

Propuesta de método de extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras para el análisis de trayectorias GPS

Proposal for a method to extract georeferenced locations from a road network for the analysis of GPS trajectories

Reyes, Gary; Crespo, Christopher; León-Granizo, Oscar; Bazán, Wellington; Horta, Richard

Gary Reyes

gary.reyesz@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Christopher Crespo

christopher.crespol@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Oscar León-Granizo

oscar.leong@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Wellington Bazán

julio.bazant@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Richard Horta

richard.hortaa@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Investigación, Tecnología e Innovación

Universidad de Guayaquil, Ecuador

ISSN: 1390-5147

ISSN-e: 2661-6548

Periodicidad: Cuatrimestral

vol. 14, núm. 16, 2022

revistaiti@ug.edu.ec

Recepción: 13 Febrero 2022

Aprobación: 24 Junio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/593/5933300001/>

DOI: <https://doi.org/10.53591/iti.v14i16.1465>

Los autores que publican en Investigación, Tecnología e Innovación conocen y aceptan las siguientes condiciones: Los autores retienen los derechos de copia (copyright) sobre los trabajos, y ceden a Investigación, Tecnología e Innovación el derecho de la primera publicación del trabajo, bajo licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 que permite a terceros compartir la obra siempre que se indique su autor y su primera publicación esta revista. Los autores conservan los derechos de autor y garantizan a Investigación, Tecnología e Innovación el derecho de publicar el trabajo a través de los canales que considere adecuados. Los autores son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la versión

Resumen: **Contexto:** El avance tecnológico facilita el registro y recolección de información de trayectorias GPS. Hoy en día es posible visualizar en los sistemas de información geográfica mapas de redes de carreteras y analizar trayectorias GPS de vehículos que circulan por una ciudad. El análisis inteligente de estos datos lleva a identificar patrones útiles para tomar decisiones en situaciones relacionadas con urbanismo, planeación del transporte, circulación y congestión vehicular, entre otras. **Método:** El presente trabajo propone un método de extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras que permite realizar diferentes análisis con conjuntos de datos de trayectorias GPS vehiculares, para ello, se utilizó como herramientas el QGIS que es un Sistema de Información Geográfica de software libre y el POSTGIS que permite convertir al sistema de administración de bases de datos PostgreSQL en una base de datos espacial. El método permite automatizar el proceso de extracción de las ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras que son cargadas en una base de datos espacial para un análisis posterior con un conjunto de trayectorias GPS. **Resultados:** Para validar este trabajo se realizaron mediciones a la cantidad de registros obtenidos por el método de extracción de ubicaciones georreferenciales y los que se obtienen del análisis, se definen ocho diferentes consultas que utilizan los conjuntos de datos de trayectorias GPS vehiculares de las ciudades de Guayaquil-Ecuador, Aracaju-Brasil y Beijing-China. **Conclusiones:** Los resultados obtenidos son favorables y demuestran que el método de extracción es eficaz y permite realizar diferentes análisis de la circulación vehicular en una ciudad.

Palabras clave: Método de extracción, Herramientas Gis, Trayectorias GPS, Ubicaciones Georreferenciales, Datos espaciales.

Abstract: **Context:** Technological progress facilitates the recording and collection of GPS trajectory information. Nowadays it is possible to visualize in geographic information systems maps of road networks and analyze GPS trajectories of vehicles circulating in a city. The intelligent analysis of these data leads to the identification of patterns useful for making decisions

del trabajo publicado en Investigación, Tecnología e Innovación, haciendo reconocimiento a su publicación en esta revista. Se autoriza a los autores a difundir electrónicamente sus trabajos una vez que sean aceptados para publicación.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Como citar: Reyes, G., Crespo, C., León-Granizo, O., Bazán, W., & Horta, R. (2022). Propuesta de método de extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras para el análisis de trayectorias GPS. *Investigación, Tecnología E Innovación*, 14(16), 1–15. <https://doi.org/10.53591/iti.v14i16.1465>

in situations related to urban planning, transportation planning, traffic circulation and congestion, among others. **Method:** This work proposes a method for extracting georeferential locations from a road network that allows performing different analyses with data sets of vehicular GPS trajectories. For this purpose, QGIS, an open source Geographic Information System, and POSTGIS, which allows converting the PostgreSQL database management system into a spatial database, were used as tools. The method allows automating the process of extracting the georeferential locations of a road network that are loaded into a spatial database for further analysis with a set of GPS trajectories. **Results:** To validate this work, measurements were made of the number of records obtained by the method of extraction of georeferential locations and those obtained from the analysis, eight different queries were defined using the data sets of vehicular GPS trajectories of the cities of Guayaquil-Ecuador, Aracaju-Brazil and Beijing-China. **Conclusions:** The results obtained are favorable and show that the extraction method is efficient and allows different analyses of vehicular traffic in a city.

Keywords: Extraction method, Gis tools, GPS trajectories, Georeferential locations, Spatial data.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) hoy en día poseen grandes capacidades para la geolocalización en el campo espacial (Sosa-Escalona, Peña Casadevall, & Santiesteban-Toca, 2017). Además, un dato espacial, se puede representar dentro de una base de datos, lo que permite realizar a posteriori, diferentes tipos de análisis. Los datos espaciales son almacenados a través de PostGis, que añade soporte a objetos geográficos, transformando una base de datos común en una base de datos espacial (Cornejo, Navarrete, Valdivia, Aroca, & Aracena, 2014). El mundo real se puede representar en los SIG mediante dos modelos diferentes: vectorial y ráster. El primero representa los datos de la realidad por medio de puntos, líneas y polígonos, en tanto que el segundo se divide en filas y columnas, para representar información de un territorio (Enciso Gómez, Antonio Cervantes, Robles Martínez, Durán-Páramo, & Castro-Fontana, 2019).

El SIG, no es solo un software de "mapeo", sino que presenta funcionalidades poderosas, que es la base de datos incorporada por un SIG que permite gestionar y desplegar los datos (Pozzebon, Rozas, & Delgado, 2015). Las herramientas SIG son importantes a la hora de caracterizar un área geográfica, con ello se aplica la automatización de los procesos al permitir utilizar un gran número de variables y reducir en buena medida los tiempos de trabajo (Gómez-Pazo & Pérez-Alberti, 2016). Se puede decir que las tecnologías y los sistemas de información aportan a la organización para ver con detenimiento una realidad compleja: el hombre, la empresa y el entorno (Padilla Hidalgo, Campozano Chiquito, & Soledispa Reyes, 2021). La tecnología de los SIG constituye en este sentido una de las herramientas adecuadas de manejo de información, ya que, al usar el modelo de base de datos georreferenciados, se asocia a un conjunto de información gráfica en forma de planos o mapas (Guillén Montero, Vargas-Bogantes, Núñez-Román, & Vega-Ramírez, 2021).

Por otra parte, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), en la actualidad se ha convertido en una herramienta que es utilizada para prácticamente una gran variedad de actividades de la vida humana: por ejemplo, es utilizado en la industria de la telefonía móvil, es usado en los vehículos mayormente para seguir su posición y movimiento en una determinada red de carreteras (Villegas, 2021). El rastreo por GPS es una de las herramientas indispensables para distintos usos como encontrar un automóvil extraviado, rastrear las unidades de paquetería con el fin de saber su ubicación (Quiñonez, and Carmen Lizarraga, Peraza,

Zatarain, & and, 2019). Por ello, el GPS brinda la ubicación de un receptor en cualquier punto terrestre con disponibilidad 24 horas (Zabala, Cuenca, León, & Cabrera, 2018).

Cabe mencionar que el sistema GPS admite muchas aplicaciones críticas no solo para militares, sino también para civiles y usuarios comerciales en todo el mundo (Faria, Silvestre, Correia, & Roso, 2018). Por otro lado, los avances en la tecnología móvil aumentaron la necesidad de utilizar, cada vez más, eficientes sistemas de almacenamiento que se caracterizan por incorporar aspectos espaciales. Estos aspectos espaciales definen el marco de referencia para establecer la localización geográfica y la relación entre los objetos que la componen (Rojas Barbosa, 2018). Con las trayectorias para sistemas de posicionamiento global, se puede hacer uso de información semántica para aceptar o descartar puntos relevantes de las trayectorias y así poder simplificarla (Reyes Zambrano, 2019).

Siguiendo protocolos de estandarización de los insumos que alimentan al SIG en conjunto con la base de datos, se sigue una secuencia lógica previa al almacenamiento, se la conoce como el geoprocesamiento. Los datos pueden venir en formatos de tablas, mapas, cartografía digital o base de datos (Núñez Solís, 2016). Los datos espaciales son un tipo de datos que generalmente se han utilizado para representar objetos geográficos localizados en la superficie de la Tierra (Viquez & Hernández, 2020). Los SIG son utilizados por diversas comunidades debido a que facilitan el análisis espacial de grandes volúmenes de información en diferentes formatos como imágenes de satélites, fotografías aéreas, etc. (Santos Rosas, 2020). Junto a la creciente incorporación de métodos de análisis espacial racionalistas y cuantitativos en el ambiente digital se puso a la Geografía en el centro de una importante línea del desarrollo informático, logrando un tratamiento de los datos georreferenciados (Nieto Barbero, 2017).

El avance tecnológico facilita el registro y la recopilación de información sobre las trayectorias GPS de los vehículos en la vía pública. El análisis inteligente de estos datos ayuda a tomar decisiones en situaciones relacionadas con el urbanismo, el tráfico y la congestión vial (Gary Reyes, Lanzarini, Hasperué, & Bariviera, 2020). Los ocupantes de vehículos que transitan en condiciones geográficas de ciudades como Quito se puede analizar la trayectoria gracias a la tecnología (Gorky Reyes, Castillo, Freire, & Vivas, 2017). Con ello se puede mencionar la evolución tecnológica en torno a que los vehículos sean confiables y se pueda hacer seguimiento del recorrido por las carreteras (Gorky Reyes, Andrade, & Beltran, 2016). Con la tecnología es posible brindar protagonismo a las personas, al trabajo y a las relaciones que se establecen entre empleados en los procesos organizacionales (Lucio Pillasagua, Moreira Cañarte, & Yoza Rodríguez, 2021). Con la tecnología, se puede cubrir los problemas de manejo de información a través de los sistemas de información geográfico territorial (Espinoza, 2016).

El volumen de tráfico vehicular en las grandes ciudades se ha incrementado en los últimos años, provocando problemas de movilidad, por eso el análisis de datos de flujo vehicular cobra importancia para los investigadores (Gary Reyes, Lanzarini, Estrebou, & Maquilón, 2021). Dado el gran volumen de información georreferenciada que generan y almacenan muchos tipos de dispositivos, el estudio y mejora de técnicas capaces de operar con estos datos es un área de gran interés (Gary Reyes, Lanzarini, Hasperué, & Bariviera, 2021). El comportamiento móvil, como el cálculo de la distancia entre las subtrayectorias de un conjunto de datos con base en el tiempo y el espacio, puede ser un análisis y estudio importante (Liu & Zhang, 2017). Un objeto de estudio sería que con un análisis exhaustivo además se podría visualizar los cambios espacio-temporales de los servicios de taxi, las carreteras críticas y las intersecciones críticas, investigación que debería ser útil en la gestión del tráfico urbano y la elección residencial de rutas alternativas (Feng, Bai, & Xu, 2019).

El presente trabajo crea un método de extracción de ubicaciones georreferenciales utilizando el lenguaje de programación Python, se implementa el método de extracción en cuatro etapas: la primera etapa que es la carga manual de los datos (mapas de redes de carreteras) desde el método de extracción construido en python, realizando las validaciones de los datos de ingreso y del área de procesamiento (la cual está dada por los límites de las coordenadas de los conjuntos de datos de trayectorias GPS); la segunda que realiza la extracción de los datos (mapas de redes de carreteras) a través del uso de funciones de selección y obtención

de los datos específicos, esto es, vías de carreteras. La tercera etapa es el almacenamiento en la base de datos espacial utilizando el PostGis, se agrega el campo geométrico y se usan funciones de limpieza y transformación de datos. Finalmente, en la cuarta etapa que permite el análisis y visualización de los resultados a través de la construcción de una interfaz que permite visualizar los mapas y los resultados de diferentes consultas relacionadas a la circulación vehicular, en esta etapa se procesan también los datos de tres conjuntos de datos de trayectorias vehiculares provenientes de las ciudades de: Guayaquil-Ecuador, Aracaju-Brasil y Beijing-China. Para validar el método los tres conjuntos de datos son cargados en una base de datos PostgreSQL con Postgis para su análisis espacial, se ejecuta el proceso que automatiza la extracción de la información de los mapas de red de carreteras y se analizan las cantidades de registros resultantes de ocho consultas que utilizan tanto la información de los mapas como las de trayectorias GPS.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el trabajo se utilizó la investigación no experimental, a pesar de que se realizan mediciones con tres conjuntos de datos diferentes para observar cómo se comporta el método propuesto, no se realizaron comparaciones de algo existente ya que el objetivo de este trabajo fue desarrollar una propuesta de método de extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras que permita análisis en conjunto con trayectorias GPS. Los trabajos investigativos son el pilar fundamental de todas las carreras que permiten desarrollar de manera progresiva la capacidad de todas las personas (Ballesteros Jiménez, Bazantes Escobar, & Gaibor Becerra, 2018).

Dentro de la elaboración del método se generó un programa en Python el cual permite la extracción de información de un área delimitada por coordenadas de ubicación dadas en latitud mínima, longitud mínima, latitud máxima, longitud máxima y es almacenada en un archivo. El archivo es procesado por un programa en Python que extrae la información de interés para la investigación, se realiza la conexión a la base de datos y almacena la información resultante en una tabla, y crea la columna de geometría y se llena estos campos.

Se usan datos de trayectorias GPS que se almacenan de manera secuencial y forman trayectorias de vehículos de los países de: Ecuador-Guayaquil, Brasil-Aracaju, China-Beijing. Con un procesamiento del conjunto de datos previo a la carga de datos se definen una serie de bibliotecas de Python vía importación (Pérez, Botto-Tobar, & Mora, 2021).

Metodología de la Investigación

La metodología utilizada en este trabajo consta de cuatro pasos que se observan en la figura 1 y se detallan a continuación.

METODOLOGÍA

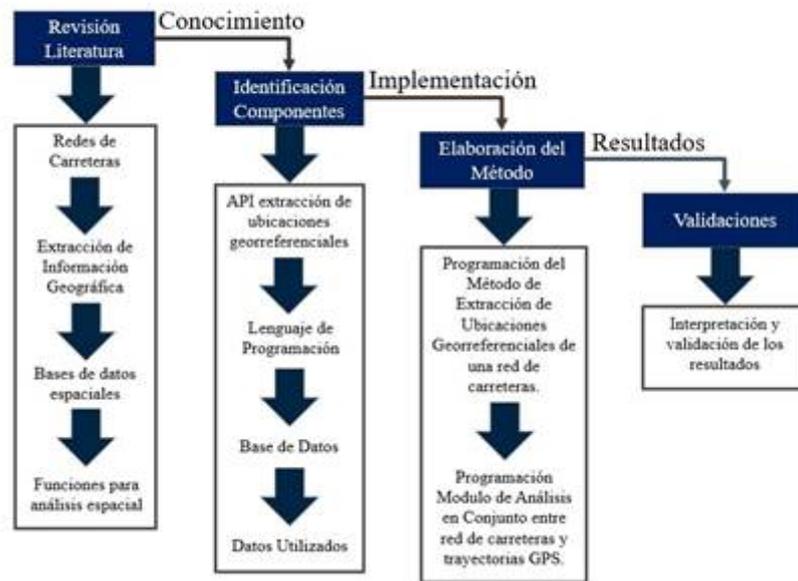


FIGURA 1.
Metodología de la Investigación.
Autores

1.- **Revisión Literatura:** Se consultó e investigó sobre lo que es una red de carreteras, procesos, funciones o interfaz de programación de aplicaciones que permiten la extracción de información geográfica, la forma de extracción, sus componentes y almacenamiento en bases de datos espaciales. Funciones o métodos que existen para el análisis de trayectorias GPS con otras tablas o bases.

2.- **Identificar elementos o componentes para el método de extracción a proponer:** Se identificaron los elementos que ayudan con la elaboración de la propuesta, se optó por el lenguaje de programación Python y sus librerías específicas. La interfaz de programación de aplicaciones que permitirá la extracción de las ubicaciones georreferenciales es Overpass-api y como base de datos PostgreSQL con su componente espacial Postgis.

3.- **Construir o elaborar el método de extracción:** Se procedió a la programación del método de extracción con los elementos seleccionados con anterioridad. Se crearon 3 programas los que se mencionan a continuación: el programa extraccionGIS recibe los parámetros de ingreso que son las coordenadas delimitantes de un área para extraer información y lo almacena en un archivo, el programa almacenamientoGIS procesa la información del archivo almacenado realizando la extracción de los datos que se requieren y procede al almacenamiento en la base de datos espacial, y el programa analisisresultados realiza el análisis en conjunto entre la información de los mapas generados y la información de las trayectorias GPS que se encuentran almacenados en la base de datos espacial y genera la interfaz visual.

4.- **Validación el método:** Se validó la propuesta del método a través del análisis de las cantidades de registros resultantes de las ocho consultas que utilizan tanto la información de los mapas como las de trayectorias GPS.

Datos Utilizados

Base de datos trayectorias Guayaquil: Este conjunto de datos de trayectorias fue obtenido de datos GPS de taxis que recorrieron la ciudad de Guayaquil, posee los campos de longitud, latitud, velocidad, fecha, id, se recolectaron 30 557 registros de trayectorias que se usaran para los análisis en conjunto.

Base de datos trayectorias Aracaju: Este conjunto de datos de trayectorias fue obtenido de datos GPS de taxis que recorrieron la ciudad de Aracaju, posee los campos de longitud, latitud, fecha, id, se recolectaron 14 096 registros de trayectorias que se usaran para los análisis en conjunto.

Base de datos trayectorias Beijing: Este conjunto de datos de trayectorias fue obtenido de datos GPS de taxis que recorrieron la ciudad de Beijing, posee los campos de longitud, latitud, fecha, id, se recolectaron 62 138 registros de trayectorias que se usaran para los análisis en conjunto.

Para la muestra se seleccionó el 100% de la población, tanto de los registros del archivo generado con el método de extracción y los registros de trayectorias GPS, lo que se observa en la tabla 1.

TABLA 1.
Muestras definidas

Tabla 1. Muestras definidas		
Población	Cantidad de Registros totales del mapa	Cantidad de Registros trayectorias GPS
Guayaquil	17 479	30 557
Aracaju	40 246	14 096
Beijing	135 022	62 138

Autores

Elaboración del método

La elaboración del método de extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras para el análisis de trayectorias GPS consta de 4 etapas como se muestra en la figura 2.



FIGURA 2.
Etapas del método propuesto.
Autores

1.- Carga Manual de Datos: El método de extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras recibirá como entrada cuatro parámetros (latitudmin, longitudmin, latitudmax y longitudmax) los cuales delimitaran el área de la que se extraerá la información a utilizar. Se debe disponer también de una base de datos y que la misma disponga de su componente espacial Postgis. Al trabajar con una Base de Datos como PostgreSQL, con la extensión PostGis, gestiona y almacena las entidades con un campo geométrico, esto ayuda a que se trabaje con los datos espaciales (Alday & Mejías-García, 2019). Por lo que se procede a crear una base de datos por cada conjunto de datos de trayectorias las cuales se llamaran trayectoriasguayaquil, trayectoriasbrasil, trayectoriasbeijing y luego de creadas dotarlas de las extensiones postgis y pgrouting.

2.- Ejecución del programa “ExtracciónGIS”: Desarrollado en Python. Python es un lenguaje multiparadigma, cuenta con una amplia biblioteca estándar que incluye herramientas para que su uso permita resolver muchas tareas que son de utilidad como, por ejemplo, la lectura de ficheros en distintos formatos (JSON, XML, CSV...) (Troyano, Cruz, González, Vallejo, & Toro, 2018). Esta etapa está compuesta por cuatro funciones que cumplen tareas específicas para la extracción de la información a utilizar para el método de extracción de ubicaciones georreferenciales. Se utilizan funciones como `get_input()` que muestra un mensaje y la petición de ingreso de las coordenadas delimitantes en orden una a la vez y son almacenadas cada una en su variable respectiva. La función `query_obtener_vias(user_input)` permite construir la consulta que se realizará a la interfaz de programación de aplicaciones la cual debe estar construida en el lenguaje de interpretación que maneja denominado `overpass query` lenguaje (Overpass QL). La función `extracción_data_OSM(query_consulta)` es la encargada de la extracción de la información del área seleccionada mediante la consulta que se envía a la interfaz de programación de aplicaciones.

3.- Ejecución del programa “AlmacenamientoGIS”: En esta parte de la ejecución del programa se realiza la conexión con la base de datos con la función `conexión()` en Python, la función `guardardatos()` es la encargada de almacenar la información requerida en la base de datos y en sus respectivas columnas, recibe como parámetro el archivo generado por el programa “extraccionGIS” y realiza las validaciones necesarias

para la extracción de la información requerida para la red de carreteras. En esta etapa se procede también a crear la columna de tipo geometría “linestring” para cada registro y se llenan estos campos.

4.- **Ejecución del programa “Análisisresultados”:** Está compuesto por cinco funciones que cumplen tareas específicas para la visualización y presentación de un menú de opciones para el análisis en conjunto con la función `get_input()`, la conexión a la base de datos con la función `conexión(basedatos)` para realizar las consultas, el almacenamiento de la información del análisis en conjunto en un dataframe con la función `cargardatos (opción,vehículo_edge,calle_target)`, presentación en un mapa en formato html con la función `map(opción,vehículo_edge,calle_target)`, y por último presentación de resultados almacenados en el dataframe en una ventana con la función `resultados(dataf,titulo)`.

Validaciones

Para validar el método se utilizaron tres conjuntos de datos y se definieron ocho consultas que se realizan a la base de datos; las consultas involucran a las tablas del mapa generado por el método de extracción y las del conjunto de trayectorias GPS. Las consultas se especifican a continuación en la tabla 2.

TABLA 2.
Descripción de las consultas utilizadas

Tabla 2. Descripción de las consultas utilizadas	
Descripción de la Consulta	
consulta1	Calles que utilizaron las trayectorias GPS
consulta2	Calles que utilizó un determinado vehículo
consulta3	Vehículos que pasaron por determinada calle
consulta4	Cantidad de vehículos que pasaron por determinada calle
consulta5	Calles y cantidad de vehículos que pasaron por ellas
consulta6	Promedio de velocidad por tramos de determinado vehículo
consulta7	Distancia a una determinada calle de un vehículo determinado
consulta8	Algoritmo de Dijkstra ruta más corta

Autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez que se ejecutó el método de extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras luego de todas las validaciones y consideraciones para cada conjunto de datos se obtuvieron los resultados reflejados en la tabla 3.

TABLA 3.
Registros generadas por el método de extracción.

Tabla 3. Registros generadas por el método de extracción.

Base vías	Cantidad de registros mapa	Registros generadas	Geometría generada	Tipo geometría
Guayaquil	17 479	13 756	13 756	linestring
Aracaju	40 246	34 075	34 075	linestring
Beijing	135 022	80 033	80 033	linestring

Con la implementación del método propuesto. Se procedió a realizar el análisis en conjunto con las ocho consultas mencionadas anteriormente, que permiten analizar tanto la información del mapa de las calles que se generó junto con la información de las trayectorias mediante funciones espaciales y como resultado se obtuvieron una serie de registros de cada consulta que se ejecutó.

Autores

TABLA 4.
Resultados del análisis en conjunto ciudad Guayaquil.

Tabla 4. Resultados del análisis en conjunto ciudad Guayaquil.

	Cantidad de Puntos o Registros (trayectorias)	Cantidad de Líneas o Registros (carreteras)	Cantidad Registros Resultantes del análisis	Porcentaje de registros del total de carreteras y trayectorias
Guayaquil - consulta 1	30 557	13 756	3 195	7,210
Guayaquil - consulta 2	30 557	13 756	14	0,032
Guayaquil - consulta 3	30 557	13 756	65	0,147
Guayaquil - consulta 4	30 557	13 756	1	0,002
Guayaquil - consulta 5	30 557	13 756	269	0,607
Guayaquil - consulta 6	30 557	13 756	14	0,032
Guayaquil - consulta 7	30 557	13 756	38	0,086
Guayaquil - consulta 8	30 557	13 756	69	0,201

En la tabla 4 del conjunto de datos de la ciudad de Guayaquil se evidencia que todas las 8 consultas presentan resultados. La consulta 1 presenta mayor cantidad de registros resultantes con 3 195 que representa el 7,210%, y la consulta 4 presenta menor cantidad con 1 registro que es 0,002% del total de carreteras y trayectorias.

Autores

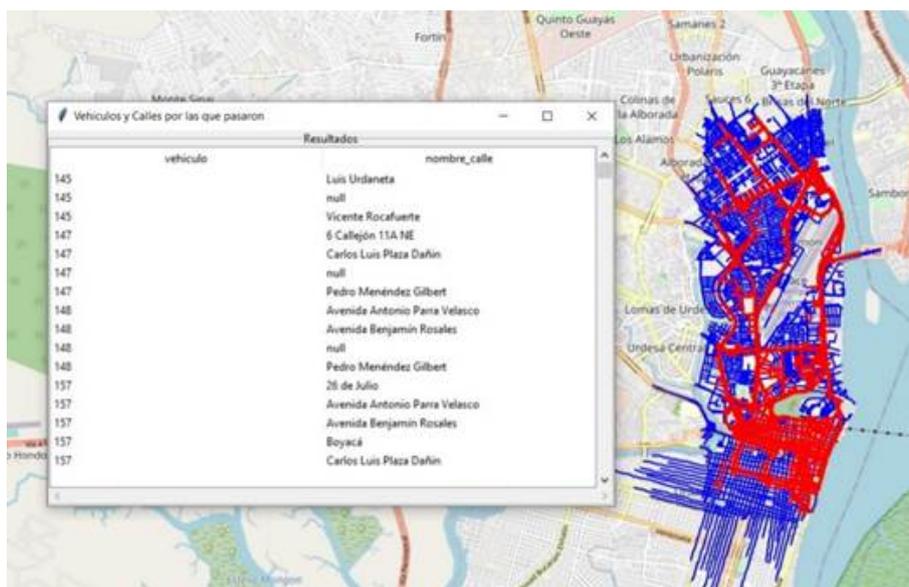


FIGURA 3.

Resultados de la consulta 1 para Guayaquil.

La figura 3 muestra los resultados de la consulta 1 que indica las calles de las que hicieron uso las trayectorias GPS, las calles obtenidas con el método propuesto de color azul y las calles que utilizaron los vehículos del conjunto de trayectorias de color rojo para el conjunto de datos de la ciudad de Guayaquil.

Autores

TABLA 5.

Resultados del análisis en conjunto ciudad Aracaju.

Tabla 5. Resultados del análisis en conjunto ciudad Aracaju.

	Cantidad de Puntos o Registros (trayectorias)	Cantidad de Líneas o Registros (carreteras)	Cantidad de Registros Resultantes del análisis	Porcentaje de registros del total de carreteras y trayectorias
Aracaju - consulta 1	14 096	34 075	1 669	3,465
Aracaju - consulta 2	14 096	34 075	22	0,046
Aracaju - consulta 3	14 096	34 075	13	0,027
Aracaju - consulta 4	14 096	34 075	1	0,002
Aracaju - consulta 5	14 096	34 075	439	0,911
Aracaju - consulta 6	14 096	34 075	No aplica	No aplica
Aracaju - consulta 7	14 096	34 075	82	0,170
Aracaju - consulta 8	14 096	34 075	96	0,199

En la tabla 5 correspondiente a la ciudad de Aracaju se evidencia que todas las 8 consultas presentan resultados a excepción de la consulta 6 que no presenta resultados debido a que este análisis contempla registros de velocidad y el conjunto de datos de trayectorias GPS no presenta columna de velocidad. La consulta 1 presenta mayor cantidad de registros resultantes con 1 669 que representa el 3,465%, y la consulta 4 presenta menor cantidad con 1 registro resultante del análisis con un 0,002% del total carreteras y trayectorias.

Autores

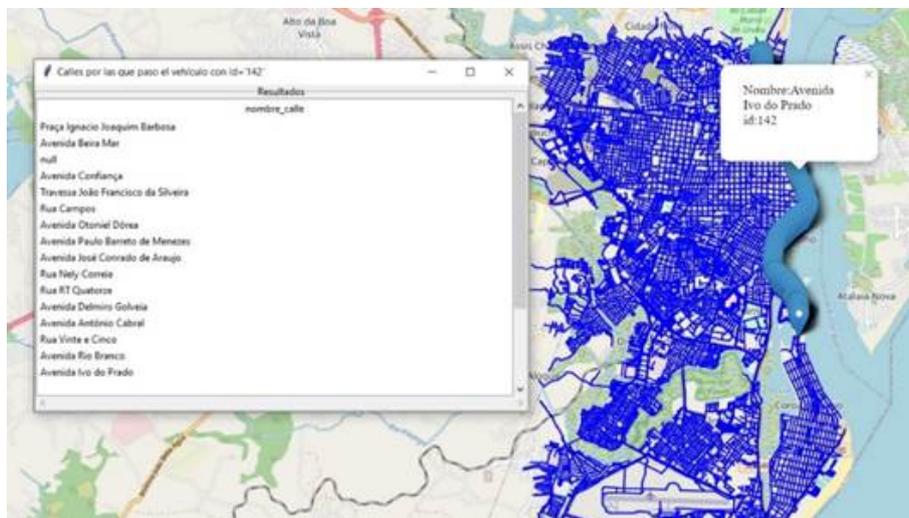


FIGURA 4.
Resultados de la consulta 2 para Aracaju.

La figura 4 muestra los resultados de la consulta 2 que nos indica las calles por las que paso un determinado vehículo, donde se presenta las calles obtenidas con el método propuesto de color azul y con marcadores las calles por las que pasó el vehículo con id 142 para la ciudad de Aracaju.

Autores

TABLA 6.
Resultados del análisis en conjunto ciudad Beijing.

Tabla 6. Resultados del análisis en conjunto ciudad Beijing.

	Cantidad de Puntos o Registros (trayectorias)	Cantidad de Líneas o Registros (carreteras)	Cantidad de Registros Resultantes del análisis	Porcentaje de registros del total de carreteras y trayectorias
Beijing - consulta 1	62 138	80 033	9 044	6,361
Beijing - consulta 2	62 138	80 033	22	0,015
Beijing - consulta 3	62 138	80 033	5	0,004
Beijing - consulta 4	62 138	80 033	1	0,001
Beijing - consulta 5	62 138	80 033	1 197	0,842
Beijing - consulta 6	62 138	80 033	No aplica	No aplica
Beijing - consulta 7	62 138	80 033	11	0,008
Beijing - consulta 8	62 138	80 033	116	0,082

En la tabla 6 correspondiente a la ciudad de Beijing se evidencia que todas las 8 consultas presentan resultados a excepción de la consulta 6 que no presenta resultados. La consulta 1 presenta mayor cantidad de registros resultantes con 9 044 que representa el 6,36 %, y la consulta 4 presenta menor cantidad con 1 registro resultante que representa un 0,001% del total de carreteras y trayectorias.

Autores

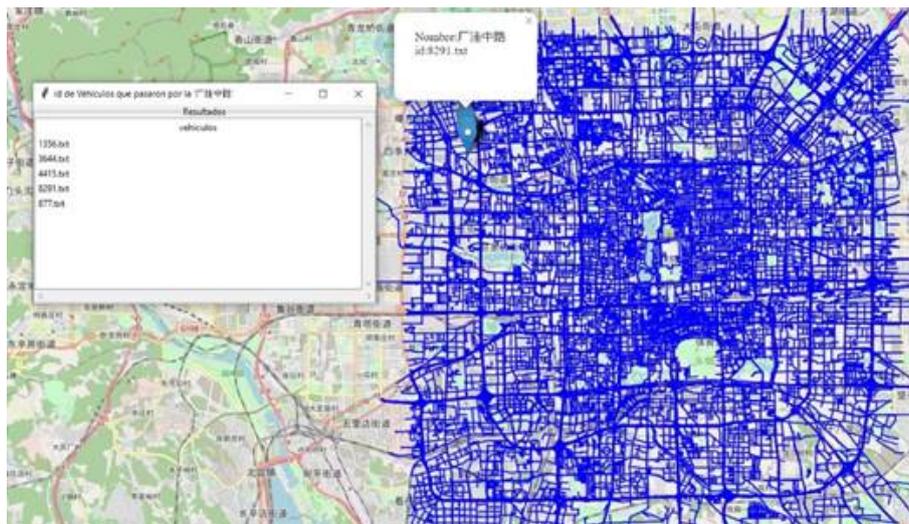


FIGURA 5.

Resultados de la consulta 3 para Beijing.

La figura 5 muestra los resultados de la consulta 3 que nos indica los vehículos que pasaron por una determinada calle, donde muestra las calles obtenidas con el método propuesto de color azul y los "id" de los vehículos que pasaron por la calle de nombre "厂洼中路" los muestra con marcadores.

Autores

CONCLUSIONES

Se realizó el estado de arte sobre extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras, bases de datos espaciales y herramientas GIS para adquirir los conocimientos necesarios sobre extracción de ubicaciones georreferenciales.

Se elaboró un método para la extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras que permita realizar un análisis en conjunto de trayectorias GPS. El método fue implementado en el lenguaje de programación Python y se encuentra disponible para futuras investigaciones.

Se ejecutaron los experimentos con cada conjunto de datos de trayectorias GPS y su respectiva red de carreteras generadas con el método de extracción. De los tres conjuntos de datos la consulta 1 cuya funcionalidad es mostrar las calles que utilizaron las trayectorias presenta mayor cantidad de registros. De las 3 bases de datos con la de Guayaquil se obtiene un 100% de resultados con las 8 consultas, mientras que con las bases de datos de Aracaju y Beijing de las 8 consultas se obtiene un 87,50% por cada conjunto de datos, lo que evidencia resultados satisfactorios.

Con el trabajo realizado y los resultados obtenidos se evidenció que es posible realizar un método que permita automatizar la extracción de ubicaciones georreferenciales de una red de carreteras y realizar un análisis en conjunto de trayectorias GPS. Como trabajo futuro se plantea que el método pueda ser adaptado y utilizado en otros contextos como en el análisis de las trayectorias que siguen los huracanes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alday, A., & Mejías-García, J. C. (2019). Chronology of the Prehistory in the Iberian Peninsula and Geographic Information Systems in the Archaeological Record. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de La Universidad Autónoma de Madrid, (45), 9–26. <https://doi.org/10.15366/cupauam2019.45.001>

Ballesteros Jiménez, R. de las M., Bazantes Escobar, W. J., & Gaibor Becerra, A. M. (2018). LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN EL ECUADOR DESDE LA PERSPECTIVA DEL CÓDIGO ORGÁNICO DE LA

ECONOMÍA SOCIAL DEL CONOCIMIENTO. Investigación, Tecnología e Innovación, 10(10), 83–96. <https://doi.org/10.53591/iti.v10i10.179>

- Cornejo, R., Navarrete, M., Valdivia, R., Aroca, P., & Aracena, S. (2014). Desarrollo de una base de datos integrada de Censo y encuesta mediante el uso de elementos de inteligencia de negocios y {SIG}. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 22(2), 205–217. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052014000200007>
- Enciso Gómez, D., Antonio Cervantes, P. H., Robles Martínez, F., Durán-Páramo, E., & Castro-Fontana, D. G. (2019). Geographic information systems for optimizing waste transportation to landfill sites in the state of Mexico, Mexico. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(Special Issue 2), 55–67. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp02.06>
- Espinoza, F. (2016). La distritalización en Guayaquil: Innovación en la planificación y el control urbano de la ciudad. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 8(8), 115–126. <https://doi.org/10.53591/iti.v8i8.152>
- Faria, L. D. A., Silvestre, C. A. de M., Correia, M. A. F., & Roso, N. A. (2018). Susceptibility of GPS-dependent complex systems to spoofing. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 10. <https://doi.org/10.5028/jatm.v10.839>
- Feng, H., Bai, F., & Xu, Y. (2019). Identification of critical roads in urban transportation network based on GPS trajectory data. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 535, 122337. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122337>
- Gómez-Pazo, A., & Pérez-Alberti, A. (2016). Aplicación de los SIG en la clasificación morfológica de los tipos de costa: el ejemplo de las Illas Cíes (Galicia, NO de la Península Ibérica). *GOT - Geography and Spatial Planning Journal*, 1(9), 161–185. <https://doi.org/10.17127/got/2016.9.008>
- Guillén Montero, D., Vargas-Bogantes, J., Núñez-Román, O. A., & Vega-Ramírez, L. M. (2021). Situación de los Sistemas de Información Territorial para la gestión municipal: caso de la GAM, Costa Rica, 2018. *Revista Geográfica de América Central*, 1(66), 79–98. <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.3>
- Liu, F., & Zhang, Z. (2017). Adaptive density trajectory cluster based on time and space distance. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 484, 41–56. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.04.119>
- Lucio Pillasagua, A. del J., Moreira Cañarte, M. K., & Yoza Rodríguez, N. R. (2021). Tecnología Ágil para la recaudación de impuestos en los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Manabí Ecuador. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 13(13), 36–44. <https://doi.org/10.53591/iti.v13i13.1206>
- Nieto Barbero, G. (2017). Educación geográfica con SIG en la escuela secundaria: análisis estadístico. *Enseñanza de Las Ciencias Sociales*, (2017.16). <https://doi.org/10.1344/eccss2017.16.4>
- Núñez Solís, C. (2016). IMPLEMENTACIÓN DE UN VISOR GEOESPACIAL EN LA WEB SOBRE RECURSO HÍDRICO PARA EL ACUÍFERO JACÓ, GARABITO, PUNTARENAS, 2014. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 45. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-54.2>
- Padilla Hidalgo, M. M., Campozano Chiquito, G. X., & Soledispa Reyes, S. (2021). Impacto de las nuevas tendencias tecnológicas en la organización y en los recursos humanos. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 13(13), 28–35. <https://doi.org/10.53591/iti.v13i13.1208>
- Pérez, D. P., Botto-Tobar, M., & Mora, C. M. (2021). Predicción del Composite Requerido en el Diseño de un Recipiente Toroidal Mediante una Red Neuronal Artificial. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 13(13), 45–53. <https://doi.org/10.53591/iti.v13i13.1093>
- Pozzebon, M., Rozas, S. T., & Delgado, N. A. (2015). Use and consequences of participatory GIS in a Mexican municipality: Applying a multilevel framework. *RAE Revista de Administracao de Empresas*, 55(3), 290–303. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020150305>
- Quiñonez, Y., and Carmen Lizarraga, Peraza, J., Zatarain, O., & and. (2019). Sistema inteligente para el monitoreo automatizado del transporte público en tiempo real. {RISTI} - *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (31), 94–105. <https://doi.org/10.17013/risti.31.94-105>
- Reyes, Gary, Lanzarini, L. C., Estrebou, C. A., & Maquilón, V. (2021). Vehicular Flow Analysis Using Clusters. In XXVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(Modalidad virtual, 4 al 8 de octubre de 2021).

- Reyes, Gary, Lanzarini, L., Hasperué, W., & Bariviera, A. F. (2020). GPS trajectory clustering method for decision making on intelligent transportation systems. In J. M. Merigó, S. Linares-Mustaros, & J. C. Ferrer-Comalat (Eds.), *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems* (Vol. 38, pp. 5529–5535). {IOS} Press. <https://doi.org/10.3233/JIFS-179644>
- Reyes, Gary, Lanzarini, L., Hasperué, W., & Bariviera, A. F. (2021). Proposal for a Pivot-Based Vehicle Trajectory Clustering Method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2676(4), 281–295. <https://doi.org/10.1177/03611981211058429>
- Reyes, Gorky, Andrade, S., & Beltran, C. (2016). Estudio comparativo de torque y potencia en combustibles estatales distribuidos en la C.A.N. a 2800MSNM. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 8(8), 53–62. <https://doi.org/10.53591/iti.v8i8.160>
- Reyes, Gorky, Castillo, A., Freire, F., & Vivas, J. (2017). ESTUDIO SOBRE INCIDENCIA DE LOS RAYOS UVA LOS OCUPANTES EN VEHÍCULOS N1 Y M1 A 2800 MSNM. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 9(9), 54–71. <https://doi.org/10.53591/iti.v9i9.183>
- Reyes Zambrano, G. (2019). GPS trajectory compression algorithm. In *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 959, pp. 57–69). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12018-4_5
- Rojas Barbosa, S. A. (2018). Taxonomía de las bases de datos espaciotemporales con objetos en movimiento. *Tecnura*, 22(55), 66–76. <https://doi.org/10.14483/22487638.12192>
- Santos Rosas, A. (2020). Estudio del comportamiento informativo de los usuarios de los Sistemas de Información Geográfica: uso de la técnica del focus group. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones~....
- Sosa-Escalona, Y., Peña Casadevalls, M., & Santiesteban-Toca, C. E. (2017). Sistema para la alerta temprana de los efectos del cambio climático en la agricultura. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11(3), 64–76.
- Troyano, J., Cruz, F., González, M., Vallejo, C., & Toro, M. (2018). Introducción a la Programación con Python, Computación Interactiva y Aprendizaje Significativo. *Actas de Las Jornadas Sobre Enseñanza Universitaria de La Informática*, 3, 223–230.
- Villegas, F. (2021). Relatividad y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). *Revista de Investigación de Física*, 23(1), 44–47. <https://doi.org/10.15381/rif.v23i1.20289>
- Viquez, A., & Hernández, I. (2020). Una comparativa de la extensión PostGIS y el software ArcSDE en los procesos de modelamiento e implementación de bases de datos espaciales. *Revista Technology Inside by CPIC*, 6(6), 1–14.
- Zabala, M., Cuenca, L., León, J., & Cabrera, F. (2018). Arquitectura de acoplamiento entre INS/GPS para navegación precisa en trayectorias establecidas. *MASKAY*, 8(1), 13. <https://doi.org/10.24133/maskay.v8i1.590>