

Optimización de la recolección de residuos sólidos urbanos en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, Ecuador

Otimização da coleta de resíduos sólidos urbanos no cantão San Lorenzo, província de Esmeraldas, Equador

DOI:10.34115/basrv7n2-020b

Recebimento dos originais: 27/10/2023

Aceitação para publicação: 01/12/2023

Nelson Luis Mecias-Herrera

Máster en Ciencia y Tecnología de los Recursos Hídricos por la Universitat de Girona
Institución: Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Dirección: Ecuador, Quevedo, Av. Quito, km. 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas
Correo electrónico: nmeciash@uteq.edu.ec

Carlos Alberto Nieto-Cañarte

Máster en Ciencias y Sistemas de Información Geográfica por la University of Salzburg
Institución: Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Dirección: Ecuador, Quevedo, Av. Quito, km. 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas
Correo electrónico: cnieto@uteq.edu.ec

Carmen Alexandra Sinchi-Rivas

Máster en Química Orgánica por la Universidad de Valencia
Institución: Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Dirección: Ecuador, Quevedo, Av. Quito, km. 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas
Correo electrónico: csinchi@uteq.edu.ec

Víctor Manuel Guamán-Sarango

Doctor in Agricultural Science por la Swedish University of Agricultural Sciences
Institución: Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Dirección: Ecuador, Quevedo, Av. Quito, km. 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas
Correo electrónico: vguaman@uteq.edu.ec

Angelita Leonor Bosquez-Mestanza

Graduado en Educación por la Universidad Nacional de Educación
Institución: Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Dirección: Ecuador, Quevedo, Av. Quito, km. 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas
Correo electrónico: abosquezm@uteq.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de proponer la optimización de rutas para la recolección de residuos sólidos en el cantón San Lorenzo. En la primera etapa se realizó un diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos urbanos que se generan en el área de estudio, se utilizó un muestreo aleatorio simple de 372 predios, se aplicó el análisis de varianza y la prueba de Tukey con un intervalo de confianza 95%, se identificó que estadísticamente existe variabilidad significativa en cuanto a la producción de residuos orgánicos con un peso representativo de 62.59%, de la misma manera se obtuvo que los residuos ordinarios representan 24.52% y los residuos plásticos

representan el 12.89% obteniendo un promedio de la producción diaria de 0.60 kg/día por habitante. Para el rediseño de las rutas con las condiciones adecuadas y eficientes se empleó el software ArcGIS 10.5 los resultados ayudaran a mejorar el servicio siendo una solución viable que refleje resultados positivos para las actuales y futuras generaciones del cantón.

Palabras clave: optimización, rutas, producción per-cápita, residuos, recolección, gestión de residuos sólidos.

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de propor a otimização de rotas para a coleta de resíduos sólidos no cantão de San Lorenzo. Na primeira etapa, foi feito um diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos urbanos gerados na área de estudo, foi utilizada uma amostragem aleatória simples de 372 propriedades, foi aplicada uma análise de variância e o teste de Tukey com um intervalo de confiança de 95%, Identificou-se que, estatisticamente, há uma variabilidade significativa na produção de resíduos orgânicos com um peso representativo de 62.59%, da mesma forma que se obteve que os resíduos comuns representam 24.52% e os resíduos plásticos representam 12.89%, obtendo-se uma produção média diária de 0,60 kg/dia por pessoa. Para o redesenho das rotas com condições adequadas e eficientes, foi utilizado o software ArcGIS 10.5. Os resultados ajudarão a melhorar o serviço, sendo uma solução viável que reflète resultados positivos para as gerações atuais e futuras do cantão.

Palavras-chave: otimização, rotas, produção per capita, resíduos, coleta, gerenciamento de resíduos sólidos.

1 INTRODUCCIÓN

El manejo de los residuos sólidos constituye a nivel mundial un problema para las grandes ciudades, debido a varios factores que reflejan altos índices de crecimiento demográfico, expansión de la población en las áreas urbanas, los patrones de consumo y sus cambios constantes, el desarrollo de los sectores industriales y empresas de manera descontrolada sin considerar el aumento desmedido en la generación de los residuos, donde nace la necesidad de implementar un sistema de recolección de residuos dentro de las zonas pobladas (Sáez & Urdaneta, 2014).

En lo que concierne a Ecuador, el manejo inadecuado de los residuos sólidos es una de las principales problemáticas que mayor impacto ambiental genera hacia las fuentes naturales, primordialmente en cantones donde no cuentan con un relleno sanitario para su disposición final. Empezando la problemática desde la recolección de los residuos sólidos urbanos (Minga & Zhiminaycela, 2019).

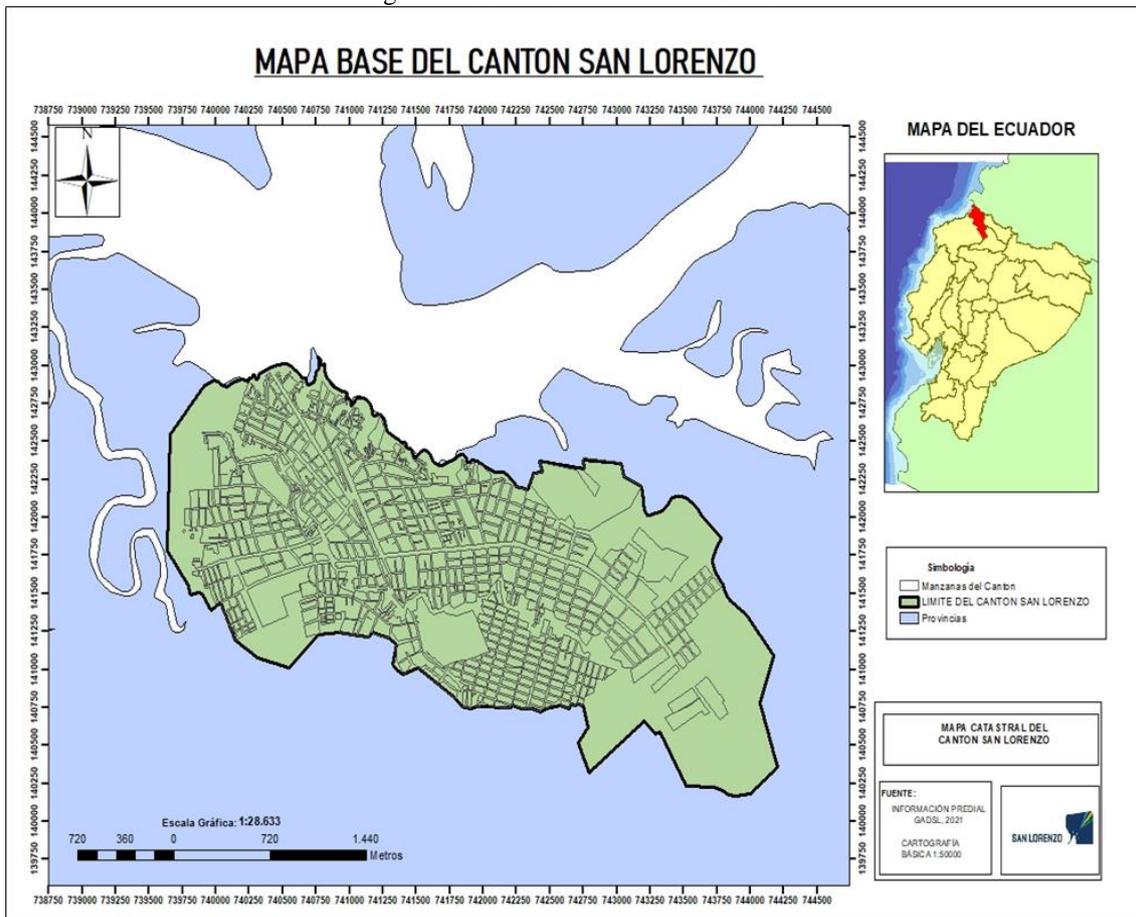
Actualmente en el cantón San Lorenzo el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos está a cargo del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal

(GADM) cuenta con cuatro rutas estratégicas de recolección mismas que se llevan a cabo en jornadas matutinas. Existen ciertos sectores del cantón que no cuentan con el servicio de recolección por el desinterés de las autoridades en ejecutar estrategias direccionadas a la correcta planeación de rutas, difícil acceso a los barrios y poco presupuesto en el sistema de recolección de Residuos Sólidos Urbanos “RSU” (Henrique et al., 2020). Es por ello la necesidad de considerar la implementación de la propuesta de optimización de rutas para la recolección de residuos sólidos buscando mejorar la eficiencia del servicio y de las operaciones siendo importante minimizar costos en las operaciones llegando a abastecer el 100% de la cobertura dentro del cantón (Pereira et al., 2018).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 1 se muestra el área de estudio con divisiones administrativas menores (manzanas), misma que se encuentra localizada en el cantón San Lorenzo del Pailón, Provincia de Esmeraldas, Ecuador.

Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Fuente: Autor

2.1 DIAGNOSTICAR LA GESTIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN EL CANTÓN

Se utilizó la metodología basada en la “Guía Metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM)”, propuesta por el programa nacional para la gestión integral de desechos sólidos (PNGIDS). Misma que se empleó para analizar los indicadores básicos de los residuos como la producción per cápita y caracterización de los residuos.

2.2 CARACTERIZAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN EL CANTÓN

Para determinar el tamaño de la muestra se tomaron datos de la población urbana del cantón San Lorenzo. La información se obtuvo del último censo del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) del 2010 existe una población de 42486 habitantes y 11586 viviendas en la zona del casco urbano. Para el diagnóstico, se caracterizaron 372 predios en función del tamaño muestral (ver Ecuación 1).

Ecuación 1. Tamaño de la muestra

$$n = \frac{N Z^2 pq}{e^2 (N - 1) + Z^2 pq}$$

Donde:

el Tamaño de la muestra (n), necesita los siguientes datos: Tamaño de la población (N), Nivel de confianza (Z), Error máximo estadístico o muestral (e) “5%”, Probabilidad de que ocurra el evento (p) “50%”, Probabilidad de que no ocurra el evento (q) “50%”.

2.3 PROPONER UNA RUTA EFICIENTE PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL CANTÓN

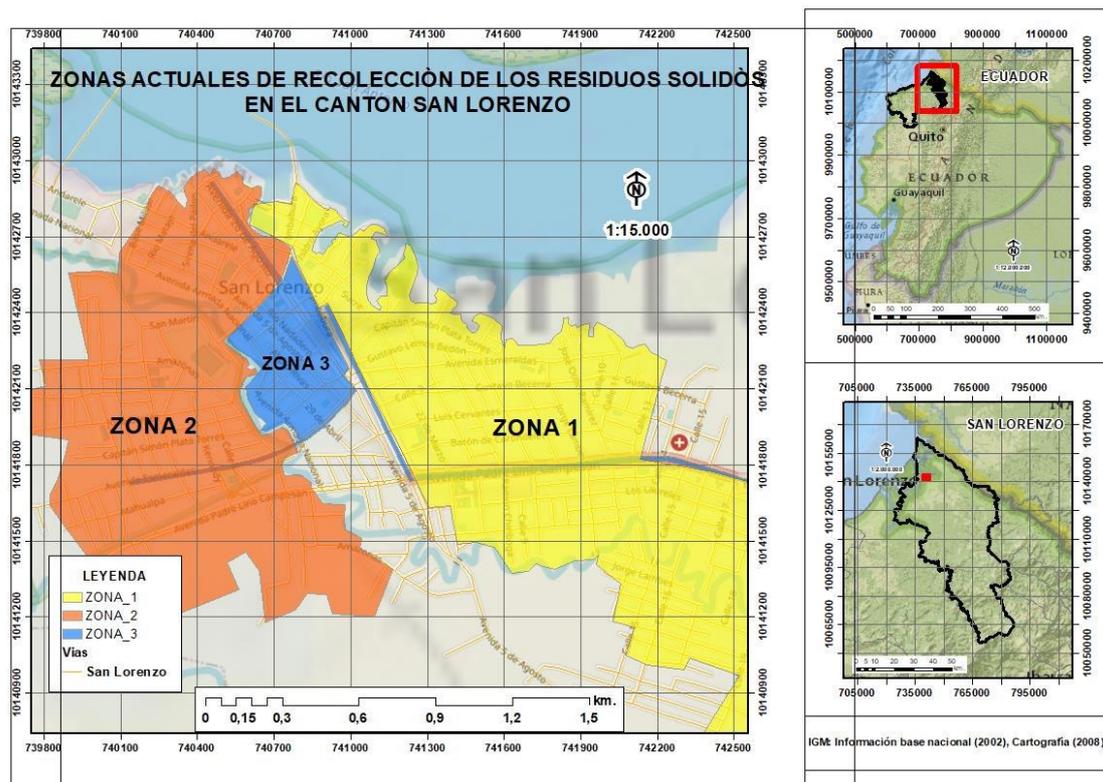
Con los datos obtenidos se presenta la propuesta basada en un nuevo diseño de rutas de recolección de residuos sólidos con la finalidad de crear la ruta optimizada usando el programa de ArcGIS. Se utilizó la herramienta Network Analyst para establecer la ruta de recolección de residuos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN EL CANTÓN

El sistema actual tiene a su disposición 12 trabajadores y 4 camiones que realizan las actividades de recolección, todos los días de la semana bajo el horario que comprende de 08:00 a 14:00, destinándose únicamente los miércoles para la recolección de los residuos hospitalarios, con un tiempo de duración de 30 minutos a 1 hora por barrio según la cantidad de residuos existentes. En el cantón se recolectan 35 toneladas diarias de residuos sólidos en el cual se refleja el 75% de eficiencia en la recolección dentro del área de estudio mientras que en la zona rural existe un promedio de residuos recogidos de 7 toneladas diarias. Con la información recopilada se elaboró el mapa de zonas de recolección de residuos sólidos del cantón San Lorenzo, identificándose así las zonas excluidas de recolección de los residuos sólidos, como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2. Mapa de zonas de recolección actual en el cantón San Lorenzo



Fuente: Autor

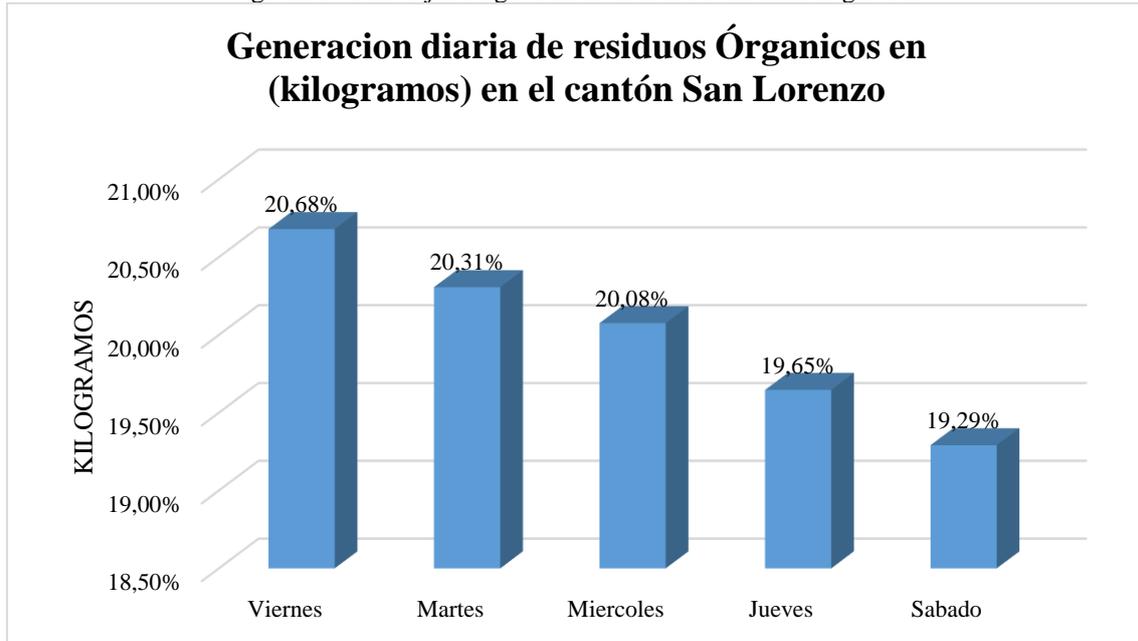
Los resultados obtenidos a través del presente estudio son comparables con otros estudios realizados donde de acuerdo al diagnóstico es notoria la necesidad de optimizar el sistema de recolección, además FAZENDA; TAVARES-RUSSO, 2016 reconocen la

necesidad de garantizar la concientización de la población para beneficiar la correcta gestión de residuos. Esa sensibilización deberá combatir las asimetrías de la información entre las clases sociales y regiones del país, así como eliminar tradiciones y hábitos culturales que no conducen a una correcta gestión de los residuos. El servicio de recolección en el cantón es deficiente por falta de planificaciones de las autoridades según Revelo (2019) el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y otras instituciones, indican que en nuestro país el servicio de recolección de residuos sólidos posee una cobertura nacional del 84.2% en las áreas urbanas y mientras que para el área rural se encuentra el 54.1%. En la actualidad la producción de residuos en el Ecuador es de 5.8 millones de toneladas métricas al año y 12 897.98 Ton/día, presentando una generación per cápita de 0.58 kg/hab/día; solo el 28% de los residuos son dispuestos en rellenos sanitarios y el 72% de los residuos restantes son colocados en botaderos a cielo abierto.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN EL CANTÓN

El tamaño de la muestra donde se realizó el pesaje de los residuos sólidos, se distribuyó en 372 viviendas, misma que se consideró el sector comercio /hogar. De acuerdo a la “Guía Metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM)”, se recomienda descartar el primer día de muestreo debido a que en la mayoría de viviendas seleccionados no brindan muestras representativas de generación de residuos sólidos ya sea por confusiones o equivocaciones en la colocación de los residuos. En la figura 3 se muestran los pesos diarios de recolección de los residuos orgánicos teniendo la mayor generación el día 5 (viernes) con una producción per-cápita de 0.39 kg/hab/día y el día 6 (sábado) el de menor producción con un valor de 0.36 kg/hab/día. Teniendo un promedio de generación diario de 3028.05 kg.

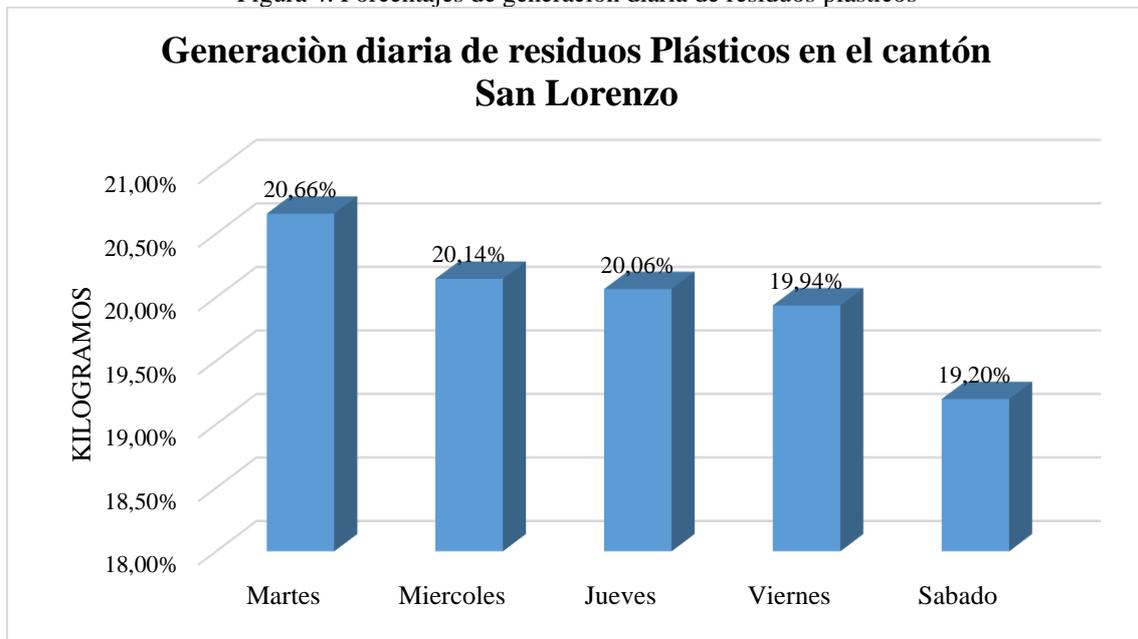
Figura 3. Porcentajes de generación diaria de residuos Orgánicos



Fuente: Autor

A continuación, en la Figura 4. se muestran los pesos de residuos plásticos teniendo el mayor promedio de generación de residuos el día 2 (martes) con una producción per-cápita de 0.08 kg/hab/día y el día 6 (sábado) de menor producción con un valor de 0.07 kg/hab/día. Teniendo un promedio de generación diario de 623.50 kg.

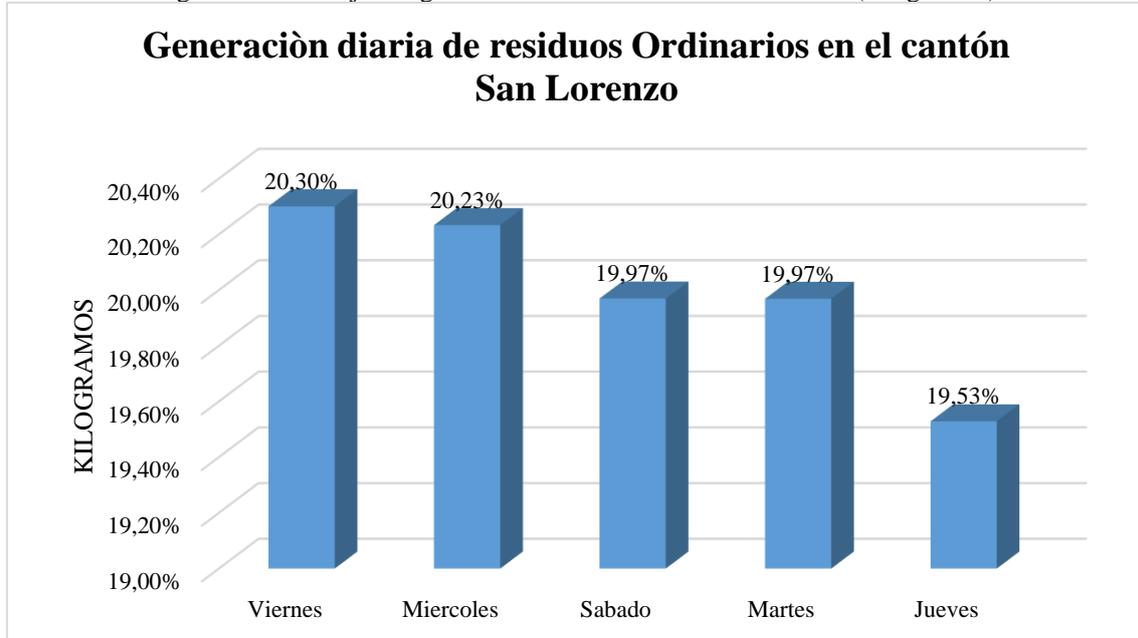
Figura 4. Porcentajes de generación diaria de residuos plásticos



Fuente: Autor

Conforme a la Figura 5. se muestran los pesos de los residuos ordinarios (inorgánicos) teniendo el mayor promedio de generación de residuos el día 5 (viernes) con una producción per-cápita de 0.15 kg/hab/día y el día 4 (jueves) de menor producción con un valor de 0.14 kg/hab/día. Dando un promedio de generación diario 1186.42 kg.

Figura 5. Porcentajes de generación diaria de residuos ordinarios (inorgánicos)



Fuente: Autor

Como se muestra a continuación en la Tabla 1, a través de los datos obtenidos aplicando el análisis de varianza y la prueba de Tukey con un intervalo de confianza 95%, se identificó que estadísticamente existe variabilidad significativa entre los pesos de los tipos de residuos generados, ya que existe una producción de residuos orgánicos con un peso representativo de 62.59%, de la misma manera se obtuvo que los residuos plásticos representan un porcentaje de 12.89% obteniendo un promedio de 0.60 kg/hab/día.

Tabla 1. Resumen de la producción de residuos sólidos en el cantón

Muestreo	Total de muestra	Peso de residuos		Clasificación
Orgánico	1860.00	0.38 kg/hab/día	62.59%	a
Ordinario	1860.00	0.15 kg/hab/día	24.52%	b
Plástico	1860.00	0.08 kg/hab/día	12.89%	c
Σ		0.60 kg/hab/día	100.00%	Significativo

Fuente: Autor

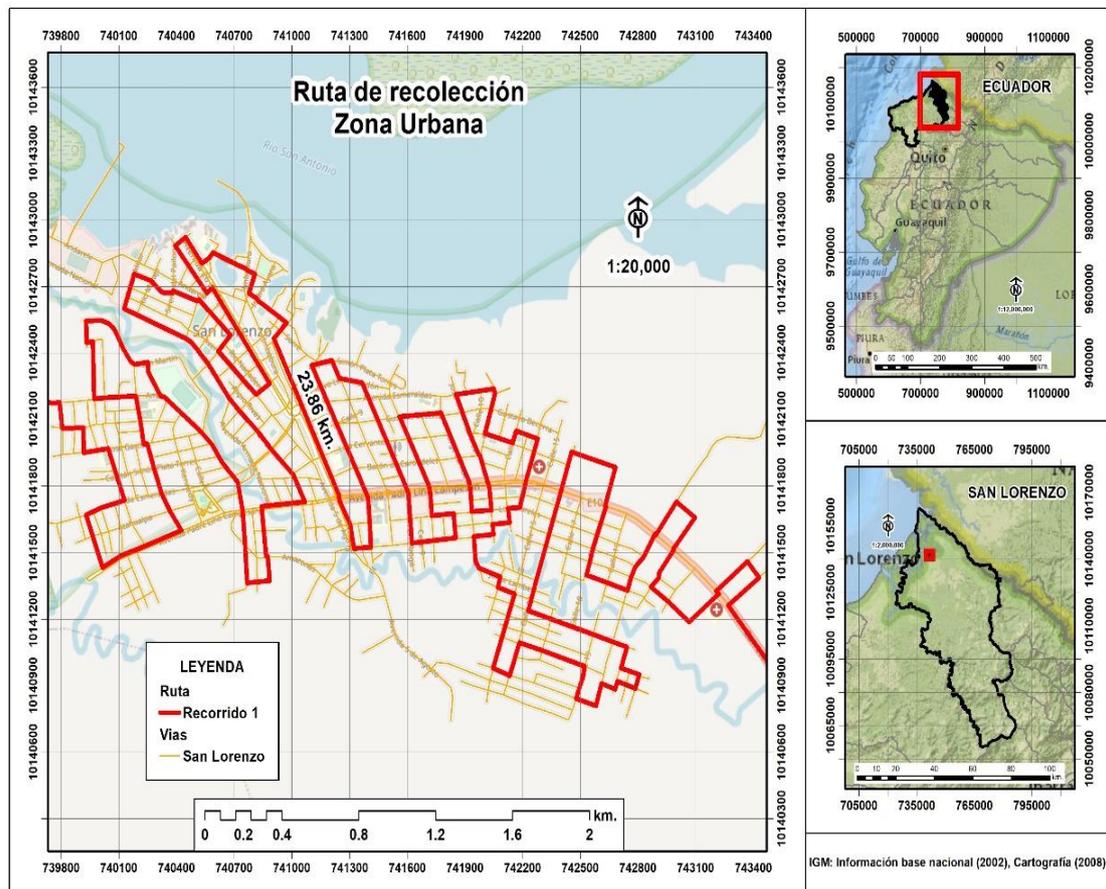
La tasa de producción per-cápita de generación general representando el 0.60 kg de residuos sólidos que produce un habitante por día en el cantón San Lorenzo contrasta con el 0.58 kilogramos de residuos sólidos reportados por el Instituto Nacional de

Estadística y Censos (INEC) según la Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, correspondiente al año 2016 valor que crece anualmente 0.05.

3.3 PROPUESTA DE UNA RUTA EFICIENTE PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL CANTÓN

En la Figura 6 se presenta el mapa que propone una ruta eficiente para la recolección de los residuos sólidos urbanos del cantón. La distancia total recorrida es de 23.86 km considerando menos tiempo en la recolección de residuos sólidos, además se amplía la cobertura.

Figura 6. Mapa de la ruta propuesta para la recolección de residuos del cantón



Fuente: Autor

Además, se estima que se requieren colocar contenedores (de preferencia clasificadores), a una distanciado a 200 metros, en puntos estratégicos en cada uno de los sectores donde serán necesario aproximadamente 120 contenedores conforme se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Distancia y número de contenedores clasificadores

Recorridos Por zonas	Cantidad de contenedores	Tiempo de recolección por contenedor (min)	Velocidad promedio del recolector de residuos sólidos (km/h)	Distancia total por contenedor (m)
Zona 1	75	10	30	20
Zona 2	95	10	30	
Zona 3	30	7	20	

Fuente: Autor

En la tabla 3 se presenta el horario para la recolección y recorrido de la misma manera se detalla la frecuencia que deben circular dentro de la semana en la zona urbana del cantón.

Tabla 3. Zonas, horarios y frecuencia de recolección propuestos

Recorridos	Frecuencia	Días de recolección						
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Zona 1	3/7	7:00		7:00		7:00		Destinado para la recolección de los desechos hospitalarios
		15:00		15:00		15:00		
Zona 2	3/7		07:00		07:00		07:00	
			16:00		16:00		16:00	
Zona 3	3/7	7:00		7:00		7:00		
		15:00		15:00		15:00		

Fuente: Autor

Para este análisis se propone un escenario en que el municipio implemente un sistema de gestión de Residuos Sólidos Urbanos con separación en origen en dos fracciones: una orgánica destinada al compostaje y otra inorgánica que sería procesada en una instalación de recuperación de materiales tales como plásticos, papel y cartón, metales ferrosos, metales no ferrosos, envases multicapa y vidrio, conforme a lo recomendado por Saldaña et al. (2013) en su investigación.

Tomando en cuenta la recomendación de Ponte de Chacín, 2008 es necesario que las rutas sean óptimas dentro del cantón para una correcta gestión del proceso de recogida, corrigiendo el manejo deficiente en la gestión de los residuos sólidos desde la fuente generadora, hasta la disposición final de la misma, de esta manera, se logrará facilitar el control del movimiento y adecuado uso de los vehículos que recolectan y desplazan los residuos sólidos urbanos, se contribuirá a disminuir los gastos operativos, se ahorrará en la contratación del personal operativo innecesario o déficit del mismo, permitiendo hacer más sencilla la labor del gestor, así como también mejorar la calidad ambiental.

4 CONCLUSIONES

Al finalizar la presente investigación, se han podido determinar las siguientes conclusiones:

- Con el sistema actual de rutas en el cantón se recolectan 35 toneladas diarias de residuos sólidos en el cual se refleja el 75% de eficiencia en la recolección dentro del área de estudio mientras que en la zona rural existe un promedio de residuos recogidos de 7 toneladas diarias.
- El promedio de la producción per-cápita de los residuos sólidos urbanos en el cantón San Lorenzo es de 0.60 kg/hab/día, valor acorde a lo estipulado por el INEC que indica que la producción per-cápita de los residuos sólidos a nivel urbano correspondiente al año 2016 es de 0.58 kg/hab/día y según las Estadísticas de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, este valor que crece anualmente 0.05.
- El rediseño de las rutas de recolección en el área de estudio se realizó en base a un diagnóstico completo de la situación actual en el cantón, a partir del cual se pudo generar y levantar información necesaria para la actualización de la red vial y posteriormente generar las rutas óptimas de recolección de desechos sólidos usando la extensión de Network Analyst del software ArcGIS.

REFERENCIAS

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS (INEC). Compendio Estadístico 2016. **Estadística de Información Ambiental**, Ecuador, 2016. 270 p.

FAZENDA, Augusto; TAVARES-RUSSO, Mário. Caracterización de residuos sólidos urbanos en Sumbe: herramienta para gestión de residuos. **Ciencias Holguín- Redalyc**, Holguín - Cuba, v.22, n.4, p1-15, 2016.

HENRIQUE PINTO, W. L.; DE MORAES, C. S. B.; CAPPAROL, D. C. A.; DE OLIVEIRA, J. C.; ANSANELLI, S. L. de M.; DOLPHINE, L. M. Gestão municipal de resíduos sólidos e proposta de indicadores de sustentabilidade. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 70-111, 2020. <https://doi.org/10.34115/basrv4n1-006>

MINGA Marcos; ZHIMINAYCELA Yudiman. Optimización de las rutas de recolección de los residuos sólidos urbanos del centro cantonal Sígsig. Tese (Engenheiro ambiental)- Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. 2019.

PEREIRA JÚNIOR, A.; SILVA, E. F. DE S.; BANDEIRA, R. P. Proposta para o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nas etapas de corte e plainagem do setor moveleiro que utiliza mdf no município de Marabá - Pa. **Brazilian Applied Science Review**, [S. L.], V. 2, N. 3, P. 807-838. 2018. <https://doi.org/10.34115/basr.v2i3.458>

PONTE DE CHACÍN, Carmen. Manejo integrado de residuos sólidos: Programa de reciclaje. Instituto Pedagógico de Caracas. **Revista de investigación- Redalyc**, Caracas-Venezuela, n. 63, p. 173-200, 2008.

REVELO, Andres. Propuesta de un plan de manejo integral de residuos sólidos Tese (Engenheiro ambiental) - Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2019.

SÁEZ, Alejandrina; URDANETA, Joheni. Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. **Redalyc**, Maracaibo-Venezuela, v.20, n.3, p121-135, 2014.

SALDAÑA, Claudia; et. al. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y EL VALOR AGREGADO DE LOS MATERIALES RECUPERABLES EN EL VERTEDERO EL IZTETE, DE TEPIC-NAYARIT, MÉXICO. Revista Internacional de Contaminación Ambiental-Redalyc, Distrito Federal, México, v.29, n.3, p25-32, 2013.