

MODELADO DE LA RED DE RECOLECCIÓN DE APROVECHAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO

Ricardo Javier Pineda Melgarejo¹, Álvaro Javier Rojas Baracaldo², Edward Fernando Toro Perea³

¹Magister en Gerencia de Proyectos, ricardo.pineda@unad.edu.co

²Magister en Administración de Empresas, alvaro.rojas@unad.edu.co

³Doctor en Ingeniería. edward.toro@unad.edu.co

^{1,2,3}Docentes de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD,

RESUMEN

La universidad y la docencia desde su misión en el aporte al desarrollo regional y la inclusión social no son ajenos a enfrentar problemáticas de las diferentes regiones donde tiene participación, es por esa razón que el trabajo de investigación coadyuva al cumplimiento de los requisitos legales que deben cumplir los recicladores de oficio para las actividades de aprovechamiento (Decreto 596 de 2016). La investigación muestra los métodos y técnicas aplicadas desde la investigación de operaciones, para el “Modelado de la red de recolección de aprovechamiento en el municipio de Sogamoso”, como:

Diseño de la red de aprovechamiento para modelarse y resolverse desde las teorías de redes, donde los nodos son los puntos de recolección y deben estar conectados por ramas (distancias entre puntos de recolección) para la actividad de recolección de los residuos sólidos aprovechables en el municipio de Sogamoso.

Análisis de la red de aprovechamiento, para definir la ruta más corta que optimice los recursos que intervienen en las mismas. Presentación de una herramienta basada en la georreferenciación final de la red a la empresa prestadora del servicio público de aseo para la implementación según los procedimientos ajustados a la norma para la recolección, el transporte y el aprovechamiento que garantice el desarrollo sostenible en el municipio.

Palabras clave: *Investigación de operaciones; Teoría de redes; optimización; ruteo; distancia más corta.*

Recibido: 5 de abril de 2022. Aceptado: 31 de agosto de 2022

Received: April 5, 2022. Accepted: August 31, 2022

MODELING OF THE WASTE COLLECTION NETWORK IN THE MUNICIPALITY OF SOGAMOSO

ABSTRACT

The university and teaching from their mission to contribute to regional development and social inclusion are not alien to facing problems in the different regions where they participate, it is for that reason that the research work contributes to the fulfillment of the legal requirements that must comply with the ex-officio recyclers for the exploitation activities (Decree 596 of 2016). The research shows the methods and techniques applied from the operations research, for the “Modeling of the harvesting collection network (micro routes) from the public cleaning service in the municipality of Sogamoso”, such as:

Design of the exploitation network to be modeled and solved from the network theories, where the nodes are the collection points and must be connected by branches (distances between collection points) for the usable solid waste collection activity in the municipality of Sogamoso.

Analysis of the exploitation network, to define the shortest route that optimizes the resources involved in them. Presentation of a tool based on the final georeferencing of the network to the company that provides the public cleaning service for implementation according to the procedures adjusted to the standard for collection, transportation and use that guarantees sustainable development in the municipality.

Keywords: *Operations research; Network theory; optimization; routing; shorter distance.*

Como citar este artículo: *Pineda-Melgarejo, R., J., Rojas-Baracaldo A., J., Toro Perea, E. F. (2022). Modelado de la red de recolección de aprovechamiento en el municipio de Sogamoso. Revista Politécnica, 18(36), 30-37. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n36a3>*

1. INTRODUCCIÓN

Muchas situaciones pueden resolverse desde la línea de investigación de operaciones, integrándose a diferentes contextos económicos, sociales y ambientales, un ejemplo claro de ello es el planteado en la propuesta que se denomina “Modelado de la red de recolección de aprovechamiento en el municipio de Sogamoso”, que abarca temáticas, tales como:

- Diseño de la red para modelarse y resolverse desde la teoría de nodos conectados por ramas para la actividad de aprovechamiento en el municipio de Sogamoso. El decreto 596 de 2016, ordena a las empresas prestadoras del servicio público de aseo, establecer la red de recolección de aprovechamiento (micro-rutas) la cual según la Unidad ejecutiva de servicios públicos de Bogotá D.C. (2017) es la “descripción detallada a nivel de las calles y manzanas del trayecto de un vehículo o cuadrilla, para la prestación del servicio de recolección o del barrido manual o mecánico, dentro del ámbito de una frecuencia predeterminada” (p.8), para que los recicladores de oficio se ajusten y operen en las mismas (Alcaldía de Bogotá, 2017) [1].
- Determinación de la red de recolección de aprovechamiento (micro-rutas) más corta para la optimización de los recursos que intervienen en las mismas.
- Simulación de la red de recolección de aprovechamiento (micro-rutas) a partir de modelos didácticos y mediante el uso de software especializados que faciliten la interpretación de los resultados y la toma de decisiones en el procesamiento y optimización de los recursos que intervienen en la actividad de aprovechamiento de la ciudad de Sogamoso.
- Presentación de una herramienta basada en estudios de redes, optimización y simulación a la empresa prestadora del servicio público de aseo para la reglamentación e implementación adecuadas de nuevos procedimientos ajustados a la norma para la recolección, el transporte y el aprovechamiento que garantice el desarrollo sostenible en el municipio.

2. MATERIALES Y METODO

Para el desarrollo de la investigación se realizaron estudios de campo, acudiendo a las zonas que integran las diferentes macro y micro rutas del servicio público de aseo de Sogamoso, las asociaciones de recicladores de oficio legalmente constituidas, la empresa prestadora de servicio público de aseo del municipio de Sogamoso y las secretarías de gobierno que controlan y regulan las tareas de recolección de aprovechables en la ciudad. A continuación, se describe la metodología desarrollada en el estudio de investigación para cumplir su objetivo.

Tipo y enfoque de Investigación. La investigación descriptiva tiene como finalidad definir, clasificar, catalogar o caracterizar el objeto de estudio. La finalidad es obtener descripciones generales con métodos descriptivos cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos se basan en la descripción de características relevantes para el desarrollo de la propuesta sin recurrir a la cuantificación, problemáticas y situaciones actuales en la macro ruta centro y sus respectivas micro rutas. Los principales métodos que se emplean en el estudio de investigación son el observacional, la aplicación de encuestas y el análisis de resultados, hasta llegar a un análisis cuantitativo de condiciones específicas del estudio, como los volúmenes de producción, las distancias, costos, precios de los desechos sólidos aprovechables, etc.

Procedimiento de la metodología. En esta etapa se efectuó un inventario de la información existente y recogida de todos los datos locales del propósito de estudio, necesarios para el desarrollo de la investigación. Luego de recolectados los datos en las macro y micro rutas del servicio público de aseo de Sogamoso, se clasifican para determinar aquellos que aportan información valiosa en la identificación de la problemática. Se utilizaron base de datos de la empresa de servicios públicos en las operaciones actuales de recolección

de basuras, días de recolección, rutas, vehículos, etc. El instrumento en el que se consignan los datos en esta etapa son las hojas de cálculo y procesadores de texto.

Determinación de la población. En el desarrollo de la investigación se realizaron estudios de campo, acudiendo a las zonas que integran las macro y micro rutas del servicio público de aseo de Sogamoso, las asociaciones de recicladores de oficio legalmente constituidas, la empresa prestadora de servicio público de aseo del municipio de Sogamoso y las secretarías de gobierno que controlan y regulan las tareas de recolección de aprovechables en la ciudad son los actores que intervienen directamente en los procesos objeto de la investigación. Se utilizaron las normas y decretos nacionales que regulan las condiciones y procedimientos para las tareas de aprovechamiento de los residuos sólidos aprovechables.

Elaboración y aplicación de la encuesta. Se aplicaron las encuestas a una muestra de los recicladores de oficio, para esto es necesario calcular el tamaño de la muestra e identificar la población total de recicladores reconocidos ante las autoridades competentes para ejercer sus actividades. Dejar las encuestas para luego recoger el material respondido y proceder a su análisis y tratamiento. El muestreo seleccionado es el conocido como muestreo por conveniencia o técnica de muestreo no probabilística donde los actores de la población se seleccionan por su disponibilidad y facilidad de acceso para la recolección de información. Se asegura que los recicladores de oficio entrevistados representan en criterios e importancia a toda la población de interés, debido a que la población es demasiado grande para evaluar y considerar a uno por uno. Se utilizaron como instrumento la base de datos de la cámara de comercio, según las actas de inscripción de las juntas directivas para totalizar según la fórmula el tamaño de muestra y el número de encuestas a aplicar. Para esto es necesario por protocolos de bioseguridad contactar a los representantes legales de las asociaciones con las indicaciones pertinentes de diligenciamiento,

Con la empresa de servicios públicos – Coservicios S.A., resulta más sencillo, pues el instrumento aplicado solamente va dirigido a la alta gerencia, el representante legal de la compañía pública es quien conoce las reglamentaciones y procedimientos pertinentes de la recolección de los residuos sólidos.

Elaboración de estrategias de gestión

Aplicación de las matrices de diagnóstico. La aplicación de las matrices de diagnóstico permitió identificar variables tanto dentro, como fuera del entorno de las asociaciones de recicladores de oficio. Lo primero que se analizan son las amenazas, mejor conocidas como los riesgos que pueden afectar el logro de los objetivos de aprovechamiento de los residuos sólidos, priorizándolas entre ellos. Segundo, se determinan las oportunidades, factores positivos que deben aprovecharse para las operaciones de las asociaciones. Tercero, identificación de fortalezas, aspectos positivos internos de las asociaciones y los organismos de control. Cuarto, identificación de las debilidades, aspectos negativos internos de las asociaciones y los organismos de control. Segundo. Definidos los aspectos relacionados anteriormente se definieron las estrategias de éxito, reacción, adaptación y supervivencia considerando cada uno de los niveles jerárquicos y también cada una de las áreas funcionales. El instrumento utilizado son las matrices en Excel que consignan todos los aspectos identificados y los procesadores de texto que resulte útil para el análisis posterior de las características de la macro ruta y sus micro rutas de aprovechamiento de los residuos sólidos en la ciudad de Sogamoso.

Análisis de las características de las macro y micro rutas. Para el análisis de la información es necesario desarrollar ciertas etapas, entre ellas:

Primera etapa, denominada Análisis de la situación. En esta etapa se realizó el tratamiento de las estrategias de gestión obtenidas en la matriz DOFA. El instrumento que se emplea es una hoja de Excel para consignar las estrategias de operación de las asociaciones.

La segunda etapa *Análisis de variables.* En esta etapa se identifican:

Tipo de variable. La variable dependiente es el mejoramiento de la ruta de recolección de residuos sólidos.

Dimensión de la variable. La dimensión de la variable se enmarca en la planeación, involucrando la necesidad de cambiar la situación actual por otra supuestamente mejor, y para ello se generaron varias alternativas de posible solución, según el rendimiento identificado entre una y otra. En etapas posteriores se evaluarán sus ventajas y desventajas para elegir la óptima.

Indicador de la variable. Los indicadores se encaminan en cuatro aspectos fundamentales, producción de residuos, promedio por habitante, cantidad de habitantes, características físicas y capacidades de puntos de almacenamiento, en los nodos identificados en las macro rutas y sus respectivas micro rutas de aprovechamiento.

El Instrumento es un Libro de cálculo con el procesamiento de datos tomados en campo para el registro de volúmenes de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas), además un mapa con su área de trabajo para representación de rutas de la red de recolección de aprovechamiento en cada macro ruta utilizando el Software de diseño AutoCAD, para evaluar la mejor alternativa según decisiones de optimalidad que facilitan las técnicas de redes por el algoritmo apropiado de optimización.

La tercera etapa es el modelado de las redes, a partir de los cálculos matemáticos para la definición del número de contenedores, distancias y volúmenes, se simulan varias alternativas para medir las mejoras entre una y otra y considerar la optimización de las rutas de aprovechamiento, según las técnicas de redes que considera la investigación de operaciones. El instrumento es el Entorno de Autocad y Georreferenciadores con las alternativas de redes según la Teoría de Redes, nodos, arcos y trayectos de estas.

Evaluación de las alternativas de solución

La propuesta y los resultados esperados a partir de las características de las macro rutas y su red de recolección de aprovechamiento, se realizó a través de la mejor alternativa que resultó entre las teorías de redes, aplicando la economía de distancias entre cada red, con lo cual se aporta a la optimización de las tareas de recolección y su futura aplicación en el contexto real, lo cual asegurará el mejor costo de oportunidad de la propuesta. Los Instrumentos son planos en Autocad y Georreferenciadoras para el trazado del modelado de la red de aprovechamiento según el flujo vial y las menores distancias en cada micro ruta de la ciudad de Soğamoso (Alvarado, 2015) [2].

3. RESULTADOS

Se identifica la existencia de macro rutas (3) y micro rutas (16) de servicio público de aseo (Asodea, Castellana, Pradera, Libertador, Magdalena, Monquirá, Parque de la Villa, Parque Industrial, Santa Inés, Sugamuxi, UPTC, 20 de Julio, Venecia, Santa Elena, 6 de Septiembre y Rosario) y la inexistencia de micro rutas de aprovechamiento para la operación por las organizaciones de recicladores de oficio, ayudados por aplicaciones como Google Maps y Earth, dado que los estudios de campo se reducen a verificación final de la toma de datos (distancias entre cuadras y flujos viales) por la situación de la pandemia del COVID-19 por la que ha atravesado el mundo.

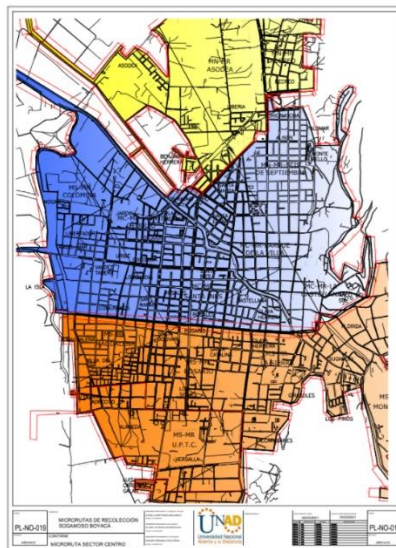


Figura 1. Macro ruta centro.

Distancia entre cuadras y flujos viales.

Con la aplicación de algoritmos de redes se determinaron los trazados de las micro rutas de aprovechamiento. Se realiza el modelado de 16 micro rutas, identificando 112 nodos que sirven como puntos de recolección para las organizaciones de recicladores de oficio. Con la aplicación del algoritmo de la ruta más corta se fija el trazado lineal de la micro ruta. Para esto se utilizaron centroides entre cada una de las micro rutas con dirección al punto de gravedad del plano de la ciudad para proseguir con el cálculo de las distancias mínimas.

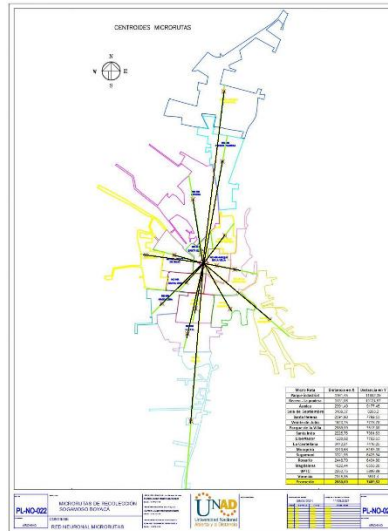


Figura 2. Plano general de la ciudad de Sogamoso. Trazado de centroides de micro rutas al centro de gravedad.

Se aplicaron algoritmos de redes como la ruta más corta como una aproximación más eficiente entre las distancias de nodos (Gómez, 2020) [3], Pert/Cpm, el cartero chino y finalmente el algoritmo KNN (vecino más cercano), siendo este último el que ofrece los mejores resultados, el cual a partir de una red neuronal con centroides de cada micro ruta define un trazado que confluye al punto de gravedad de la ciudad y determina las menores distancias recorridas en cada micro ruta. El algoritmo KNN clasifica el vecino más cercano a partir de cálculos euclidianos donde la distancia desde cada centroide hasta los nodos identificados en las micro rutas genera un trazado óptimo de mayor frecuencia, pero con menores recorridos (Kripkit, s.f.) [4].

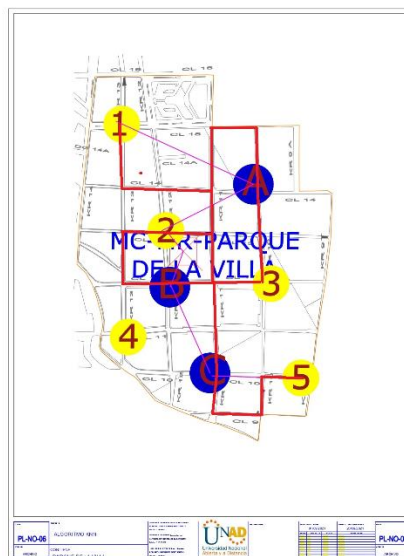


Figura 3. Algoritmo KNN micro ruta Parque de la Villa

Tabla 1. Datos euclidianos para aplicación del método KNN.
Micro ruta Parque de la Villa.

Punto de referencia	Distancia en X	Distancia en Y	(Xq - Xp)	(Xq - Xp) ²	Yq - Yp)	(Yq - Yp) ²	$\sqrt{(Xq - Xp)^2 + (Yq - Yp)^2}$
Centroide	249,94	465,68					
1	105,39	743,97	-144,55	20894,7025	278,29	77445,3241	313,5921341
2	207,95	494,87	-41,99	1763,1601	29,19	852,0561	51,13918458
3	456,21	369,88	206,27	42547,3129	-95,8	9177,64	227,4312048
4	121,35	244,4	-128,59	16535,3881	-221,28	48964,8384	255,9301203
5	526,35	150,36	276,41	76402,4881	-315,32	99426,7024	419,3199143
A	414,7	603,73	164,76	27145,8576	138,05	19057,8025	214,9503666
B	219,46	361,77	-30,48	929,0304	-103,91	10797,2881	108,2881272
C	312,63	159,94	62,69	3930,0361	-305,74	93476,9476	312,1009191

Tabla 2. Cálculo de elementos K para aplicación del método KNN.
Micro ruta Parque de la Villa.

NUMERO DE CUADRAS	27
CALCULO DE K	5,196152423
NUMERO DE NODOS ARRIBA DEL CENTROIDE	3
NUMERO DE NODOS ABAJO DEL CENTROIDE	3

Con el uso de Software Geocodificador se determinó el flujo de la red de aprovechamiento generando las micro rutas como propuesta a la problemática de su inexistencia en el servicio público de aseo, presentado una aproximación real a las necesidades de flujo, distancias y geografía de la ciudad (Quispe, 2017) [5].

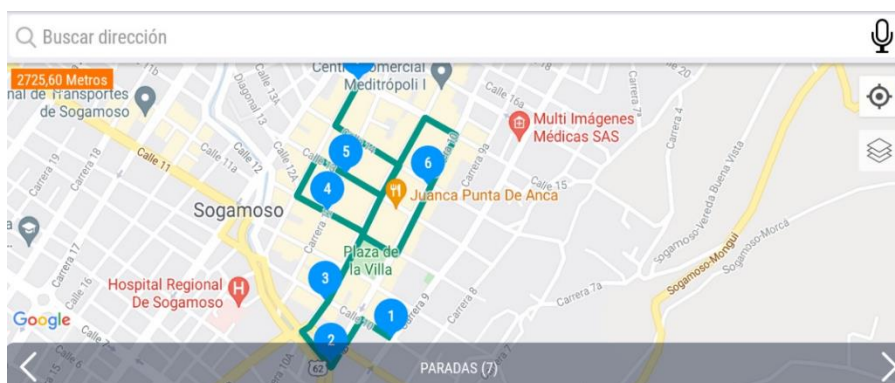


Figura 4. Distancia más corta, georreferenciación.
Micro ruta Parque de la Villa.

Aplicado cada método de distancia se obtiene cada ruta final, cumpliendo las especificaciones de menores distancias y recorridos por vías principales de menor flujo en la ciudad.

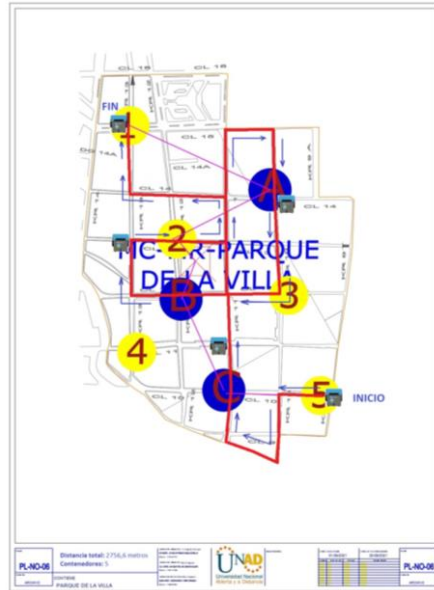


Figura 5. Ruta más corta final.
Micro ruta Parque de la Villa.

4. DISCUSIÓN

Diseñada la red de aprovechamiento, cabe una discusión en el alcance y aplicación de los resultados, partiendo de la norma establecida por Minvivienda, que indica: “En aquellos casos en que el aprovechamiento resulte viable, de acuerdo con los estudios y evaluaciones del PGIRS, el ente territorial tendrá la obligación de contar con los recursos para los proyectos que se establezcan en los PGIRS”, sin embargo dadas las circunstancias y los gastos que esto implica y que deben ser aprobados por el Concejo municipal se entra en una etapa de necesidad territorial para convencerse de su uso y aplicación sin que esto afecte otros intereses y planes municipales que se hayan proyectado, ¿Será posible que eso suceda?.

La aplicación del modelo KNN como el óptimo según la aplicación de otros de ruteo, genera una aproximación a las necesidades de instalación de contenedores para la recolección de residuos aprovechables que satisfagan las normas ambientales y procure el mejoramiento de la calidad de vida de los recicladores que dependen de la optimización de los sistemas de aprovechamiento garantizados por las autoridades municipales, que en definitivas no pueden ser ajenas a las necesidades de su municipio, deben ser instrumento de apoyo y concertación entre las asociaciones y los entes gubernamentales que puedan financiar el cumplimiento de la norma, no dar la espalda a una realidad que aqueja cualquier ciudad de Colombia, la inadecuada disposición de los residuos sólidos y la disminución de la vida útil de los rellenos sanitarios. Actualmente solo el 16% en promedio a nivel mundial de los desechos generados por actividades comerciales, industriales o residenciales son aprovechados, cuando más del 70% puede tener ese fin productivo. ¿Los municipios de Colombia y en especial el de Sogamoso, está preparado para afrontar estos cambios?

5. CONCLUSIONES

Se diseñaron las rutas denominadas redes de aprovechamiento utilizando las técnicas y teoría de redes, encontrando para ellas el número de nodos según la satisfacción de la demanda, las distancias y la concentración poblacional, que sirven de apoyo en la determinación de la ubicación en la ruta, para interconectarlos según las condiciones de la norma de dirección y frecuencia de recogida.

Se simuló el comportamiento de las propuestas, utilizando software de diseño y ubicación donde las distancias entre rutas y una y otra propuesta se reducen según las condiciones de optimización en porcentajes medios del 13% al 19%, considerados como ahorros promedio de distancia para justificar la inversión en dinero que se invierten para el desarrollo de las operaciones de recolección y transporte de los residuos sólidos, tal como Lipke ha demostrado con el uso de las estadísticas en la gestión de valor Ganado (Lipke, 2009) [6].

Las técnicas de simulación realizadas en Georreferenciadoras sobre la cartografía real de las condiciones de la ciudad de Sogamoso ofrecen una mejor planeación de actividades y una definición de ruta más exacta, la cual se consideró prioritaria en la culminación del proceso de recolección de los residuos sólidos, donde se conectan los nodos de mayores distancias entre sí y consideran los de menor distancias como actividades de ruteo para generar la mejor alternativa de ruteo según el algoritmo KNN que se realizó en el estudio de investigación.

6. AGRADECIMIENTOS

Un reconocimiento especial a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, quien nos brindó los recursos para desarrollar este trabajo de investigación. A la Asociación de Recicladores por el Futuro de Sogamoso – ARFUSOG y a las autoridades municipales por facilitarnos el apoyo de personal técnico en la toma de datos, el acceso a las fuentes de información y los sistemas de recolección de los residuos sólidos de la ciudad de Sogamoso.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alcaldía de Bogotá. (2019). Documento técnico para la actividad de aprovechamiento en el marco del servicio público de aseo. <http://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/documentos/DTO%20Aprovechamiento%20Anexo%202%20Versio%CC%81n%20publicacio%CC%81n%20para%20comentarios%2002-04-2019.pdf>
- [2] Alvarado, E. (2015). Metodología de georreferenciación (ArcView, ArcGIS, gvSIG y QGIS).
- [3] Gómez, J. (2020). Las técnicas Pert/Cpm. <http://aducarte.weebly.com/>
- [4] Kripkit. (s.f.) El problema del cartero Chino. <https://kripkit.com/problema-de-cartero-chino/>
- [5] Quispe, L. (2017) Teoría de Redes. <https://docentes.uaa.mx/guido/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/20102BV02010230402010501119526.pdf>
- [6] Lipke, Zwiakael, Henderson, & Anbari (2009). Prediction of project outcome: The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786308000331>