

Optimización de rutas mediante Sistemas de Información Geográfica para recolección de residuos en la ciudad de Cúcuta, Colombia

Route optimization using Geographic Information Systems for waste collection in the city of Cúcuta, Colombia

Maryorie Angelica Avendaño Sánchez^a, Zaydeé Jahel González García^b, María Guadalupe de Lourdes Acosta Castillo^c

Abstract:

The main objective of this project is to enhance the efficiency of collection operations by reducing travel times and transportation costs for the Association of Entrepreneurial Recyclers of Norte de Santander (ARENORTE), while maximizing service coverage in waste collection routes in the city of Cúcuta. As part of the research work, various geographic and operational factors were analysed to determine the optimal collection routes. The outcome presents route designs applying a Geographic Information System (GIS) that allows the optimization of waste collection operations, improving efficiency and reducing operational costs, thereby contributing to sustainable waste management.

Keywords:

Route design, GIS (Geographic Information System), waste.

Resumen:

El objetivo principal de este proyecto consiste en mejorar la eficiencia de las operaciones de recolección al reducir los tiempos de recorrido y los costos de transporte para la Asociación de Recicladores Emprendedores de Norte de Santander (ARENORTE), maximizando la cobertura de servicio en las rutas de recolección de residuos en la ciudad de Cúcuta. Como parte del trabajo de investigación, se analizaron diversos factores geográficos y operativos para determinar las mejores rutas de recolección. El resultado final presenta el diseño de rutas utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite optimizar las operaciones de recolección de residuos, mejorando su eficiencia y reduciendo sus costos de operación, contribuyendo así a una gestión sostenible de los desechos.

Palabras Clave:

Diseño de rutas, SIG (Sistema de Información Geográfica), residuos.

Introducción

En los últimos años, el desarrollo y el crecimiento que ha tenido la población ha traído consecuencias en el mundo, específicamente en el medio ambiente debido a los procesos de industrialización, ya que estos han generado

un mayor desperdicio de residuos sólidos haciendo que la logística para la recolección de basura sea más compleja. De acuerdo con Carpio [1] la generación de residuos sólidos se estima que en el mundo es de 27.300 toneladas de basura y al año 10'037.500 toneladas, en donde cada persona produce en promedio 1 kilo de basura diario,

a, Universidad de Santander, <https://orcid.org/0000-0002-9972-9752> Email: ma.avendano@mail.udesa.edu.co

b Universidad de Santander, <https://orcid.org/0000-0002-5969-855X> Email: zay.gonzalez@mail.udesa.edu.co

c Autor de Correspondencia, TecNM / ITS de Guanajuato, <https://orcid.org/0000-0003-4456-8362>, Email: macosta@itesg.edu.mx

aunque este problema siempre ha existido en la actualidad se ha convertido en un aspecto crítico, debido a que la recolección y el transporte son las actividades más costosas del servicio de aseo urbano, en la mayoría de los casos representa entre el 80% y 90% del costo total del servicio.

La Asociación de Recicladores Emprendedores de Norte de Santander (ARENORTE) es una empresa de servicios que busca generar una cultura de sensibilización al conocimiento y aprovechamiento de reciclaje, manejan residuos como, papel, plástico, cartón, envases PET polietileno. Sus actividades de producción intervienen en subprocesos de: recolección, transporte, clasificación, transporte y comercialización, de residuos aprovechables, empleando a su vez, métodos de capacitación y asesoramiento para la gestión de residuos sólidos.

Teniendo en cuenta que una de las actividades principales de ARENORTE es el transporte de la recolección de residuos sólidos, se busca conocer la situación actual que permita dar como resultado cual es la planeación de rutas que manejan y a su vez comprender los fallos en su logística de transporte, teniendo en cuenta el límite de vehículos que utilizan para desplazarse. Actualmente la empresa tiene como objetivo ser una empresa portadora de servicios públicos domiciliarios a lo cual por normativa gubernamental se debe tomar en cuenta, para así, tener localizada a través del software GIS la geolocalización de los clientes y herramientas que permitan agilizar la información en el desarrollo de las rutas de recolección.

Bases teóricas

La gestión de residuos sólidos comprende todas las actividades relacionadas con la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos. Esta gestión busca minimizar el impacto negativo de los residuos en la salud pública y el medio ambiente, promoviendo la reducción, reutilización, reciclaje y correcta disposición de los residuos. Incluye la implementación de políticas, regulaciones, infraestructuras y prácticas adecuadas para garantizar una gestión eficiente y sostenible de los residuos sólidos [2].

En Colombia, la gestión adecuada de los residuos sólidos es un aspecto fundamental para la protección del medio ambiente y la salud pública. En este sentido, diversas leyes, normativas y resoluciones han sido establecidas con el objetivo de regular y promover un manejo eficiente y responsable de los residuos sólidos. La Ley 1259 del año 2008, establece disposiciones para la gestión integral de los residuos sólidos. Esta ley establece que es responsabilidad del Estado, los municipios y los

ciudadanos garantizar una gestión adecuada de los residuos sólidos, promoviendo la minimización, la reutilización, el reciclaje y la disposición final ambientalmente adecuada [3].

Por otra parte, la industria del reciclaje se ha fortalecido en las últimas décadas, como consecuencia de las crecientes necesidades de protección al medio ambiente, las que exigen un cuidado permanente en el uso racional de los recursos naturales y frenando por ende la carga que sobre estos pesaba como generadores de materias primas [4]. Adicionalmente, la búsqueda de un modelo más amigable con el medio ambiente ha permitido además del reciclaje, la reutilización, recuperación, rediseño y reparación para la consolidación y crecimiento de esta industria del reciclaje.

La actividad del reciclaje en Colombia, no se aleja de la realidad que vive el mundo, la urbanización del país en las últimas décadas ha contribuido de manera acelerada a la generación de residuos diversos por la concentración de una importante parte de la población desplazada desde el campo a las principales ciudades. Con el aumento en la generación de más y nuevos residuos, la problemática en el deterioro del medio ambiente ha crecido exponencialmente en tierra, aire y aguas, también la presión sobre los recursos naturales en las últimas décadas ha sido mayor, poniendo en peligro la sostenibilidad de las materias primas que soportan la actividad industrial. En medio de este panorama, el reciclaje se ha presentado como una nueva actividad económica y tal vez la única para la supervivencia de un número importante de colombianos que derivan su sustento diario del aprovechamiento de los desechos; es importante resaltar que desde la constitución de 1991 en Colombia se ha definido una política de gestión de los residuos que queda plasmada en las leyes: 99 de 1993 y 142 de 1994 [5].

El adecuado manejo de los residuos sólidos es un problema crítico en muchas ciudades del mundo [6]. La gestión inadecuada de estos residuos puede generar impactos negativos en el medio ambiente, la salud pública y la calidad de vida de las personas [7]. Una gestión adecuada incluye la recolección oportuna y eficiente de los residuos sólidos [8]. La recolección de residuos sólidos es una actividad fundamental para garantizar la salud pública y el bienestar social [9]. Una recolección eficiente implica la planificación de rutas de recolección optimizadas, teniendo en cuenta la densidad poblacional, la ubicación de los puntos de generación de residuos, el tipo de residuos y las restricciones de tráfico [10].

En este sentido, un Sistema de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés) es una herramienta muy útil

para la planificación de rutas de recolección de residuos sólidos. Este tipo de software permite la visualización de datos espaciales y su análisis para la toma de decisiones. El uso de un software GIS puede facilitar la identificación de los puntos de generación de residuos, el diseño de rutas eficientes y la optimización de los recursos disponibles.

Metodología

El Proyecto fue desarrollado en 5 fases (Figura 1), iniciando la Fase 1 con la identificación de la población en un análisis de la asociación de recicladores emprendedores de Norte de Santander, considerando sus características, ubicación geográfica y necesidades específicas, así como solicitando la georreferencia de cada cliente. Para la Fase 2 se determinó la ubicación de los puntos de recolección utilizando la herramienta geomática Google Earth. Este paso permitió visualizar de manera intuitiva y precisa la distribución geográfica de los clientes de la asociación de recicladores emprendedores de Norte de Santander.

Utilizando los datos geospaciales de los puntos de recolección ubicados en la fase anterior, en la Fase 3 se empleó el software QGIS para diseñar las rutas de recolección. Esto implicó utilizar herramientas y técnicas de análisis espacial para determinar las mejores conexiones entre los puntos y optimizar los trayectos de recolección.

Por último en la Fase 4 del proyecto se llevó a cabo la presentación del diseño de las rutas ante ARENORTE, donde se mostraron los mapas y trayectos propuestos, así como los criterios utilizados para la optimización de las rutas, como la eficiencia, la cobertura geográfica y los tiempos de desplazamiento.



Figura 1. Fases del Proyecto.
Fuente: elaboración propia.

Resultados

Fase 1. A pesar de la amplia gama de clientes que ARENORTE maneja, se optó por utilizar una muestra no probabilística intencionada en el estudio. Esta elección se basa en la necesidad de seleccionar participantes que sean representativos y relevantes dentro de la población de clientes atendidos por ARENORTE. Esto debido a que ARENORTE por cuestión de políticas de privacidad no permite crear el diseño de rutas con toda la población de su cliente por lo cual, fue seleccionada una muestra no probabilística intencionada de 15 personas.

Estos participantes se consideran clave para comprender y analizar en profundidad los aspectos relacionados con la gestión de residuos y la implementación de estrategias de recolección de materiales reciclables.

Fase 2. En esta Fase se utilizó la información de ubicación disponible para establecer trayectos eficientes y considerar la distribución geográfica de los clientes dentro de las comunas (Figura 2). Esto permitió una cobertura adecuada y una asignación óptima de recursos en la maximización de la eficiencia de la recolección.

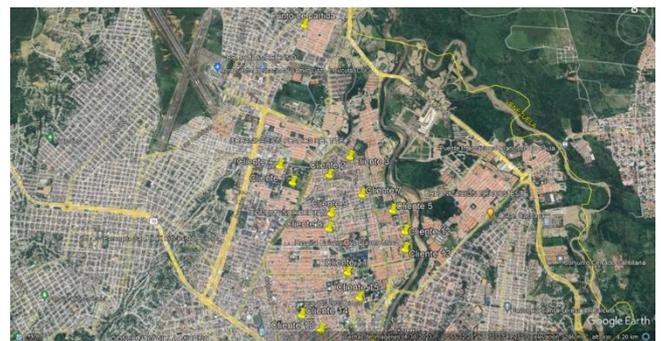


Figura 2. Ubicación Geográfica de los clientes participantes.
Fuente: Google Earth

Fase 3. Una vez completada la ubicación en Google Earth de los clientes participantes, se realizó la transformación de cada punto en un formato de archivo geoespacial utilizado en el software QGIS.

Los archivos generados permitieron agregar y trabajar con los datos de ubicación de cada cliente en el entorno del software QGIS. Esto brindó la posibilidad de realizar análisis más avanzados, como la creación de rutas eficientes, la optimización de trayectos y la planificación de la recolección de materiales reciclables.

Este proceso de transferencia de ubicaciones desde Google Earth a los archivos en QGIS aseguró una integración efectiva de los datos geospaciales en el flujo de trabajo del proyecto. Al utilizar estas herramientas, se logró una visualización precisa y una manipulación más detallada de la información geográfica de los clientes.

Teniendo en cuenta la configuración del tipo de vehículo, el lugar de salida, el lugar de llegada y los puntos a intervenir, QGIS utiliza algoritmos y técnicas de optimización para determinar las rutas más eficientes en términos de distancia, tiempo y capacidad de carga del vehículo. Con esta información cargada en los parámetros del software, se procedió a diseñar las rutas de recolección tomando como punto de partida la ubicación de la empresa (Figura 3).

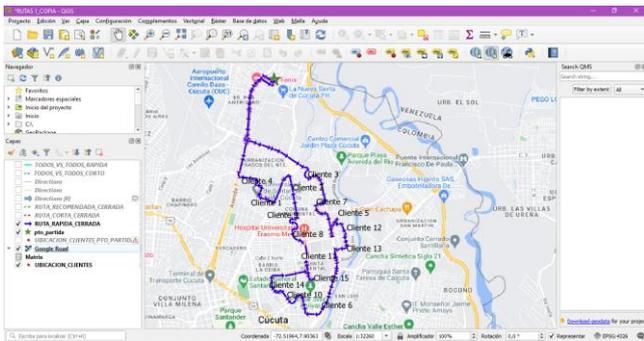


Figura 3. Ruta diseñada.
Fuente: Software QGIS

Utilizando la función de ruta rápida (Figura 4), se puede observar cómo el software genera una ruta teniendo en cuenta las ubicaciones más centrales y lejanas de los clientes. Esto se logra a través del análisis y la evaluación de los datos de ubicación proporcionados.

Tomando en cuenta la opción de atributos del programa, se puede verificar que la ruta generada tiene una longitud total de 17.91 kilómetros. Esto significa que recorrer toda la ruta tomaría aproximadamente 35 minutos, teniendo en cuenta la velocidad promedio estimada.

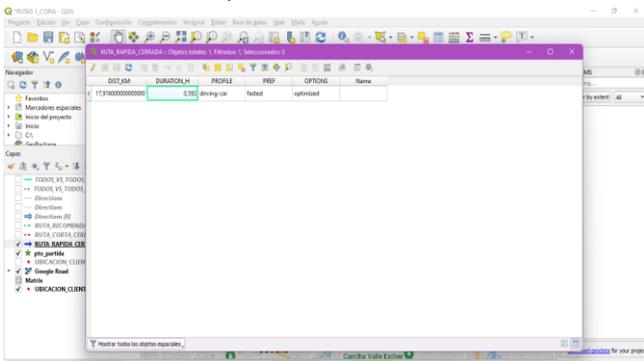


Figura 4. Ruta rápida.
Fuente: Software QGIS

Por otra parte, si se utiliza la función de ruta corta (Figura 5), se puede observar que no hay diferencias con la ruta rápida, esto puede deberse a que el software QGIS utiliza algoritmos y funciones de enrutamiento para calcular rutas óptimas, ya sea en términos de distancia más corta o tiempo de recorrido más rápido. Si la ruta rápida y corta

en QGIS son similares, es probablemente porque los datos de entrada y los parámetros configurados fueron adecuados para obtener el resultado deseado, de igual manera los datos de kilómetros totales y en tiempo son iguales.

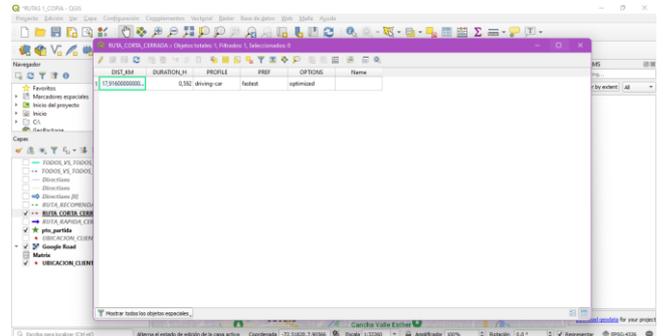


Figura 5. Ruta corta.
Fuente: Software QGIS

Teniendo en cuenta las rutas previamente diseñadas, se procedió a realizar un análisis de rutas alternativas considerando los posibles inconvenientes durante las entregas. Este análisis tuvo en cuenta escenarios en los que fuera necesario dirigirse directamente al cliente y luego regresar al punto de partida en la empresa.

En este análisis, se evaluaron diferentes factores que podrían afectar la eficiencia de la ruta, como la disponibilidad del cliente para la entrega en el momento programado, la necesidad de realizar ajustes en la recolección o resolver problemas relacionados con la carga de materiales reciclables.

En este tipo de rutas, se podría requerir una mayor flexibilidad y adaptabilidad para atender las demandas cambiantes de los clientes. Esto implica considerar aspectos como la comunicación en tiempo real con los clientes para coordinar la recolección, la capacidad de hacer cambios en la ruta sobre la marcha y la planificación de tiempos de espera adicionales en caso de retrasos o problemas imprevistos. Tomando esto en consideración, se han generado diferentes opciones, incluyendo las rutas rápidas y cortas, en conjunto con nuevas rutas llamadas "Todos VS Todos". Las rutas rápidas y cortas son trayectos cerrados que parten desde el punto de salida en la bodega de ARENORTE y continúan pasando de cliente en cliente. Por otro lado, las rutas "Todos VS Todos" implican un recorrido de ida y vuelta, es decir, desde ARENORTE hasta la ubicación del cliente y de regreso (Figura 6).

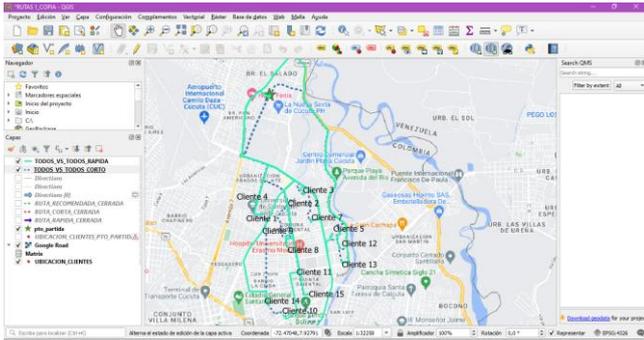


Figura 6. Rutas diseñadas.
Fuente: Software QGIS

Al comparar estas opciones de rutas, se observa una diferencia significativa en el tiempo de desplazamiento, sin tener en cuenta el tiempo necesario para la recolección de residuos en cada parada. Las rutas rápidas y cortas, al ser circuitos cerrados, tienden a ser más eficientes en términos de tiempo de viaje. Por otro lado, las rutas "Todos VS Todos" pueden requerir un mayor tiempo debido al trayecto de ida y vuelta a cada ubicación (Tabla 1).

Tabla 1. Distancia y Tiempo de cada ruta.

Rutas	Distancia KM	Tiempo en (min) Sin tener en cuenta el tiempo que se tarden en recolectar los residuos
Ruta Rápida Cerrada	17,916	35
Ruta Corta Cerrada	27,370	50
Todos VS Todos Rápido	51.768	109
Todos VS Todos Corto	64,356	151

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis realizado, se ha obtenido el total de kilómetros que se recorrerían en cada ruta, así como el tiempo estimado para completar el recorrido.

En cuanto a los kilómetros recorridos, se ha recalculado que la ruta corta abarcaría un total de 27 kilómetros, mientras que la ruta rápida cubriría 17 kilómetros. Esta diferencia en distancia puede tener implicaciones en términos de costos de combustible y desgaste de los vehículos utilizados en la recolección.

En cuanto al tiempo gastado, se ha estimado que la ruta corta tomaría aproximadamente 50 minutos para completarse, mientras que la ruta rápida requeriría un tiempo estimado de 35 minutos. Es importante destacar

que estos tiempos son aproximados y pueden variar según las condiciones del tráfico y otros factores externos. Fase 4. Esta última fase consistió en presentar el diseño de rutas creado ante el personal administrativo de ARENORTE, con el propósito de fomentar un diálogo constructivo y obtener su valiosa retroalimentación. Para llevar a cabo este proceso, se organizó una reunión con los representantes clave de ARENORTE, el representante legal, quien es el líder de la organización, y la coordinadora empresarial, la asistente administrativa encargada del área de logística.

Durante la reunión, se presentó el diseño de rutas creado, destacando los elementos clave, como la viabilidad de las rutas rápidas y cortas, las consideraciones logísticas y operativas, y los beneficios esperados. Se explicaron detalladamente los criterios utilizados en el diseño y se mostraron visualmente las rutas en el software QGIS.

Se abrió un espacio para fomentar un diálogo constructivo, donde la coordinadora de la empresa pudo expresar su retroalimentación, plantear preguntas y compartir las opiniones del equipo de ARENORTE en relación con el diseño de rutas presentado. Se escucharon atentamente sus comentarios, se tomaron notas y se aseguró que se comprendieran todas las perspectivas y preocupaciones planteadas.

La participación de la coordinadora empresarial en representación del representante legal y del equipo administrativo de ARENORTE, fue fundamental para garantizar una discusión productiva y un diálogo abierto en la reunión. Esto permitirá que el diseño de rutas se ajuste de manera óptima a las necesidades de la empresa y se logre una implementación exitosa.

Discusión

Es importante mencionar que además de la diferencia en distancia, la eficiencia de las rutas también puede variar según el conocimiento y la experiencia del trabajador encargado de la recolección. Si el trabajador está familiarizado con las vías de Cúcuta, es probable que pueda realizar la recolección de manera más rápida y eficiente. Sin embargo, en el caso de un trabajador que no esté familiarizado con las vías, el tiempo requerido para completar las tareas de recolección puede extenderse a lo largo de toda la jornada laboral. Aunque la ruta rápida puede parecer más conveniente debido a su menor tiempo de recorrido, es importante considerar otras variables, como el consumo de recursos y la eficiencia general de la recolección. En este caso, la ruta corta parece ser óptima ya que permite minimizar el kilometraje recorrido sin comprometer la cobertura y la eficiencia en la recolección, ya con una guía visual en el software esta puede ser de gran ayuda para los empleados.

Conclusiones

A pesar de las limitaciones en la obtención de información georreferenciada de los clientes, se encontraron soluciones alternativas para diseñar rutas eficientes como lo es el manejar una población más pequeña pero dispersa, estableciendo trayectos optimizados que consideran la distribución geográfica de los clientes dentro de las comunas. Esto contribuirá a una cobertura adecuada y a la asignación óptima de recursos en la recolección de materiales reciclables.

El diseño de rutas cortas y largas en el software QGIS brinda beneficios significativos para el análisis visual y la organización eficiente de la recolección de materiales reciclables. El software utiliza algoritmos y recursos para generar rutas óptimas, pero también permite configuraciones personalizadas según las necesidades específicas que pueda tener ARENORTE, es decir, este puede crear una capa de datos para representar y visualizar los diferentes puntos de residuos sólidos y categorizarlos. Al comparar las rutas corta y larga generadas, se evidencia una diferencia en la distancia total recorrida.

El diseño de rutas eficientes y ordenadas ha permitido optimizar los procesos de recolección de materiales reciclables, mejorando la gestión logística y garantizando un servicio al cliente más satisfactorio. El uso de la herramienta ha demostrado su capacidad para abordar los desafíos de la población pequeña y ha generado expectativas positivas para su implementación en la población más amplia que atiende ARENORTE.

Referencias

- [1] Carpio Padilla, M. S. Plan de manejo de los residuos sólidos en el cantón Sevilla de Oro de la Provincia el Azuay: "Una propuesta de gestión integral". 2009. (Tesis de licenciatura). [En línea] Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/700>
- [2] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., y Van Woerden, F. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications. 2018. [En línea] Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/92a50475-3878-5984-829e-0a09a6a9badc/content>
- [3] Función Pública. Función Pública. Obtenido de Función pública. (19 de diciembre de 2008). [En línea] Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34388>.
- [4] Reid, A., y Miedzinski, M. Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. European Commission, COM (2014) 398 final. Brussels, 2.7. 2014. [En línea] Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1&format=PDF
- [5] Noguera, K. M., y Olivero, J. T. Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. 2010. [En línea] Disponible en: https://accefy.com/revista/Vol_34/132/347-356.pdf
- [6] Bower, B. Studies of residuals management in industry. In Economic analysis of environmental problems. 2014; (pp. 275-324). NBER. [En línea] Disponible en: <https://www.nber.org/system/files/chapters/c2838/c2838.pdf>
- [7] Patmont, C., LaRosa, P., Narayanan, R., y Forrest, C. Environmental dredging residual generation and management. Integrated Environmental Assessment and Management. 2018; 14(3), 335-343. [En línea] Disponible en: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ieam.4032>
- [8] Daigger, G. T. Evolving urban water and residuals management paradigms: water reclamation and reuse, decentralization, and resource recovery. Water environment research. 2009; 81(8), 809-823. [En línea] Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2175/106143009X425898>
- [9] Espinoza-Quispe, C. E., Marrero-Saucedo, F. M., y Hinojosa-Benavides, R. A. Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal de Huancavelica, Perú. Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales. 2020; (28), 163-177. [En línea] Disponible en: <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/letrasverdes/article/view/4269>
- [10] Moreira, M. N. M. Diagnóstico del manejo de residuos sólidos en el Parque Histórico Guayaquil. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. 2017; 26(2), 84-105. [En línea] Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4760/476052525008/476052525008.pdf>