

Propuesta de un sistema de gestión integral de residuos sólidos domésticos en la comunidad Cofán A I Dureno de la Amazonía ecuatoriana

Pedro Andrés Peñafiel Arcos^{1*}, Karem Yael Cazares Carrión¹, Alexandra Maribel Quilligana Vega¹, Astrid Carolina Pasquel Montenegro¹.

¹Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.

Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail: ppeñafiel@uea.edu.ec

Proposal for a comprehensive domestic solid waste management system in the Cofán A I Dureno community in the Ecuadorian Amazon

Abstract

The present work aimed at establishing a proposal for a comprehensive management system for domestic solid waste (DSW) in the A I Dureno community, where the indigenous people of the Cofán nationality can be found. It is located in "Sucumbíos", a province in the Ecuadorian Amazon region. In this location, there is a group of houses built within the Millennium Communities Program promoted by the national government, of which only 26 are inhabited with a total of 129 people. Currently, more than half of the households burn DSW as the only treatment process which generates environmental impacts in the area. The methodology applied consisted of diagnosing the socioenvironmental conditions of the community through surveys, as well as determining the daily per capita production (PCP) of DSW through a characterization applying the methodology of the Pan American Health Organization (PAHO). It also focused on the development of a proposal for a management model appropriate to the present demographic characteristics, from environmental education to final disposal. The results obtained determined that the average PCP of the community is 0,346 kg/inhabitant/day and the predominant category was the organic fraction with 64,7% of a total of 44,63 kg of DSW produced. The adaptation of an area for the generation of compost and a recycling system that allows obtaining economic resources for the benefit of the population is proposed.

Keywords: Amazon indigenous community, daily per capita production, characterization of domestic solid waste.

Resumen

En el presente trabajo se establece una propuesta para un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Domésticos (RSD) en la comunidad A I Dureno, formada en su totalidad por indígenas de la nacionalidad Cofán, ubicada en la provincia de Sucumbíos de la amazonía ecuatoriana. En esta locación se encuentran un grupo de viviendas construidas dentro del Programa de Comunidades del Milenio impulsado por el Gobierno Nacional de las cuales están habitadas veintiséis con un total de ciento veintinueve personas. Actualmente más de la mitad de las unidades familiares quedan



Editado por /
Edited by:
Eva O.L. Lantsoght

Recibido /
Received:
17/07/2020

Aceptado /
Accepted:
12/11/2020

Publicado en línea /
Published online:
31/12/2020

los RSD como único tratamiento lo que genera impactos ambientales en la zona. La metodología que se utilizó consistió en diagnosticar la condición socioambiental de la comunidad mediante encuestas, en la determinación de la producción per cápita diaria (PPC) de los RSD mediante una caracterización aplicando la metodología de la Organización Panamericana de Salud (OPS) y en el desarrollo de una propuesta de modelo de gestión adecuado a las características demográficas presentes, desde la educación ambiental hasta su disposición final. Los resultados obtenidos determinaron que la PPC promedio de la comunidad es de 0,346 kg/hab/día y la categoría predominante fue la fracción orgánica con un 64,7% de un total de 44,63 kg de RSD producidos. Se plantea la adecuación de un área para la generación de compost y un sistema de reciclaje que permita la obtención de recursos económicos en beneficio de la población.

Palabras clave: Comunidad indígena amazónica, PPC diaria, caracterización de residuos sólidos domésticos.

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos nace desde la necesidad del hombre por mejorar cada vez más su forma de vivir en función a sus intereses y bienestar en general [1]. En épocas anteriores, el manejo de estos residuos no representaba un problema considerable puesto que la población era pequeña y la forma de gestionar era eficiente ya que se contaba con facilidades tanto en terreno para su disposición final y las normativas ambientales no eran muy enérgicas [2, 3]. Sin embargo, la problemática de los residuos sólidos, en especial los domésticos (RSD), ha sido un tema sensible en todas las urbes, debido a distintos factores como la sobrepoblación [4], los cambios en los patrones de consumo [5], el mejoramiento en el nivel de vida [6], entre otros, que han desencadenado en un crecimiento exponencial de producción [1, 7]. Los altos volúmenes de RSD si no se los gestiona adecuadamente representan un problema de sanidad pública lo que conlleva una afectación tanto en la salud de las personas, así como en el medio ambiente [8-10].

Sin embargo, los problemas en referencia a los RSD ocurren con frecuencia debido a la falta de capacidad, dentro de las autoridades municipales en términos de administración, recursos financieros y manejo débil de éstos [11-13]. En este contexto, Ecuador no es la excepción. Concretamente, en las comunidades rurales amazónicas se ha originado un aumento significativo en la producción per cápita (PPC) diaria de los residuos sólidos domésticos (RSD) generados.

La recolección de los residuos sólidos en áreas rurales amazónicas viene siendo un problema extraordinario que se crea debido a la ubicación de los diferentes asentamientos de las comunidades, puesto que en su gran mayoría se obstaculiza el ingreso del transporte de recolección por la ausencia de la infraestructura vial o el acceso por vía terrestre es nulo. Sumado, además, al desconocimiento por parte de los comuneros acerca del manejo y gestión de los residuos que se generan en sus territorios, ha llevado a que una gran cantidad de estos sean abandonados o desechados sin ningún control, y que en el peor de los casos se disponga de ellos en sitios no autorizados [9, 14]. Es el caso de la comunidad del milenio A'í Dureno Cofán



ubicada en la parroquia Dureno a 27 km del cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, Ecuador, y que está conformada en su totalidad por indígenas de la nacionalidad Cofán. Esta comunidad de 129 habitantes está asentada a escasos kilómetros de la zona urbana lo que ha llevado a una parcial transformación de las costumbres alimenticias de esta nacionalidad indígena, produciendo como consecuencia una generación más alta de RSD que en otras comunidades aledañas.

Entre las consecuencias negativas del inadecuado manejo de estos productos está la contaminación de recursos naturales como el suelo, el agua [15]; la contaminación visual; debido a que los residuos son arrojados a las fuentes hídricas aledañas a la comunidad, enterrados en el suelo, arrojados a lugares no apropiados o quemados, causando la modificación paisajística y del ecosistema [16, 17]. Al ser quemados al aire libre, generalmente la combustión se realiza sin el aire suficiente o simplemente no se alcanza una temperatura suficientemente alta, lo que determina un proceso incompleto, liberando sustancias peligrosas como PM_{10} , $PM_{2.5}$, monóxido de carbono (CO), metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes como son los compuestos aromáticos policíclicos (HAPS), las dioxinas y furanos policlorados y polibromados [18, 19], deteriorando la calidad del aire y exponiendo a los residentes locales a graves amenazas para su salud. Actualmente en la comunidad no existe un sistema de gestión de los RSD, lo que ha conllevado a una disposición inadecuada de los mismos (enterrarlos, quemarlos, arrojarlos al río o acumularlos) y que a su vez presenta una urgente necesidad del establecimiento de una propuesta de manejo de estos productos, desde su generación hasta la disposición final, incluyendo la fase de tratamiento.

Esta investigación está centrada principalmente en el diseño de un sistema de gestión integral de RSD, basado en las características socioeconómicas de las áreas rurales amazónicas, para la comunidad indígena Cofán A I Dureno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El área de estudio está ubicada en la Comunidad del Milenio A I Dureno Cofán construida por el gobierno ecuatoriano con un total de 108 viviendas con casi todos los servicios básicos. Esta área fue instalada en los territorios de la nacionalidad indígena Cofán dentro de la comunidad del mismo nombre, debido a lo cual está conformada únicamente por este grupo poblacional. Perteneció a la parroquia Dureno, cantón Lago Agrio, provincia Sucumbíos de la Amazonía ecuatoriana. Esta zona tiene la particularidad de estar asentada al margen derecho del río Aguarico a la altura del kilómetro 23 vía a Dureno [20], lo que genera que esté aislada de la parte urbana del cantón por este cuerpo de agua, imposibilitando la entrada vehicular.

Diagnóstico de la situación actual de la generación y manejo de RSD en la comunidad A I Dureno

Actualmente, el número de viviendas habitadas es de solamente 26 (24% del total) con presencia de 129 habitantes. Al estar habitadas el total de las viviendas, tendrían

la capacidad de albergar un total de 610 habitantes aproximadamente. El diagnóstico cuantitativo y cualitativo de la generación de los RSD en la comunidad se desarrolló mediante la aplicación de una encuesta descriptiva basada en preguntas abiertas y cerradas, en cada una de las viviendas que se definieron como nuestras unidades de análisis. En total 26 jefes de familia fueron entrevistados y encuestados. Los temas consultados en la encuesta fueron discutidos por un panel de docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal Amazónica de Ecuador, lo cual se utilizó como sistema de validación. Así mismo, estos temas fueron socializados previamente con la población objetivo con el fin de obtener su aprobación y compromiso con el desarrollo de este trabajo.

De acuerdo con la normativa ecuatoriana, en el Código Orgánico Ambiental (COA) en su artículo 231 y en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) artículos 55 y 136, los responsables administrativos en el manejo integral de los residuos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios, son los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y Parroquiales Rurales, los cuales están obligados a fomentar en los generadores alternativas de gestión, impulsar en su circunscripción territorial programas y/o proyectos de educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza. En el caso particular de estudio, en la comunidad A I Dureno, los responsables directos de la gestión de los residuos sólidos deberían ser el GAD Municipal de Lago Agrio y el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Dureno. Esta obligación actualmente no se cumple debido, principalmente, a la ubicación de la comunidad, que complica el acceso vehicular y de personal de estas instituciones lo que a su vez determina la necesidad de un modelo de autogestión para solucionar esta problemática.

Determinación de la PPC promedio diaria, densidad y composición física de los RSD generados en la comunidad A I Dureno

Para la realización de este objetivo se utilizó la metodología de la Organización Panamericana de Salud (OPS), la cual implica conocer las características de esos los residuos sólidos en relación con la generación, composición y densidad de los mismos. Esta metodología estadística es aplicada en los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos en los países de la Región de América Latina y el Caribe basada en el diseño del doctor Kunitoshi Sakurai en 1982 [21], que consiste en el siguiente procedimiento:

Selección de la muestra

Se identificó un número total de viviendas para que se ajuste a un área de estudio, bajo este contexto, el estudio de la comunidad en cuestión se llevó a cabo a toda la población (26 viviendas) abarcando un total de 129 habitantes. Además, se tomó como referencia el total de 610 habitantes para la proyección de la propuesta del sistema de gestión integral de residuos sólidos.

Recolección de los datos y análisis de los residuos sólidos

Se etiquetó cada vivienda y se tomó sus respectivas coordenadas con ayuda de la aplicación GPS Estatus. La recolección de los RSD se desarrolló por ocho días sucesivos, dejando a un lado los resultados del primer día como lo indica la metodología anteriormente



mencionada. El horario de recolección se estableció de manera colectiva en torno a las posibilidades de la comunidad. Se recolectó los residuos sólidos diariamente en bolsas de polietileno de color negro de 50 x 55 cm y se procedió a tomar su peso en kg.

Cálculo de la PPC promedio diaria

El peso de los residuos que se recolectaron diariamente en cada una de las viviendas está representado por la abreviatura (Wt). En función de todos los datos recopilados, sobre el número de personas por vivienda, se determinó el número total de personas, que en este caso está representado por la abreviatura (n).

Para obtener la PPC diaria se utilizó la Ecuación (1).

$$PPC = \frac{\text{Peso diario de residuos (Wt)}}{\text{Número de personas (n)}} \quad (1)$$

Determinación de la composición física de los residuos sólidos

Se realizó diariamente, posterior a la recolección de los mismos, y descartando el primer día para no tener alteraciones en los resultados. Dependiendo al tipo de clasificación se empezó a separar los componentes de los residuos sólidos domésticos en:

- Papel y cartón
- Plásticos
- Metales (incluido latas)
- Vidrio
- Materia orgánica
- Residuo sanitario
- Otros

Se calculó el porcentaje de cada componente, aplicando la Ecuación (2), tomando en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día (Wt) y el peso del componente (Pi).

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{\text{Peso de cada componente (Pi)}}{\text{Peso total de residuos recolectados en un día (Wt)}} * 100 \quad (2)$$

Propuesta de sistema de gestión de RSD

En base a los resultados determinados en el estudio de la producción y caracterización de los RSD generados en la comunidad A I Dureno, se desarrolló propuestas de manejo de la parte orgánica e inorgánica producida que van desde la educación ambiental hasta su disposición final, tomando en cuenta las costumbres y disponibilidad de recursos humanos y económicos de la población.

Análisis estadísticos

Para la ejecución de los diferentes objetivos de este estudio, se utilizó el software EXCEL para la tabulación de los resultados de la encuesta y la ejecución diferentes cálculos, que sirvieron para realizar el análisis de los resultados de las actividades desarrolladas. Así mismo, se utilizó el paquete estadístico STATISTICA para generar valores de media, mínimos, máximos y desviación estándar de los resultados de la producción y caracterización de los RSD generados en la comunidad, dentro de un análisis básico de estadística descriptiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de la situación actual de la generación y manejo de residuos sólidos en la comunidad del milenio A I Dureno Cofán

Los resultados de la encuesta permitieron determinar que el 50% de familias de la comunidad están conformadas por 4 o más individuos. Este resultado es similar al indicado en el documento “Ecuador Familia en cifras 2016” desarrollado por la Universidad Técnica Particular de Loja -UTPL, el Instituto Latinoamericano de la Familia-ILFAM y la Corporación para el Desarrollo de la Familia-ORIENTAR, donde se manifiesta que el promedio de miembros por hogar en Ecuador es 4 [22], al igual que lo propuesto por los trabajos de [23, 24] que se basan en el estudio de varias poblaciones indígenas en la Amazonía ecuatoriana.

Por otro lado, se identificó que el 96% de la población estudiada se encuentra bajo las líneas de pobreza y de pobreza extrema, que para diciembre de 2019 se ubicaban en US\$ 84,82 y US\$ 47,80 mensuales per cápita, respectivamente, según la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo de diciembre de 2019 [25]. Esto, a su vez tiene incidencia en la frecuencia que las familias realizan compras de productos de primera necesidad, que para este estudio se comprobó que un 73% lo realizan una vez al mes. En cuanto al análisis ambiental, se determinó que el 77% de las viviendas realizan una clasificación básica de los residuos sólidos generados, entre fracción orgánica e inorgánica, en donde parte del contenido orgánico se lo dispone directamente en el suelo como método de mejoramiento del mismo. Mientras que, el 58% de los núcleos familiares afirmaron que el tratamiento final de los residuos sólidos generados en sus viviendas es la quema de los mismos, lo cual es un comportamiento habitual en este tipo de comunidades amazónicas ecuatorianas [26], y también a nivel latinoamericano [27]. A su vez, en lo referente a la frecuencia de disposición de cualquiera de las alternativas propuestas (enterrarlos, quemarlos, arrojarlos al río o acumularlos) de los residuos sólidos generados en la comunidad, el 39% de las viviendas lo realizan semanalmente, el 46% cada dos días y las restantes diariamente. Este tipo de manejo inadecuado de residuos sólidos descrito anteriormente, genera que los habitantes de la comunidad A I Dureno se encuentren expuestos a diferentes tipos de contaminación ambiental, que son precursores de enfermedades que afectan su nivel de vida [28].

Determinación de la producción per cápita promedio (PPC) diaria y densidad de los RSD

Los resultados diarios obtenidos de la PPC se pueden observar en la Tabla 1. Estas mediciones fueron realizadas del 13 al 19 de diciembre 2019. Se observa que la PPC promedio de RSD en la comunidad es de 0,346 kg/hab/día.

Tabla 1. Producción per cápita promedio (PPC) diaria de la comunidad A I Dureno.

	PPC (kg/hab/día)							Promedio
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	
Peso diario (kg)	38,40	49,90	71,00	17,30	28,46	45,40	62,00	44,64
PPC (kg/hab/día)	0,298	0,387	0,550	0,134	0,221	0,352	0,481	0,346



En cuanto a otros trabajos realizados en comunidades indígenas amazónicas ecuatorianas, se encuentran los realizados por [29] y [30] en la provincia de Sucumbios, en el cual se obtienen valores de PPC promedio de 0,51 kg/hab/día y 0,42 kg/hab/día respectivamente para la cabecera Parroquial de Limoncocha, específicamente para residuos sólidos generados en viviendas. Otra investigación, es la presentada por [26] donde se determinó que la PPC diaria para una comunidad de nacionalidad Waorani de la Amazonía ecuatoriana es de 0,26 kg/hab/día. Estos datos indican la importante variabilidad de generación que existe en este tipo de asentamientos poblacionales, que podrían estar marcados principalmente por las condiciones socioeconómicas y culturales de cada comunidad [31], y en un segundo plano por el nivel de accesibilidad a las condiciones de un estilo de vida urbano. Todo esto plantea la necesidad de desarrollar una mayor cantidad de investigaciones de tipo social, donde se pueda analizar y determinar los factores preponderantes que condicionan la generación de RSD.

A nivel internacional, existe el trabajo desarrollado por [32] en el cual, la PPC determinada fue de 0,5 kg/hab/día para las comunidades asentadas a lo largo del río Juruá en la Amazonía brasileña. Otra investigación desarrollada en un sector rural de Latinoamérica, es la generada por [28] en la comunidad de Pijibasal ubicada en el Parque Nacional Darién de la República de Panamá, donde la población es netamente indígena y las condiciones socio-ambientales se asemejan. El trabajo indica que el PPC generado es de 0,47 kg/hab/día, el cual es similar al de la comunidad amazónica brasileña, pero sigue siendo en su mayoría más alto que el de las comunidades ecuatorianas.

Determinación de la composición física de los RSD

La producción diaria y promedio de las diferentes categorías de RSD generados en la Comunidad A I Dureno se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Producción diaria de las categorías de los RSD de la comunidad A I Dureno.

Composición física de los RSD (kg)								
Tipo de residuo	Día 1 13/11/19	Día 2 14/11/19	Día 3 15/11/19	Día 4 16/11/19	Día 5 17/11/19	Día 6 18/11/19	Día 7 19/11/19	Promedio
Contenido orgánico	25,6	29,9	50,1	10	18,2	29,9	41,9	29,40
Papel-Cartón	2,4	5,3	3,9	1,8	1,3	5,8	4,5	3,60
Plástico	3,0	4,0	6,2	1,4	3	3,6	5,3	3,80
Metal (Incluido latas)	5,3	1,0	1,5	0,9	4,1	1,3	2,8	2,40
Vidrio	0,4	1,0	0,4	0,0	0,4	0,2	0,4	0,40
Residuos Sanitarios	0,2	6,2	5,4	2,5	1,2	2,2	4,3	3,10
Otros	1,5	2,5	3,5	0,7	0,15	2,4	2,8	1,90
TOTAL	38,4	49,9	71,0	17,3	28,4	45,4	62,0	44,6

Se puede apreciar que la generación de RSD presentan una variabilidad especialmente los días sábados y domingos. Esta condición se presenta debido a que los fines de semana la mayoría de pobladores de la comunidad se trasladan a los centros urbanos más cercanos, para la comercialización de productos agrícolas como el maíz, plátano, yuca y artesanías propias de la comunidad. Por otro lado, de los 44,6 kg promedio de RSD que se generan diariamente, el 64,7% corresponde a contenido orgánico que está conformado principalmente por cáscaras de plátano maduro, un ingrediente básico en la dieta de la nacionalidad Cofán. Los porcentajes de las demás fracciones de RSD se presentan en la Fig. 1.

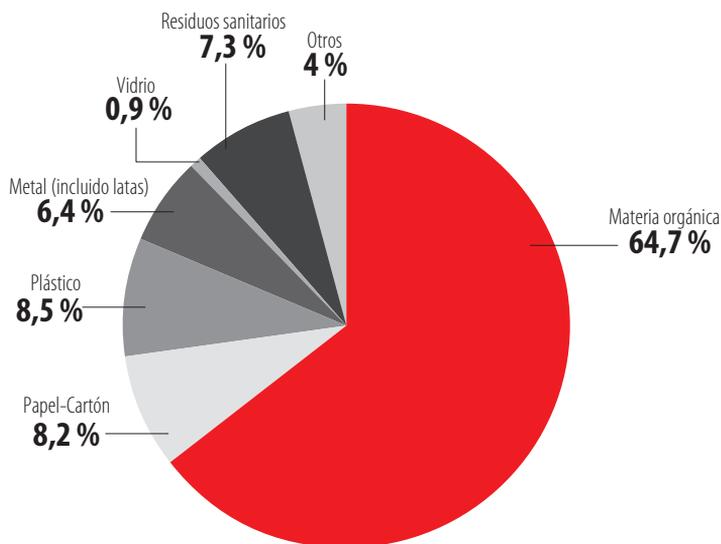


Figura 1. Composición física de los RSD de la comunidad A I Dureno.

En relación al trabajo presentando por [26] de una Comunidad Waorani de la Amazonía ecuatoriana, en la que la fracción orgánica correspondía al 74,8%, se observa que este tipo de residuo es el predominante pero con un valor de producción inferior. Si a su vez comparamos estos valores con los resultados propuestos por [32], se determinan mayores diferencias ya que en este trabajo el resultado para la fracción orgánica fue del 90%. La causa de este comportamiento de generación de residuos podría ser la mayor accesibilidad a los centros urbanos de la población objetiva de este trabajo, en comparación a la de la Comunidad Waorani y a las de las comunidades remotas de la Amazonía brasileña, lo cual provoca una mayor presencia de contenido inorgánico que es susceptible de ser producido por materiales que no se originan en sectores rurales. Esto lo podemos comprobar con el 24% de RSD correspondiente a la fracción inorgánica aprovechable en el sector Cofán en relación con el 18,7% determinado en el sector Waorani.

Para complementar el análisis de los resultados referentes a la determinación del PPC y caracterización de los RSD, se desarrolló un diagnóstico estadístico de tipo descriptivo



que se puede apreciar en la Tabla 3. En base a estos resultados se determinó que casi todos los parámetros presentan una baja variabilidad de producción cada día de análisis. Solamente las categorías Vidrio y Otros poseen una variación en sus valores que podría considerarse.

Tabla 3. Estadística descriptiva de la producción y caracterización de los RSD de la comunidad A I Dureno.

	# de mediciones	Media aritmética	Valor mínimo	Valor máximo	Desviación estándar
PPC	7	0,346	0,134	0,550	0,1334
Contenido orgánico	7	29,40	10,00	50,10	12,54
Papel-cartón	7	3,60	1,30	5,80	1,63
Plástico	7	3,80	1,40	6,20	1,47
Metal	7	2,40	0,90	5,30	1,59
Vidrio	7	0,40	0,00	1,00	0,28
Residuos sanitarios	7	3,10	0,20	6,20	2,05
Otros	7	1,90	0,20	3,50	1,11

Propuesta de sistema de gestión integral de residuos sólidos para la Comunidad A I Dureno

Debido a la ubicación geográfica de la comunidad, que complica la entrada de vehículos y personal del GADM del cantón Lago Agrio, se plantea un modelo de autogestión de los RSD generados. La asignación de responsabilidades de cada una de las fases se llevará a cabo por parte de la misma población, mediante una reunión comunal, donde el líder de la comunidad deberá liderar el evento y contará con el asesoramiento de personal del GADM del cantón Lago Agrio y del proyecto de vinculación con la comunidad "Barrios Ecológicos y Agroecología", de la Universidad Estatal Amazónica. Esto, contribuirá al empoderamiento de la población en el proyecto y a la conservación del entorno ambiental circundante.

Para el correcto diseño de la propuesta de gestión integral de los RSD, se proyectó la población de la comunidad en función del índice de crecimiento poblacional correspondiente, a un horizonte de 20 años a partir de la ejecución de este estudio, es decir al año 2039. Se utilizó la tasa de crecimiento del cantón Lago Agrio, de 0,022%, considerando el último censo llevado a cabo correspondiente al año 2010, ya que no existe información en el Instituto Nacional de Estadística y Censos específicamente de la comunidad de estudio. Para el año 2039 la población sería de 200 habitantes. Con estos resultados, se presenta en la Tabla 4 los valores de producción de RSD proyectados que sirvieron para diseñar las diferentes etapas de la propuesta.

Tabla 4. Producción de RSD proyectados de la comunidad A I Dureno.

Población RESIDUO/PROYECCIÓN	Producción de RSD proyectados (kg)			
	Actual 129 hab.		Proyectada 200 hab.	
	Semanal	Mensual	Semanal	Mensual
Materia Orgánica	205,60	822,40	317,17	1268,66
Papel-Cartón	25,00	100,00	38,57	154,26
Plástico	26,50	106,00	40,88	163,52
Metal (Incluido latas)	16,90	67,60	26,07	104,28
Vidrio	2,80	11,20	4,32	17,28
Residuos sanitarios	22,79	91,16	35,36	141,44
Otros	12,49	49,95	19,38	77,50

Fase de Educación Ambiental

El correcto funcionamiento de la gestión integral de residuos sólidos requiere de grandes compromisos compartidos entre los habitantes de la comunidad y las autoridades locales; puesto que, la complejidad que abarca este procedimiento sobrepasa la responsabilidad de los Gobiernos Autónomos de Descentralizados. La antes mencionada complejidad inicia con el convencimiento de los habitantes de la comunidad en la necesidad de separar los residuos orgánicos en al menos tres categorías como lo son: orgánico, residuos reciclables y residuos no reciclables, para lo cual se plantea el cronograma de capacitaciones mostrado en la Tabla 5. La responsabilidad de estas capacitaciones estará a cargo de los docentes y estudiantes del proyecto de vinculación con la comunidad “Barrios Ecológicos y Agroecología”, de la Universidad Estatal Amazónica.

Tabla 5. Cronograma de actividades de la Fase de Educación Ambiental.

	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3
Temas de capacitación	Inauguración	Presentación de bienvenida	Presentación de bienvenida
	Clasificación de los residuos sólidos.	Gestión de los residuos y su problemática social.	El ciclo de los restos orgánicos
	Reciclaje del contenido orgánico.	Reciclar ayuda.	¿Qué es compostar?
	Reciclaje del contenido inorgánico aprovechable.	Reciclar protege al medio ambiente.	¿Qué no se puede compostar?
	Disposición de RSD no aprovechables.	Medidas de bioseguridad para el manejo de RSD de origen sanitario	Finalización del evento



Fase de Separación en la fuente

Para esta etapa se propone el almacenamiento selectivo del RSD en cada vivienda en tres categorías: orgánicos (restos de comida, cáscaras de frutas y desechos de vegetales), inorgánicos aprovechables (plástico, cartón, papel, vidrio y metal) e inorgánicos no aprovechables (residuos sanitarios y otros). Se deberá proveer a cada familia de tres recipientes de 30 litros cada uno. Los residuos sanitarios, que corresponden al 7,3% (3,26 kg) de la generación total diaria, están dentro de la última categoría. Éstos corresponden principalmente a pañales desechables, lo cual es una característica repetida en comunidades indígenas amazónica como se menciona en [33].

Fase de Recolección y Transporte

Esta etapa se divide en tres partes que coincide con el número de categorías anteriormente planteadas. Para el contenido orgánico, debido a las altas temperaturas presentes en la provincia de Sucumbíos, lo recomendable es que se realice diariamente la recolección pues el factor climático incide en la rápida descomposición biológica de los mismos. Por dicha razón, se propone que, dentro de la comunidad se destine a una persona o a un grupo de personas que laboren de forma rotacional, los cuales tendrán la responsabilidad de trasladar la materia orgánica desde cada vivienda habitada, hasta el lugar destinado para el sistema de compostaje.

Para la fracción inorgánica aprovechable, de igual manera se destinará a una persona o a un grupo de personas que se encarguen de la recolección de estos residuos, y de su acumulación en un contenedor de dimensiones adecuadas tomando en cuenta la generación con la población proyectada. Posterior a esto, de forma mensual, estos materiales serán transportados a un centro de reciclaje en la ciudad de Lago Agrio, utilizando los servicios de una canoa para cruzar el río Aguarico y de una camioneta. El costo mensual para estas actividades será de 12,60 USD. Mientras que, las ganancias por la venta de estos productos se han determinado mediante las entrevistas a dueños de los centros recicladores del cantón Lago Agrio, y se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Rentabilidad de los residuos inorgánicos aprovechables acorde a la población proyectada.

Rentabilidad de los residuos (USD)		
Población	129 hab.	200 hab.
RESIDUO/PROYECCIÓN	Mensual	
Papel-Cartón	11,00	16,97
Plástico	63,60	98,11
Metal (Incluido latas)	35,83	55,27
Vidrio	0,90	1,38
TOTAL	111,32	171,73

Por último, la fracción inorgánica no aprovechable deberá ser acumulada en un contenedor específico, ubicado dentro de la comunidad, con dimensiones adecuadas

para almacenarla por tres días y tomando en consideración la generación de 200 personas. Se destinará a una persona o a un grupo de personas de forma rotatoria, para que recolecten estos materiales diariamente de las viviendas y los depositen en el contenedor. Debido al costo que conlleva trasladar éstos productos hacia otro contenedor perteneciente al GADM del cantón Lago Agrio, que se encuentra ubicado justamente al atravesar el río Aguarico, para lo cual se tiene que utilizar una canoa, los mismos serán transportados cada tres días. Para esta actividad se destinará 2,60 USD mensuales. Debido a las condiciones especiales de manejo de los residuos sanitarios, las personas encargadas de su recolección serán capacitadas dentro de la Fase de Educación Ambiental planteada. Así como también, deberán llevar equipos de protección personal adecuados (mascarillas y guantes); estos equipos serán adquiridos por parte de la comunidad utilizando los ingresos generados en la aplicación de este modelo de gestión.

Fase de Aprovechamiento de la fracción orgánica

Para esta fase se destinará un área de 42 m² para la aplicación de un sistema de tratamiento de la fracción orgánica generada en la zona de estudio. Se propone que esta locación sea construida con la mano de obra de la propia comunidad y con materiales de la zona. Deberá ser techada para el mantenimiento adecuado de las pilas. Se tomará en cuenta la conformación de dos pilas que recibirán cada una de ellas la fracción orgánica diaria durante un mes. Los productos complementarios podrían ser material de poda o restos de vegetación cortada de la propia comunidad como material nitrogenado, y bloques de panela diluidas como aporte energético.

En la presente investigación no se realizó la determinación de la relación C/N, pero se ha tomado como referencia el trabajo de investigación generado en la comunidad indígena amazónica Limoncocha [33], ya que las características de producción de RSD de la comunidad analizada en este manuscrito es similar a la de A I Dureno. Por tanto, se estima que la relación C/N promedio es de 158. Este valor relativamente alto, se debe a que casi en su totalidad los residuos son de origen vegetal y no animal. Para disminuir esta relación al rango óptimo (25-35), se propone la incorporación de pollinaza en una relación de 1:1 con los RSD de la comunidad [34], lo cual aumenta el porcentaje de nitrógeno y de esta manera la relación C/N disminuye hasta valores adecuados [35, 36]. El costo del saco de pollinaza en la ciudad de Lago Agrio es de 1,50 USD.

Se necesitará, además, de un saco de cal agrícola mensual para el control de olores cuyo costo es 12 USD, según locales comerciales de venta de productos agrícolas del cantón Lago Agrio, y se destinará a una persona para que se encargue de la actividad de volteo de las pilas. Este proceso requiere aproximadamente entre 2-3 horas por semana.

Sabiendo que la generación de residuos sólidos orgánicos actualmente es de 822,40 kg mensuales, y que la adición de pollinaza iría en la misma cantidad; y que del 30 al 50% del peso total es transformado en compost [37], y tomando un valor referencial de 30% se obtendrían 14 sacos de 35 kg de abono orgánico, que podrían ser comercializados a 6 USD cada uno de ellos. Este valor se tomó en base a la referencia que se tiene en la Provincia de Pastaza, donde el GADM del Cantón Pastaza, mediante el programa



Pastaza Recicla, genera compost a partir de residuos sólidos vegetales producidos tanto en mercados como en viviendas. La ganancia mensual actual sería de 84 USD y con la generación proyectada a 20 años de 120 USD.

Fase de Disposición Final

Al momento de aplicar todo el sistema de gestión propuesto, se lograría aprovechar aproximadamente el 89% de todo los RSD generados y solo el 11% (fracción inorgánica no aprovechable) llegaría al Relleno Sanitario de la ciudad de Lago Agrio.

Resumen de costos e ingresos

El costo total mensual que se generarían al aplicar el sistema de gestión propuesto sería de 90 USD, tomando en cuenta los gastos de transporte de las fracciones inorgánicas aprovechables y no aprovechables, la cal agrícola, la pollinaza y un 10% de salvaguarda. Mientras que, las ganancias que se podrían obtener en las condiciones actuales de número de habitantes, serían aproximadamente de 196 USD, obteniéndose un ingreso neto mensual de 106 USD. Los recursos económicos obtenidos, deberán ser administrados en la misma comunidad mediante la designación de una comisión responsable del manejo de cuentas mensuales, que será elegida en la reunión comunal mencionada anteriormente.

Cabe comentar que, en la fase de educación ambiental se deberá concientizar a toda la comunidad sobre la importancia socioambiental y económica de la aplicación de esta propuesta, que logre el compromiso de la participación de todos de forma desinteresada en las actividades de recolección, transporte y construcción del área de compostaje sabiendo que, las ganancias económicas pueden ser utilizadas para el bienestar de toda la comunidad.

CONCLUSIONES

Se determinó que la PPC promedio diaria de RSD en la comunidad Cofán A I Dureno, ubicada en la región amazónica ecuatoriana, es de 0,346 kg/hab/día, mientras que la generación total diaria es de 44,6 kg aproximadamente. Estos valores son superiores a los obtenidos para una comunidad indígena Waorani de la Amazonía ecuatoriana (0,26 kg/hab/día), que presenta condiciones similares de número de población, pero a la vez inferiores a los determinados en otras comunidades indígenas amazónicas de la provincia de Sucumbíos (0,42 – 0,51 kg/hab/día) y de otros países de la región (0,5 kg/hab/día). Las causas de esta particularidad podrían ser las condiciones socioeconómicas y culturales de cada comunidad, y el nivel de accesibilidad que tienen estas comunidades a los centros urbanos, hablando en término de menor o mayor distancia a los mismos, aunque es necesario poder realizar más estudios de este tipo para ratificar esta conclusión.

Ante la falta de un manejo adecuado de los RSD generados, se presenta una alternativa de gestión que se basa en fases de educación ambiental, almacenamiento selectivo, recolección, transporte y aprovechamiento de las fracciones orgánicas, que representa

el 64,7% del total en la producción de compost, y de la inorgánica aprovechable, que representa el 24% del total, en procesos de reciclaje. Solamente el 11% del total generado se dispondría en el Relleno Sanitario.

La aplicación de esta propuesta de gestión de residuos sólidos en la comunidad, traería beneficios ambientales a la zona, además de los ingresos económicos que se generarían por la comercialización de los productos reciclados. Además, se cumpliría con los lineamientos normativos expresados tanto en el COA Art. 226, 231 y COOTAD Art, 55, 136 en dónde se promueven actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente, a través de un buen manejo de los residuos sólidos domésticos, con la participación activa de los habitantes de la jurisdicción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la comunidad Cofán A I Dureno por brindarnos las facilidades de obtener toda los datos relevantes para el desarrollo de esta investigación.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Pedro Peñafiel concibió la investigación; Karem Cazares desarrolló la producción de tablas, figuras o material complementario; Alexandra Quilligana y Astrid Pasquel desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de campo.



REFERENCIAS

- [1] Lino, F.A.M. and K.A.R. Ismail, *Alternative treatments for the municipal solid waste and domestic sewage in Campinas, Brazil*. Resources, Conservation and Recycling, 2013. 81: p. 24-30 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.09.007>.
- [2] Deus, R.M., et al., *A municipal solid waste indicator for environmental impact: Assessment and identification of best management practices*. Journal of Cleaner Production, 2020. 242: p. 118433 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118433>.
- [3] Lebersorger, S. and P. Beigl, *Municipal solid waste generation in municipalities: Quantifying impacts of household structure, commercial waste and domestic fuel*. Waste Management, 2011. 31(9): p. 1907-1915 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.016>.
- [4] Singh, A., *Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal*. Journal of environmental management, 2019. 240: p. 259-265 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.025>.
- [5] Margallo, M., et al., *Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support*. Science of The Total Environment, 2019. 689: p. 1255-1275 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>.
- [6] Khandelwal, H., et al., *Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review*. Journal of cleaner production, 2019. 209: p. 630-654 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.233>.
- [7] Malinauskaite, J., et al., *Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe*. Energy, 2017. 141: p. 2013-2044 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.128>.
- [8] Sáez, A. and J.A.J.O. Urdaneta, *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. 2014. 20(3): p. 121-135. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>
- [9] Han, Z., et al., *A novel spatiotemporally anaerobic/semi-aerobic bioreactor for domestic solid waste treatment in rural areas*. Waste Management, 2019. 86: p. 97-105 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.034>.
- [10] Pujara, Y., et al., *Review on Indian Municipal Solid Waste Management practices for reduction of environmental impacts to achieve sustainable development goals*. Journal of environmental management, 2019. 248: p. 109238 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.07.009>.
- [11] Tsai, F.M., et al., *A causal municipal solid waste management model for sustainable cities in Vietnam under uncertainty: A comparison*. Resources, Conservation and Recycling, 2020. 154: p. 104599 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104599>.
- [12] Yusuf, A.A., et al., *Municipality solid waste management system for Mukono District, Uganda*. Procedia Manufacturing, 2019. 35: p. 613-622 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.003>.
- [13] Azevedo, B.D., L.F. Scavarda, and R.G.G. Caiado, *Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum*. Journal of cleaner production, 2019. 233: p. 1377-1386 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.162>.
- [14] Rendón, A.F.M., et al., *Valoración de los residuos sólidos de la Comuna Dos de Bello (Antioquia), como sistema alternativo de aprovechamiento*. Cuaderno Activa, 2018. 10: p. 67-86. Recuperado de <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/494>.
- [15] de S. Pereira, T. and G. Fernando, *Evaluation of solid waste management sustainability of a coastal municipality from northeastern Brazil*. Ocean & Coastal Management, 2019. 179: p. 104839 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104839>.
- [16] Yukalang, N., B. Clarke, and K. Ross, *Barriers to Effective Municipal Solid Waste Management in a Rapidly Urbanizing Area in Thailand*. Int J Environ Res Public Health, 2017. 14(9) DOI: 10.3390/ijerph14091013.
- [17] Reyna-Bensusan, N., D.C. Wilson, and S.R. Smith, *Uncontrolled burning of solid waste by households in Mexico is a significant contributor to climate change in the country*. Environmental Research, 2018. 163: p. 280-288 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.042>.
- [18] Cheng, K., et al., *Understanding the emission pattern and source contribution of hazardous air pollutants from open burning of municipal solid waste in China*. Environmental Pollution, 2020. 263: p. 114417 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114417>.

- [19] Wang, Y., et al., *Atmospheric emissions of typical toxic heavy metals from open burning of municipal solid waste in China*. Atmospheric Environment, 2017. 152: p. 6-15 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.12.017>.
- [20] Agrio, G.A.D.d.L., *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. 2015.
- [21] Cantanhede, Á., et al., *Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos*. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica, 2005. 1(1) DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2006.1.1.13553>.
- [22] Jarrín, G. and E. Matute, *Ecuador familia en cifras*. 2016, Loja: Universidaad Técnica Particular de Loja-UTPL.
- [23] Arias-Gutiérrez, R.I., A. Herrera Sorzano, and R. González Sousa, *Poblamiento indígena amazónico y desarrollo local en Pastaza, Ecuador*. Revista Novedades en Población, 2016. 12(23): p. 24-34. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1817-40782016000100003
- [24] Torres, B., et al., *Cambios en las estrategias de ingresos económicos a nivel de hogares rurales en el norte de la Amazonia Ecuatoriana*. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología, 2014. 3(3): p. 221-257. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5225804>.
- [25] Censos, I.N.d.E.y., *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU). Indicadores de Pobreza y Desigualdad, Diciembre 2019*. 2019.
- [26] Vélez, A.G., et al., *Propuesta de sistema de gestión de residuos sólidos domésticos en la comunidad Waorani Gareno de la Amazonia Ecuatoriana*. Revista Ciencia y Tecnología, 2019. 12(2): p. 33-45 DOI: <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i2.324>.
- [27] Taboada-González, P., et al., *Manejo y potencial de recuperación de residuos sólidos en una comunidad rural de México*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 2013. 29: p. 43-48. Recuperado de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/43517>.
- [28] Mezúa, L. and V.M. Domínguez, *Plan de manejo integral de residuos sólidos para la comunidad de Pijibasal, zona de amortiguamiento del Parque Nacional Darién, República de Panamá*. Revista de Iniciación Científica, 2016. 2(2): p. 46-55. Recuperado de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1247>.
- [29] Marañón M, (2015), *Modelo de gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos en la Cabecera Parroquial de Limoncocha*. (Tesis de pregrado de Ingeniería Ambiental) Universidad Internacional SEK. Quito.
- [30] Mora M (2016), *Diagnostico del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos de la Cabecera Parroquial de Limoncocha, Mediante Muestreos Realizados en la Población*. (Tesis de pregrado de Ingeniería Ambiental) Universidad Internacional SEK. Quito.
- [31] Quillos Ruiz, S.A., et al., *Residuos sólidos domiciliarios: Caracterización y estimación energética para la ciudad de Chimbote*. Revista de la Sociedad Química del Perú, 2018. 84(3): p. 322-335. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000300006.
- [32] Bernardes, C. and W.M.R. Günther, *Generation of domestic solid waste in rural areas: case study of remote communities in the Brazilian Amazon*. Human ecology, 2014. 42(4): p. 617-623 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-014-9679-z>.
- [33] Oviedo, J., et al. *Valorización energética de los RSU de la parroquia Limoncocha-reserva biológica ecuador. 2015-2016. VII Simposio de Iberoamericano en Ingeniería de Residuos*. 13-14 de julio de 2017. Santander, España. 745-750.
- [34] Peña, E., et al., *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. La Habana, Cuba. INIFAT, 2002. Recuperado de http://redmujeres.org/wp-content/uploads/2019/01/manual_abonos_agricultura_urbana.pdf
- [35] Hargreaves, J.C., M.S. Adl, and P.R. Warman, *A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2008. 123(1): p. 1-14 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.004>.
- [36] Julca-Otiniano, A., et al., *La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura*. Idesia (Arica), 2006. 24(1): p. 49-61 DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.
- [37] Román, P., M.M. Martínez, and A. Pantoja, *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. 2013, FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/documents/card/es/c/1cea1861-e379-57f9-988e-93be04982954/>.