

Gestión de los residuos sólidos en áreas rurales, un análisis de una parroquia de la amazonia ecuatoriana

Solid waste management in rural areas, an analysis of a parish in the Ecuadorian Amazon

Washington P. Chamorro ¹, Liliana B. Sarduy-Pereira ², Maria Decker ³ Karel Diéguez-Santana ^{4*}

¹ Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, Pastaza, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7365-6647>

² Unidad Educativa Fiscomisional Cristóbal Colón, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7970-3838>

³ Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1579-3432>

^{4*} Universidad Regional Amazónica Ikiam, Parroquia Muyuna km 7 vía Alto Tena, 150150, Tena-Napo, Ecuador. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4064-0566>

*Autor de correspondencia: karel.dieguez@ikiam.edu.ec

RESUMEN. Este estudio tiene como objetivo determinar la generación y composición los residuos sólidos en una parroquia rural de la Amazonia Ecuatoriana. Se empleó el método de muestreo aleatorio y las directrices de la Organización Panamericana de la Salud. Se muestrearon los residuos generados en 51 hogares, durante dos semanas del año 2015. Los desechos se cuantificaron y clasificaron por fracciones. La generación de residuos sólidos per cápita diaria de la parroquia de Fátima es de 0.511 kg/hab/día. La materia orgánica representa el 66% de la generación de desechos sólidos domésticos de la parroquia, el 9% es de plástico, 7% de vidrio y de papel/cartón, 1% de metales, entre otros. Los resultados muestran que pues la valorización de la fracción orgánica en procesos de compostaje y la recuperación de los materiales de las fracciones reciclables pudieran ser alternativas de gestión, que pudieran generar como promedio anual una ganancia de 8044.20 USD que podría ser empleada en mejorar las infraestructuras de gestión de residuos.

Palabras clave. Caracterización, compostaje, comunidades rurales, generación per cápita diaria, reciclaje

ABSTRACT. This study aims to determine the generation and composition of solid waste in a rural parish in the Ecuadorian Amazon. The random sampling method and the guidelines of the Pan American Health Organization were used. Waste generated in 51 households was sampled during two weeks in 2015. The daily per capita generation of solid waste in the parish of Fátima is 0.511 kg/inhab/day. Organic matter represents 66% of the generation of solid domestic waste in the parish, 9% is plastic, 7% glass and paper/cardboard, 1% metals, among others. The results show that the recovery of the organic fraction in composting processes and the recovery of materials from recyclable fractions could be management alternatives, which could generate an annual average gain of US \$8044.20 that could be used to improve waste management infrastructure.

Keywords. Characterization, composting, rural communities, daily per capita generation, recycling

1. Introducción

El crecimiento económico y demográfico de los países han incrementado la tasa de generación de residuos sólidos, y ha creado una nueva amenaza para la agenda global de sostenibilidad de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [1]. Nuevos lugares anteriormente con ecosistemas naturales han sido

convertidos en hogares, infraestructuras o vertederos, para satisfacer las necesidades humanas [2]. Este proceso se refleja en la generación de residuos en América Latina y el Caribe, pues en el 2014 se generaban diariamente 541.000 t/día (de ellos, 145.000 t/día de residuos a basurales) y se estima para el año 2050, que las cifras lleguen a las 671.000 t/día. La tasa promedio de generación actual de la región es de 1,04 kg/hab/día,

alrededor de 40 millones de personas carecen de acceso a la recolección de residuos y el 50% de los residuos urbanos generados son orgánicos [3].

A pesar de la rápida urbanización mundial en las últimas décadas, según el informe del Banco Mundial del año 2018, alrededor del 45% (3.4 mil millones) de la población mundial y el 36.18% (6.18 millones) de la población de Ecuador todavía viven en áreas rurales [4]. El manejo de residuos sólidos domésticos del área rural no ha recibido tanta atención como las comunidades urbanas [5] y como plantea He [6] los niveles de contaminación relacionada con la falta de gestión de residuos en el área rural se ha convertido en una gran amenaza para el medio ambiente y especialmente en los países en desarrollo.

Aunque, la tasa de generación de desechos domésticos de las áreas rurales de países en desarrollo, generalmente es inferior a la de los países desarrollados [7], aun así, las carencias de infraestructura adecuada y débil gestión de residuos sólidos, unido a los incrementos de la generación de residuos domésticos ha traído un aumento de la contaminación ambiental e impactos en la salud humana de las zonas rurales [8-12].

Los problemas de descuido con la gestión de residuos en el área rural han sido estudiado en varios países en vías de desarrollo, por ejemplo en Tailandia Hiramatsu, et al. [8] estudiaron la gestión de RSU en distrito de Bang Maenang en la provincia de Nonthaburi, y analizaron las interconexiones entre el gobierno local, las entidades del sector privado y la comunidad local, para solucionar la falta de gestión integrada. Mientras, en Irán Taghipour, et al. [5] investigaron la cantidad y calidad (composición) de los desechos sólidos domésticos de las comunidades rurales del distrito de Khosrowshah, condado de Tabriz.

Por su parte, en seis aldeas cercanas a Tekanpur en India Shah, et al. [13], obtienen que se generan diariamente por habitante alrededor de 287 gramos de residuos sólidos residenciales / agrícolas, y que las fracciones más significativas son restos del barrido de calles, el corte de césped, los desechos agrícolas, el estiércol de ganado, el drenaje y la limpieza de baños públicos. Otro enfoque ha sido abordado por Manomaivibool, et al. [14], en 18 aldeas piloto de la provincia de Chiang Rai, Tailandia, al evaluar la efectividad de la gestión comunitaria en programas de residuos sólidos de separación en la fuente.

Mientras, en el pueblo rural de Kétao, Togo, dos proyectos de caracterización de residuos fueron realizados durante la temporada de lluvias y la estación seca en 2010 [10]. En América Latina y el Caribe, también algunos estudios se han desarrollado en las áreas rurales Por ejemplo, de Morais Lima and Paulo [15] en Brasil, revisan las dificultades de recolección de desechos (solo el 30% de las comunidades rurales Quilombolas de Mato Grosso do Sul tienen acceso al servicio) y como el escenario predominante es la quema de desechos. Similares dificultades se han encontrado en las zonas rurales de Guatemala, el documento de Zarate, et al. [16] describe como existen carencia de los servicios de gestión o son inadecuados (se reducen a la recolección y eliminación), por lo que gran parte de la población no tiene acceso a un servicio de recolección de desechos y la disposición final se realiza en vertederos abiertos. El rápido incremento de los procesos de urbanización y la creciente dependencia de las poblaciones rurales de los productos industrializados ha traído un incremento de la generación de residuos sólidos domésticos rurales [9], lo que unido a las limitaciones técnicas-económicas de gobiernos municipales en los países en desarrollo, factores políticos, legales, socioculturales y ambientales [17, 18], hacen mayor la repercusión de la problemática, lo que hace que la implementación de programas sostenibles de gestión de residuos sólidos puedan convertirse en soluciones a estas dificultades [19].

En Ecuador, según estadísticas ambientales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), cada habitante del sector urbano genera diariamente alrededor de 0.83 kg de residuos sólidos, y en el año 2020, la recolección fue 12.612,5 toneladas diarias de residuos sólidos, de las cuales el 85,6 % fueron recolectadas de manera no diferenciada y el 14,4 % de manera diferenciada. La composición en el mismo año fue el 55.7% de residuos orgánicos y el 44.3% de residuos inorgánicos (plásticos 11%, cartón 5.3%, papel 4.9%, desechos sanitarios no peligrosos 6.3%, y un 16.8% entre vidrio, madera, metal, chatarra, caucho, textil, focos, pilas y otros) [20]. Mientras, solamente el 50.5% de municipios del Ecuador dispone sus residuos sólidos en relleno sanitario; un 31.4% en celda emergente 36% y el 18.2 restante en botaderos [20]. Por su parte, la generación de las zonas rurales es inferior, pues un ciudadano genera 0.35 kg de basura por día, pero existen

menores facilidades para depositarlo en los rellenos sanitarios [21].

La parroquia rural Fátima, tiene un centro poblado con características urbanas, calles, aceras y viviendas colindantes, pero aún existen zonas pobladas de la parroquia que se encuentran dispersas, donde no acceden los servicios de recolección de residuos frecuentemente. Muchos de los hogares están ubicados en laderas de ríos de la zona que son afluentes del río Pastaza. La dificultad del acceso por el estado de las vías o la frecuencia de lluvias impide la cobertura de recolección. Adicionalmente, en muchos sectores de la parroquia se han observado micro vertederos en laderas de ríos, calles, depresiones de terreno y zonas deshabitadas, y la belleza paisajística del entorno natural se ha deteriorado gradualmente por la acumulación de desperdicios en lugares de atractivo turístico.

En el área no existen estudios referentes a las fuentes de generación de residuos sólidos, ni de la cantidad y de la composición de éstos lo que dificulta el diseño de programas de gestión, que apunten a disminuir la contaminación ocasionada por los residuos sólidos. Por lo tanto, el objetivo de este documento fue realizar la cuantificación y caracterización de la generación diaria de residuos sólidos de la parroquia rural Fátima, con la finalidad de proponer una gestión más adecuada de los residuos podría reducir el impacto de los residuos sólidos en la salud pública y el medio ambiente y mejorar la apariencia estética en la parroquia Fátima.

2. Materiales y Métodos/ Metodología

1.1 Descripción del área de estudio.

La Parroquia Fátima, está ubicada, en el Cantón y provincia Pastaza, en la región amazónica del Ecuador. Ubicada en el kilómetro 7.42 de la vía Puyo – Tena, Longitud de 77° 00' 00" Oeste y 01° 24' 40" de Latitud Sur, a una altitud de 945 m.s.n.m. y tiene una extensión de 93 km². Limita al norte con la parroquia Teniente Hugo Ortiz; al sur con la parroquia cantonal Puyo; al este se encuentra la parroquia 10 de agosto y finalmente al oeste con el Cantón Mera, la temperatura oscila en el rango de los 18 - 24 °C y la precipitación anual es de 4000 a 5000 mm.

1.2 Diseño del programa de muestreo. Selección de hogares

Se realizó utilizando el método de muestreo aleatorio, siguiendo los criterios de Cantanhede, et al. [22]. Para la determinación del tamaño de la muestra, y la selección

de las viviendas participantes en el estudio se empleó la ecuación 1, a partir de la información de la parroquia.

Se consultó la información estadística del Instituto de Estadísticas y Censos de Ecuador, así como el plan de ordenamiento territorial para conocer de la conformación y las características socioeconómicas de la parroquia. Según los datos de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, siglas en español) [23], más del 90% de la parroquia tiene un estatus socioeconómico mediano bajo por lo que se decidió tomar una muestra no estratificada. El tamaño de la muestra se calculó según la Ec. 1:

$$n = \frac{\sigma^2}{\left(\frac{E}{Z}\right)^2 + \left(\frac{\sigma^2}{N}\right)} \quad (1)$$

Donde:

n = Número de muestras.

σ = Desviación estándar de la variable Generación per cápita diaria (GPC) de residuos de una vivienda (kg/habitante/día, según el CEPIS, 0.200 kg/hab/día).

E = Error permisible en la estimación de GPC (g/hab/día, según el CEPIS, 0.050 kg/hab/día).

N = Número total de viviendas o del estrato definido.

Z, con confiabilidad 95%: 1.96

1.3 El estudio de caracterización de residuos

El estudio de la caracterización de los residuos se realizó 30 días después de aplicar la encuesta de hogares, y se seleccionó a los participantes de los hogares entrevistados. Las muestras se recolectaron puerta a puerta de los hogares seleccionados, cada hogar fue enumerado, para realizar la recolección de manera ordenada durante los 8 días de cada estudio.

Cada día se entregó las bolsas vacías a los propietarios de cada una de las viviendas seleccionadas para el depósito de los residuos. El primer día se pidió a los residentes de los hogares seleccionados recoger todos los residuos de los hogares de días anteriores, para que, durante los 7 días de validez del estudio, solo recolectar la basura de 24 horas. Se sugirió que no cambiaran sus costumbres o rutina diaria. Los residuos siempre fueron colectados en la mañana 8.00 am, antes de la salida para los trabajos, etc.

Todas las muestras colectadas en cada vivienda fueron pesadas con una báscula manual electrónica Marca Colometer (exactitud ± 0.01 kg en el rango de 10-50 kg), en ningún caso las muestras sobrepasaron la máxima capacidad de la balanza.

Para la determinación de la generación per cápita (gpc) expresada en kg/hab/día, se utilizó la Ec. 2, donde (Wi) es la cantidad total de basura diaria generada en todas las

viviendas. En función de los datos recopilados se obtuvo el número de personas por vivienda (n_i) y se determinó el número total de personas que intervinieron en el muestreo (N_t). Y con ello se calculó la generación per cápita diaria promedio de las viviendas muestreadas.

$$GPC = \frac{\text{Peso total de residuos } (W_t)}{\text{Número total de personas } (N_t)} \quad (2)$$

Para el cálculo de la generación total diaria de residuos de la parroquia se empleó el valor de la gpc, y se multiplicó con la cantidad de habitantes de toda la parroquia, mediante la Ec.3.

$$\text{Generación total diaria de residuos} = gpc \times N_t \text{ (kg/día)} \quad (3)$$

Mientras que, para el cálculo del volumen y densidad de los residuos, se utilizó un contenedor cilíndrico metálico con el volumen de 210 L para determinar el volumen de desechos, lo que permitió calcular el peso específico no compactado de los desechos y se informó en kg/m³. La ecuación (4) muestra cómo se realizó la determinación.

$$\text{Densidad } \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del residuo } W \text{ (kg)}}{\text{Volumen de la basura } V \text{ (m}^3\text{)}} \quad (4)$$

La determinación de la composición física de los residuos sólidos se realizó encima de una superficie de concreto, se homogenizaron y se fueron haciendo divisiones en cuatro partes, y separando las partes opuestas como explica el método de cuarteo hasta obtener un montón de aproximadamente 50 kg para realizar la clasificación de las fracciones consideradas (P_i). Se pesaron cada una de las mismas y finalmente se calculó el porcentaje correspondiente, mediante la Ec. 5.

$$\text{Porcentaje } (\%) = \frac{P_i}{W_t} * 100 \quad (5)$$

Para evitar pérdida o aumento de humedad de la corriente de desechos por el sol o la lluvia, la zona de clasificación fue cubierto con una lona.

Las categorías para la clasificación de los residuos, fueron seleccionadas basado en [22], en función del uso potencial y de la presencia mayoritaria de fracciones. Siendo clasificados en: material orgánico, plástico, vidrio, madera, residuos sanitarios, metales, papel, textiles, otros Materiales (caucho, cuero, tierra, etc.). De cada una de ellas se calculó el porcentaje y el resultado de la composición se obtuvo de la suma de los porcentajes de todos los días de cada componente y entre los días de estudio.

1.4 Estimaciones de la generación de residuos 2015-2030.

En este aspecto se realizó una proyección de la población basado en las tasas de crecimiento poblacional,

información demográfica de la parroquia de estudio disponible en el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). La tasa de crecimiento poblacional anual de 1.32% y 863 habitantes en el último censo. Se empleó la Ec.6.

$$P_{t+n} = P^t (1 + tca)^n \quad (6)$$

Donde: P_{t+n} : Proyección de la población, P_t = Población año censado, n = número de años proyectados (años) y tca = tasa de crecimiento anual (en decimales).

Además, se estimó un incremento de 1% anual de la generación per cápita promedio del año de estudio. Mientras que para el cálculo de los ingresos se consideraron los precios referenciales a nivel nacional para los materiales reciclables incluido el compost [24]. En el caso de los gastos se consideraron los gastos de elaboración del proceso de compostaje, transporte de fracciones reciclables a centros de acopio y el salario de operadores para realizar la actividad.

1.5 Tratamiento de los datos del estudio de caracterización de residuos.

En primer lugar, se utilizó el Test de Shapiro Wilk y Bartley para verificar la normalidad y homoscedasticidad de los datos recopilados de generación de residuos durante ambos periodos. Los datos no fueron distribuidos normalmente; por lo tanto, se realizó un análisis no paramétrico de Wilcoxon Rank-sum (Mann Whitney). En un segundo análisis se realizó un ANOVA de una vía con medidas repetidas para analizar la incidencia del " día de la semana " sobre a la generación de residuos. La composición de los residuos en los días de muestreo de abril y septiembre fue comparada mediante, t-test de muestras independientes y en los casos que no había normalidad o igual de varianzas, la prueba no paramétrica U-Mann Whitney. Todos los datos fueron tabulados en Excel y para los análisis estadísticos se utilizaron los programas estadísticos Origin 2019b y STATA versión 12 [25]

3. Resultados y discusión

1.6 El estudio de generación de residuos

A partir de la ecuación 1 y los datos expuestos en la metodología se calculó el número de viviendas a muestrear. El resultado fue de 45.75, a este valor se le adicionó un 10%, siendo finalmente 51 viviendas. En ambos periodos se muestrearon estos hogares por 14 días de estudio. Las viviendas tenían una población de 207 habitantes. El peso medio diario de los residuos recogidos osciló entre 107.42 y 101.76 kg. A partir de los mismos se obtuvo la generación per cápita de residuos

(peso diario de los residuos de cada hogar, dividido por el número de los residentes en cada hogar), que fue de 0.519 y 0.492 kg/hab/día, y como promedio 0.51 kg/hab/día. La figura 1 muestra los resultados totales obtenidos en la determinación de la tasa de generación de RS domésticos, del estudio, en la parroquia rural Fátima.

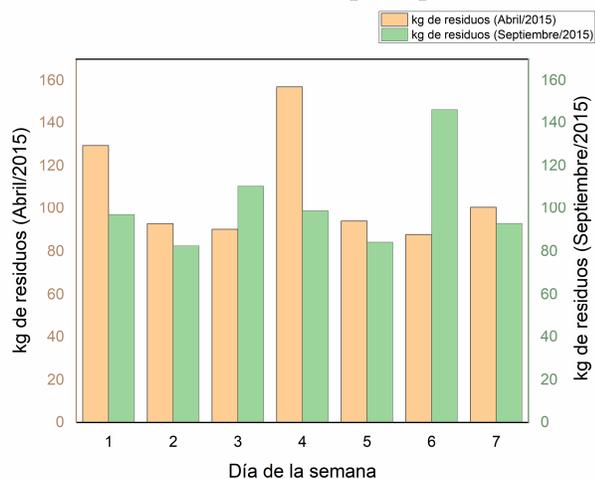


Figura 1. Generación de residuos domésticos en hogares de estudio, parroquia Fátima
Fuente: Los autores

Los resultados de la prueba de Wilcoxon Rank-sum (Mann Whitney), ($p = 0.7494$) no mostraron diferencias significativas (con $p < 0.05$, 95% de confianza) en la generación diaria en ambos periodos (abril/septiembre 2015). No obstante, se observó que la generación fue ligeramente superior en el periodo abril 2015 (valores medios de 107.42, frente a 101.76 kg/día en septiembre 2015).

Adicionalmente se analizó la incidencia del día de la semana sobre la generación, El análisis de varianza ANOVA de un factor (con un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$) a partir de las medias de ambos periodos, mostró que no existen diferencias significativas con un valor de $p = 0.6258$, superior a 0.05. No obstante, en el gráfico de cajas (Fig. 2) se observan diferencias en la generación entre los días desde domingo a sábado ambos periodos, siendo el día miércoles el de mayor generación.

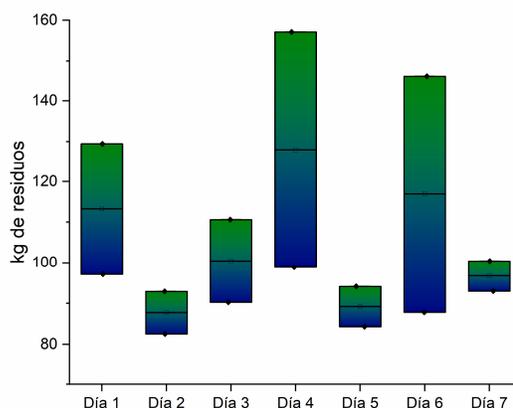


Figura 2. Valores medios de la generación de residuos sólidos por día de la semana
Fuente: Los autores

A continuación, se presenta un histograma (Fig. 3) que muestra la frecuencia de los rangos de datos de residuos per cápita de los hogares individuales. La mayoría de los hogares generan entre 0.4 y 0.6 kg/hab/día, siendo el valor más frecuente (10 hogares) entre 0.41-0.46 kg/hab/día.

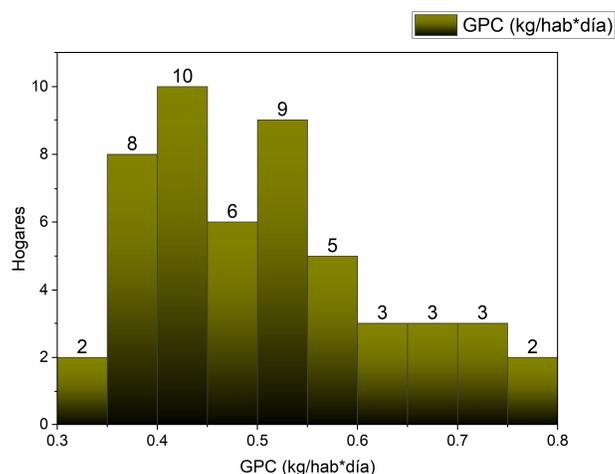


Figura 3. Tabla de frecuencia de la generación per cápita por hogares en la parroquia Fátima, Ecuador.

Considerando los valores de la generación de residuos de la tabla se calculó el total de residuos generados por año en Fátima. Considerando 922 habitantes de la parroquia (863 habitantes en el Censo INEC, 2010 y la tasa de crecimiento poblacional de 1.32 %), la generación diaria de los hogares fue de 470.22 kg. Estos valores reflejan que en la parroquia existe una predominancia de generación de residuos en los hogares, y los porcentajes son similares a [10] (93%) en Keitao, África.

A partir de las fracciones rechazadas del cuarteo, se pesaron y se determinó el volumen que ocupan los residuos para realizar la determinación de la densidad aparente de los residuos. la densidad promedio fue de 191.68 kg/m³ (valores de 197.17 y 186.18 kg/m³ de los meses de abril y septiembre 2015 respectivamente) (Ver tabla 1). Este valor es muy similar a otros resultados de estudios, donde la composición es similar, como por ejemplo el estudio en Irán de Taghipour, et al. [5] determinan que es de 211.31 kg/m³. Algunos estudios presentan valores inferiores que pueden estar dados entre otras cuestiones por la composición y humedad de los residuos, así como también por el tipo de recipiente empleado o por la caída desde la altura de 10 cm, pues según Al-Khatib, et al. [17] la presencia de elevada cantidad de sobras de alimentos y las cáscaras de frutas (materia orgánica) poseen altos contenidos de humedad y la densidad tiende a ser alta, incluso hasta 240 kg/m³.

Tabla 1. Comparación de otros estudios de caracterización en diversas regiones.

Lugar, país	GPC, kg/ha b/día	Habitantes	Estudio
Campamentos de Tulkarem, Palestina	0.52	-	[26]
Comunidades del noroeste de Irán	0.259	-	[5]
Tekanpur, India,	0.287	15000	[13]
Kétao, Togo, West África	0.34	20000	[10]
Monte Kilimanjaro, Tanzania	0.6	NA	[27]
Chittagong, Bangladesh	0.25	3500	[28]
Nibong Tebal, Penang, Malaysia	0.6		[29]
Comunidades Juruá, Amazonas, Brasil	0.528	1152	[9]
Fátima, Pastaza, Ecuador	0.511	922	Este estudio

La tabla 3 muestra la generación per cápita de residuos sólidos de varios estudios anteriores. Al comparar con el valor de la gpc media de 0.511 kg/hab/día de nuestro estudio, se puede decir que este resultado es muy similar a otros estudios realizados por ejemplo en campos de refugiados en Palestina 0.52 kg/hab/día [26], Juruá, Amazonia Brasileña, 0.528 kg/hab/día [9]. Estudios de generación per cápita diaria de residuos domésticos en comunidades rurales en el noroeste de Irán [5] (0.259 kg/hab/día), y Kétao, Togo, West África (0.34

kg/hab/día) Edjabou, et al. [10] muestran valores muy inferiores a los de nuestro estudio y que indica que los niveles de consumo de la parroquia se encuentran con un comportamiento muy superior a zonas rurales de otros continentes. En todos los casos presentados (en lo que se reporta) la cantidad de habitantes es superior a nuestro estudio.

1.7 Determinación de la composición física de los residuos sólidos.

La evaluación de la composición física es muy importante para la toma de decisiones de las autoridades en cuanto se refiere a la implementación de tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos. Al efectuar la comparación de la composición en los dos periodos se observa que solo los restos de alimentos (materia orgánica) presenta diferencias significativas $p=0.0253$, los resultados estadísticos (t-test o U-Mann Whitney) muestran valores $p > 0.05$ (nivel de confianza 95%) para el resto de las fracciones caracterizadas. La Fig. 3 muestra el resumen de la composición general de los dos periodos.

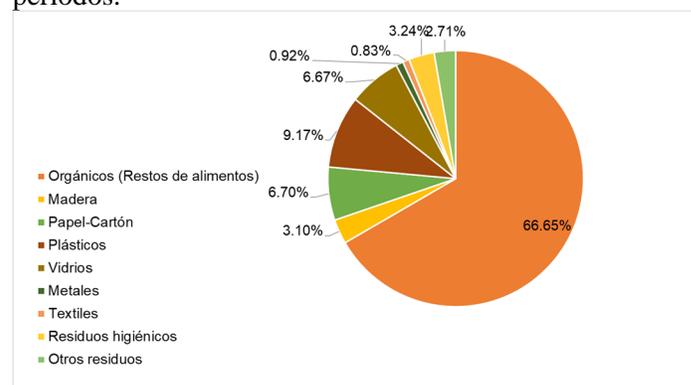


Figura 4. Composición de los residuos sólidos general de Fátima.

Los resultados de la composición física son muy similares a los obtenidos en Sujauddin, et al. [28] que obtienen entre 65 - 68%. Aunque existen reportes donde la fracción incluso es superior, por ejemplo, el estudio de Bernardes and Günther [9] en Brasil, mostró una producción de materia orgánica del 90%. Los elevados valores de restos de alimentos (materia orgánica) están dados principalmente por encontrarse en zonas rurales donde la mayor parte de estos orgánicos son restos de alimentos y otros productos agropecuarios o agrícolas y donde las estrategias de reciclajes son ineficientes o no se encontraban en aplicación en el momento de la realización de los estudios de residuos sólidos [30]. Adicionalmente, como plantean algunos autores son rasgos comunes en comportamiento de la generación de residuos sólidos en países en vías de desarrollo y está asociado a los estilos de vida, pues las personas

generalmente satisfacen sus necesidades nutricionales básicas diarias y de ahí provienen los restos de productos alimenticios locales [5, 9].

En los rubros reciclables de la caracterización se muestran el vidrio, el plástico y el papel que abarcan casi un 24 % de la basura total, muy similar al 22% del estudio de [5]. Los reciclables pueden aportar grandes beneficios ambientales y económicos que son aprovechados, lo que implica la necesidad de una propuesta de manejo ambiental efectiva que permita el aprovechamiento de las mismas [31]. Además, la gestión de residuos sólidos, no puede verse como una problemática, sino como una oportunidad, y varios aspectos positivos pueden involucrarse desde la generación, recolección, transporte, tratamiento hasta la disposición final [32, 33].

1.8 Algunos criterios propuestos para la gestión integral de residuos sólidos para la parroquia.

La Tabla 2 muestra los resultados de la producción de RSU proyectados para diseñar las diferentes etapas de la gestión integral RSU. Como se puede apreciar la generación de residuos promedio anual en el periodo proyectado es de 205166.21 kg,

Tabla 2. Resultados de los RSU promedios proyectados, periodo 2015-2030.

Año	Población, hab	gpc, kg/hab/día	Generación Residuos, kg/año
2015	922	0.51	171630.30
2016	934	0.52	175602.74
2017	946	0.52	179637.47
2018	959	0.53	183927.12
2019	972	0.53	188284.60
2020	984	0.54	192515.19
2021	997	0.54	197009.17
2022	1011	0.55	201773.35
2023	1024	0.55	206411.55
2024	1037	0.56	211122.33
2025	1051	0.56	216112.30
2026	1065	0.57	221180.97
2027	1079	0.57	226329.40
2028	1093	0.58	231558.68
2029	1108	0.59	237083.88
2030	1122	0.59	242480.32
Promedio anual			205166.21

1.9 Análisis de las fases de la gestión.

Los criterios normativos reglamentarios a nivel nacional sobre los residuos sólidos (Art. 586, Reglamento CODA), establecen las fases de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos

como el conjunto de actividades técnicas y operativas de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos que incluye: a) Separación en la fuente; b) Almacenamiento temporal; c) Barrido y limpieza; d) Recolección; e) Transporte; f) Acopio y/o transferencia; g) Aprovechamiento; h) Tratamiento; y, i) Disposición final [34].

En el caso de la primera fase, separación en la fuente, los criterios a considerar orgánicos, reciclables y desechos. Las autoridades parroquiales deben facilitar un recipiente para cada fracción en cada vivienda de la parroquia. Por su parte en el tiempo de estudio se entrevistaron y revisaron las actividades de barrido de calles y existe una persona que se encarga de realizar la actividad de barrido de vías y áreas públicas de manera manual, aproximadamente se barren 600 m de las vías de la parroquia. Mientras que el caso del Almacenamiento temporal; las normativas establecen que los gobiernos autónomos descentralizados municipales garanticen que los residuos y desechos sólidos no peligrosos sean almacenados temporalmente en recipientes, identificados y clasificados según la separación en la fuente. Además, no pueden permanecer en vías y sitios públicos en días y horarios diferentes a los establecidos por el servicio de recolección, por lo que este criterio debe socializarse con los líderes barriales y pobladores locales.

En lo relativo a la recolección/transporte, esta actividad es realizada por el GAD Pastaza, y se efectúa con frecuencia 3 veces semanales. El diagnóstico arrojó que es insuficiente, pues en los hogares se acumulan residuos, así como también existen semanas que no funciona la frecuencia por lo que se sugiere que las autoridades locales nuevamente gestionen con el alcalde un incremento de la recogida en los hogares de la comunidad, pues las condiciones climatológicas de la región (temperaturas tropicales y elevadas precipitaciones) [35], aceleran la descomposición biológica de los residuos orgánicos que forman la fracción mayoritaria.

En la fase de acopio y transferencia se sugiere solamente gestionar por parte de las autoridades locales un sitio intermedio para realizar el aprovechamiento, pues la instalación de centros de acopio o estaciones de transferencia son más adecuadas para municipios de poblaciones considerables. Este lugar debe disponer de condiciones de seguridad y sanidad a fin de evitar la acumulación residuos y desechos sólidos en sitios que no cumplan con características técnicas para la actividad de recuperación de materiales.

En cuanto al Aprovechamiento/Tratamiento, el análisis de las fracciones caracterizadas permite considerar la valorización de la materia orgánica para la elaboración de compost y los inorgánicos para acopiar y vender a casas de reciclaje. En el caso del primero las condiciones locales pueden permitir la implementación de compostaje a nivel de hogares y ser una alternativa viable a estudiar en la parroquia para el aprovechamiento de este componente [36, 37]. Esto puede realizarse a través de sistemas de compostaje doméstico, puesto que las personas tienen patios, jardines y muchos están dedicados a la agricultura. Sin embargo, es necesario para obtener mejores resultados, realizar mayor capacitación y socialización en estos temas a nivel comunitario [38]. En los casos de los habitantes que no dispongan condiciones se debe planificar sistemas descentralizados a nivel de comunidad, por lo que para esta actividad se puede requerir que algunos pobladores de manera alterna puedan incorporarse a la actividad de trasladar las cantidades de materia orgánica desde cada vivienda habitada, hasta el lugar destinado para el sistema de compostaje a nivel comunitario.

En el caso de la fracción inorgánica aprovechable, compuesta de los plásticos, vidrio, metales y papel/cartón, se socializará con la comunidad para proponer acuerdos comunitarios con recicladores informales que puedan recibir los residuos de manera separada con mejor calidad, para que puedan ser expendidos en las casas de compras de materiales reciclables aledaños (en el barrio las Américas a 4 km de la parroquia existe una tienda). Estos materiales serán acumulados primariamente en un punto de acopio, donde se acumularán para ser transportados a la venta en el centro de reciclaje. Estas opciones están incluidas dentro del marco normativo, donde los GADs son responsables de diseñar, implementar, promover y mantener actualizado este componente de aprovechamiento en sus sistemas de gestión y adicionalmente deben priorizar a los recicladores de base y organizaciones de la economía popular y solidaria (Art 593 Reglamento del CODA).

La disposición Final es considera la última fase de la gestión y se pretende en ella que los residuos sean son dispuestos de forma sanitaria en sitios que eviten la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente. En este sentido la actividad continuará realizándose en el mismo sitio de disposición final (relleno sanitario de la ciudad de Puyo), aunque pueden disminuirse cantidades de residuos orgánicos/inorgánicos que podrán revalorizarse (hasta un 92%), lo que contribuirá a aumentar la vida útil del sitio

y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente de la descomposición de los orgánicos [39], pues incluso la operación del sitio descarga el gas del relleno de manera directa al medio ambiente por tener dificultades con las chimeneas y quema del biogás.

En cuanto al análisis de ingresos/egresos (Ver la tabla 3), el costo promedio anual de las actividades de gestión propuestas es de 3925.2 USD, mientras que los ingresos proyectados son de 12543.86 USD, lo que arroja una ganancia de 8618.66 USD, pudiendo ser en los 16 años (2030) proyectados de 137898.59 USD. Estos ingresos pudieran ser empleada en recuperar inversiones del gobierno por los contenedores o tachos domésticos, así como para mejorar las condiciones de las instalaciones de compostaje o acopio de reciclables. Todos estos procesos deben ser previamente socializados con la comunidad para que exista acogida y comprensión de la propuesta, así mismo lograr el compromiso de los actores comunitarios y la participación de población en general que serán las claves del éxito de los procesos de gestión en las condiciones de la parroquia. Algunos criterios motivadores pueden ser que las opciones propuestas pueden generar ganancias económicas y que estos ingresos pueden emplearse en mejorar las infraestructuras de gestión de residuos y, por ende, en el bienestar de toda la comunidad. A su vez, mejor comportamiento ambiental, se puede revertir en salud, turismo y economía local.

Tabla 3. Balance de ingresos y egresos proyectados 2015-2030.

Indicadores	Ingresos/egresos	
	USD totales (2015-2030)	USD/año
Residuos Orgánicos	95328.43	5958.03
Plásticos,	50224.69	3139.04
Vidrio	18382.89	1148.93
Papel/cartón	22978.62	1436.16
Metales	4595.72	287.23
Totales de ingresos	191510.35	11969.40
Gastos anuales insumos compost	12078.00	805.2
Gastos anuales transporte reciclables	3600.00	240
Gastos de operador reciclaje	43200.00	2880
Total de egresos	58878.00	3925.2
Ganancia	120662.9513	8044.20

4. Conclusiones

Los residuos sólidos generados en parroquia Fátima se caracterizaron en dos diferentes épocas del año (abril y septiembre de 2015), en 51 hogares estudiados. Adicionalmente se cuantificó la generación de una institución (escuela rural), barrido de calles y un comercio local. En total se generan 470.22 kg/día, correspondientes a los 51 hogares. Con respecto a la influencia estacional en la generación y composición de residuos, no se observaron diferencias significativas en ambos periodos. La tasa de generación de residuos promedio de la parroquia Fátima fue de 0.512 kg/hab/día y la densidad aparente 191.68 kg/m³, valores similares a otros estudios realizados en otras regiones del mundo con características semejantes.

Las fracciones clasificadas muestran que la composición mayoritaria es orgánica (65%) es adecuada para implementar tratamientos biológicos como sistemas de compostaje doméstico o a nivel de hogares, puesto que las personas tienen patios, jardines y muchos están dedicados a la agricultura. Sin embargo, es necesario mayor capacitación y socialización en estos temas a nivel comunitario. También, se aprecian potencialidades de valoración (24 % reciclables, con elevada presencia de botellas y plásticos gruesos, vidrio, papel y cartón), aunque es necesario establecer inversiones y una cadena de valor para que la recuperación de materiales funcione en la práctica, por lo que mayor educación ambiental desde la separación en la fuente, puede contribuir a que los sistemas de reciclaje puedan recibir los residuos en mejores condiciones y disminuir por ende estas fracciones que hoy son enviadas directamente al relleno sanitario del cantón Pastaza. Este proceso puede ser apoyado por las partes interesadas en la gestión de los residuos en la parroquia, desde autoridades, actores locales, recicladores, al unir esfuerzos, crear alianzas y asociaciones para la recuperación de materiales que pueden ser revalorizados. Formalizar los grupos de recicladores, involucrar más a la población en los procesos de toma de decisiones con la gestión integral también pueden contribuir a mejorar la gestión de los residuos.

Se incluyeron algunos criterios para la gestión integral de residuos sólidos de la parroquia, principalmente enfocados a verificar cada una de las fases de la gestión y proponer estrategias en cada una de ellas. Sobresale la valorización de la fracción orgánica en procesos de compostaje y la recuperación de los materiales de las fracciones reciclables para comercializarlos. Estas dos opciones pudieran generar como promedio anual una ganancia de 8044.20 USD que podría ser empleada en

mejorar las infraestructuras de gestión de residuos y, otros problemas de la comunidad. Además, se recomiendan más estudios sobre la determinación de la cantidad y composición de los residuos en las comunidades rurales, así como sus sistemas de manejo y eliminación de desechos, para que los enfoques de tratamiento y gestión de RSU sean más efectivos y estén en función de las condiciones locales de generación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el PROYECTO “Gestión ambiental en la parroquia Fátima”, que operó 2015-2016, entre el GADP Fátima y la Universidad Estatal Amazónica. Los autores también desean agradecer a los estudiantes participantes en fase de campo y pobladores de la parroquia Fátima.

CONFLICTO DE INTERESES

- Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] O. O. Ayeleru, F. N. Okonta, and F. Ntuli, "Municipal solid waste generation and characterization in the City of Johannesburg: A pathway for the implementation of zero waste," *Waste Management*, vol. 79, pp. 87-97, 2018.
- [2] J. D. Quishpe-López, J. P. Lliguicota-Guarquila, L. B. Sarduy-Pereira, and K. Diéguez-Santana, "La producción más limpia, como estrategia de valorización (ecoeficiencia) del centro de faenamiento, Puyo, Pastaza, Ecuador," *Revista Científica de la UCSA*, vol. 7, no. 3, pp. 59-71, 2020.
- [3] U. Environment, *Waste Management Outlook for Latin America and the Caribbean*. Panama City, Panama: United Nations Environment Programme. Latin America and the Caribbean Office, 2018.
- [4] W. Bank. (2018, 01/05). *World development indicators: rural environment and land use*. Available: <http://wdi.worldbank.org/table/3.1>
- [5] H. Taghipour, Z. Amjad, H. Aslani, F. Armanfar, and R. Dehghanzadeh, "Characterizing and quantifying solid waste of rural communities," (in English), *Journal of Material Cycles and Waste Management*, pp. 1-8, 2015/03/11 2015.
- [6] P.-J. He, "Municipal solid waste in rural areas of developing country: Do we need special treatment mode?," *Waste Management*, vol. 32, no. 7, pp. 1289-1290, 2012/07/01/ 2012.

- [7] Z. Han *et al.*, "Influencing factors of domestic waste characteristics in rural areas of developing countries," *Waste Management*, vol. 72, pp. 45-54, 2018/02/01/ 2018.
- [8] A. Hiramatsu, Y. Hara, M. Sekiyama, R. Honda, and C. Chiemchaisri, "Municipal solid waste flow and waste generation characteristics in an urban—rural fringe area in Thailand," vol. 27, no. 10, pp. 951-960, 2009.
- [9] C. Bernardes and W. M. R. Günther, "Generation of Domestic Solid Waste in Rural Areas: Case Study of Remote Communities in the Brazilian Amazon," *Human Ecology*, vol. 42, no. 4, pp. 617-623, 2014/08/01 2014.
- [10] M. E. Edjabou, J. Møller, and T. H. Christensen, "Solid waste characterization in Kétao, a rural town in Togo, West Africa," *Waste Management and Research*, Article vol. 30, no. 7, pp. 745-749, 2012.
- [11] Z. Han *et al.*, "Characteristics and management modes of domestic waste in rural areas of developing countries: a case study of China," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 9, pp. 8485-8501, 2019/03/01 2019.
- [12] C. Zeng, D. Niu, H. Li, T. Zhou, and Y. Zhao, "Public perceptions and economic values of source-separated collection of rural solid waste: A pilot study in China," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 107, pp. 166-173, 2016/02/01/ 2016.
- [13] R. Shah, U. Sharma, and A. Tiwari, "Sustainable solid waste management in rural areas," *Int J Theor Appl Sci*, vol. 4, no. 2, pp. 72-75, 2012.
- [14] P. Manomaivibool, M. Srivichai, P. Unroj, and P. Dokmaingam, "Chiang Rai Zero Waste: Participatory action research to promote source separation in rural areas," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 136, pp. 142-152, 2018/09/01/ 2018.
- [15] P. de Moraes Lima and P. L. Paulo, "Solid-waste management in the rural area of BRAZIL: a case study in Quilombola communities," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 20, no. 3, pp. 1583-1593, 2018/07/01 2018.
- [16] M. A. Zarate, J. Slotnick, and M. Ramos, "Capacity building in rural Guatemala by implementing a solid waste management program," *Waste Management*, vol. 28, no. 12, pp. 2542-2551, 2008/12/01/ 2008.
- [17] I. A. Al-Khatib, M. Monou, A. S. F. Abu Zahra, H. Q. Shaheen, and D. Kassinos, "Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. A case study: Nablus district – Palestine," *Journal of Environmental Management*, vol. 91, no. 5, pp. 1131-1138, 2010/05/01/ 2010.
- [18] C. R. Lohri, E. J. Camenzind, and C. Zurbrügg, "Financial sustainability in municipal solid waste management – Costs and revenues in Bahir Dar, Ethiopia," *Waste Management*, vol. 34, no. 2, pp. 542-552, 2014/02/01/ 2014.
- [19] T. P. Ramos-Ramos, D. J. Guevara-Llerena, L. B. Sarduy-Pereira, and K. Diéguez-Santana, "Producción más limpia y ecoeficiencia en el procesamiento del cacao: Un caso de estudio en Ecuador," *Investigación & Desarrollo*, vol. 20, no. 1, pp. 135-146, 2020.
- [20] INEC. (2017, 15/04). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos, 2016*. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/2016/Presentacion%20Residuos%20Solidos%202016%20F.pdf
- [21] CNC, *Informe sobre mapeo de actores generadores de información a nivel territorial e identificación de fuentes de información de la competencia de desechos sólidos*, 1ra Edición ed. Quito, Ecuador: Consejo Nacional de Competencias, 2019, p. 64.
- [22] A. Cantanhede, G. Monge, L. Sandoval Alvarado, and C. Caycho Chumpitaz, "Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos," *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, vol. 1, no. 1, 2006.
- [23] INEC. Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador [Online].
- [24] M. d. A. y. Agua. (2014, agosto/16). *Precios de Mercado Referenciales para Materiales Reciclables*. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/precios-de-mercado-referenciales-para-materiales-reciclables/>
- [25] StataCorp, "Stata Data Analysis Statistical Software: Release 12," ed. College Station, TX: StataCorp LP, 2011.
- [26] I. A. Al-Khatib *et al.*, "Trends and problems of solid waste management in developing countries: A case study in seven Palestinian districts," *Waste Management*, vol. 27, no. 12, pp. 1910-1919, 2007/01/01/ 2007.
- [27] M. E. Kaseva and J. L. Moirana, "Problems of solid waste management on Mount Kilimanjaro: A challenge to tourism," *Waste Management and Research*, vol. 28, no. 8, pp. 695-704, 2010.
- [28] M. Sujauddin, S. M. S. Huda, and A. T. M. R. Hoque, "Household solid waste characteristics and management in Chittagong, Bangladesh," *Waste Management*, vol. 28, no. 9, pp. 1688-1695, 2008.
- [29] M. H. Isa, F. A. H. Asaari, N. A. Ramli, S. Ahmad, and T. S. Siew, "Solid waste collection and recycling in Nibong Tebal, Penang, Malaysia: a case study," *Waste Management & Research*, vol. 23, no. 6, pp. 565-570, 2005.
- [30] E. V. Cárdenas, J. M. Maldonado, R. A. Valdez, L. B. Sarduy-Pereira, and K. Diéguez-Santana, "La producción más limpia en el sector porcino. Una experiencia desde la Amazonia Ecuatoriana," *Anales Científicos*, vol. 80, no. 1, pp. 76-91, 2019.
- [31] K. Diéguez-Santana, L. E. Arteaga-Pérez, Y. Casas Ledón, and I. L. Rodríguez Rico, "Análisis de ciclo de vida y caracterización ambiental en una industria alimenticia," *Revista Centro Azúcar*, vol. 40, pp. 52-58, 2013.
- [32] L. E. Arteaga-Pérez, C. Segura, and K. Diéguez Santana, "Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica," *Afinidad*, vol. LXXIII, no. 573, pp. 60-68, 2016.
- [33] K. Diéguez-Santana, Y. Casas-Ledón, J. A. Loureiro Salabarría, A. Pérez-Martínez, and L. E. Arteaga-Pérez, "A life cycle assessment of bread production: A Cuban case study," *Journal of Environmental Accounting and Management*, vol. 8, no. 2, pp. 125-137, 2020.
- [34] M. F. Diouani, O. Ouerghi, K. Belgacem, M. Sayhi, R. Ionescu, and D. Laouini, "Casein-conjugated gold nanoparticles for amperometric detection of Leishmania infantum," *Biosensors*, Article vol. 9, no. 2, 2019, Art. no. 68.

- [35] S. F. Montero-Vega, C. S. Molina-Cedeño, B. M. Pillco-Herrera, L. B. Sarduy-Pereira, and K. Diéguez-Santana, "Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador," *Ciencia, Ambiente y Clima*, vol. 3, no. 1, pp. 23-39, 2020.
- [36] D. Caiza, A. Chimbo, L. B. Sarduy-Pereira, W. Pisco, and K. Diéguez-Santana, "Propuesta de producción más limpia en el proceso de elaboración de abonos orgánicos con desechos del camal, realizado en el relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua," *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, vol. junio, 2018.
- [37] A. I. Soto-Cabrera, A. P. Panimboza-Ojeda, C. G. Ilibay-Granda, C. R. Valverde-Lara, and K. Diéguez-Santana, "Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador," *Prospectiva*, vol. 18, no. 1, 2020.
- [38] K. Dieguez Santana, A. A. Zabala-Velin, K. L. Villarroel-Quijano, and L. B. Sarduy-Pereira, "Evaluation of the Environmental Impact of the Pitahaya Crop, Cantón Palora, Ecuador," *TecnoLógicas*, vol. 23, no. 49, pp. 113-128, 09/15 2020.
- [39] A. I. Soto-Cabrera, A. P. Panimboza-Ojeda, A. Ramones-Pinargote, A. Pérez-Martínez, L. B. Sarduy-Pereira, and K. Diéguez-Santana, "Huella de carbono en el cultivo de la caña de azúcar. Evaluación agrícola de un caso de estudio de la amazonia ecuatoriana," *Ingenio Magno*, vol. 11, no. 1, pp. 22-32, 2020.