSIONES

La actividad, relacionada con los residuos producidos, llevada a cabo en el mercado municipal de Yaguachi que emite más gases de efecto invernadero y que, por lo tanto, causa un mayor impacto sobre el cambio climático es aquella en la que todos los residuos son llevados al vertedero. Esto es debido a que los vertederos desprenden metano y este es un gas con mayor potencial para el calentamiento global que el CO₂. En este escenario, sin considerar las emisiones producidas por el consumo eléctrico o de combustible, la huella de carbono sería aproximadamente 50% mayor en comparación con la huella producida si parte de los residuos son utilizados en la preparación de compostaje.

Gestionando los residuos producidos, reciclándolos o reutilizándolos, se evitaría que alrededor de 3.000 t CO₂ eq sean emitidas anualmente a la atmósfera, contribuyendo con esto a la sostenibilidad medioambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltrán-Siñani, M. & Gil, A. (2021). Accounting Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Treatment by Composting: A Case of Study Bolivia. *Eng 2021* 2(3), 267–277. <https://doi.org/10.3390/eng2030017>
- Caetano, M., Góisb, J. & Leitãoa, A. (2020). Challenges and perspectives of greenhouse gases emissions from municipal solid waste management in Angola. *Energy Reports* 6. 364–369. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.074>
- Ghani, L. (2021) Exploring the Municipal Solid Waste Management via MFA-SAA Approach in Terengganu, Malaysia. *Environmental and Sustainability Indicators* 12. 100144. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100144>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (Eds). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2008). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K. (eds). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A. Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. and Zhou, B. (Eds.). <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- Jiang, Y., Rui, L., Yuning, Y., Minda, Y., Beidou, X., Mingxiao, L., Zheng, X., Shaobo, G. & Chao, Y. (2019). Migration and evolution of dissolved organic matter in landfill leachate-contaminated groundwater plume. *Resources, Conservation and Recycling* 151, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104463>.
- Pipatti, R., Svardal, P., Silva, J., Gao, Q., López, C., Mareckova, K., Oonk, H., Scheehle, E., Sharma, C., Smith, A. & Masato Yamada. (2006). Solid waste disposal. In Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (Eds).. Eds.). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Vol. 5). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf
- Sarbassov, Y. Venetis, C., Aiyymbetov, B., Abylkhani, B., Yagofarova, A., Tokmurzin, A., Anthony, E. J. & Inglezakis, V. (2020). Municipal solid waste management and greenhouse gas emissions at international airports: A case study of Astana International Airport. *Journal of Air Transport Management* 85. 101789. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101789>
- Saunio, M., Bousquet, P., Poulter, B., Peregón, A., Ciais, P., Canadell, J.G., Dlugokencky, E.J., Etiope, G., Bastviken, D., Houweling, S., Janssens-Maenhout, G., Tubiello F. N., Castaldi, S., Jackson, R.B., Alexe, M., Arora, V. K., Beerling, D.J., Bergamaschi, P., Blake, D. R., ... Zhu, Q. (2016): The global methane budget 2000–2012. *Earth System Science Data* 8, 697–751, <https://doi.org/10.5194/essd-8-697-2016>
- Solíz, M., Durango, J., Solano, J. y Yépez, M. (2020). Cartografía de los residuos sólidos en Ecuador, 2020. Solíz, M. (Ed). <http://hdl.handle.net/10644/7773>
- Zhang C., Xu T., Feng H. & Chen S. (2019). Greenhouse Gas Emissions from Landfills: A Review and Bibliometric Analysis. *Sustainability* 11(8): 2282. <https://doi.org/10.3390/su11082282>