

# IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ZONAS DE PARQUEO DE BICICLETAS EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE LOJA, ECUADOR.

Fabián René Reyes Bueno<sup>1</sup>, Robert Vinicio Mora Romero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja

\*Autor para correspondencia: frreyes@utpl.edu.ec

Recibido: 2021/08/12

Aprobado: 2021/09/23

DOI: <https://doi.org/10.26621/ra.v1i25.734>

## RESUMEN

Debido al creciente interés que ha tenido en los últimos tiempos el uso de la bicicleta como medio de transporte alternativo, resulta indispensable aportar con criterios para la correcta inversión en infraestructura ciclista. En ese sentido, la presente investigación plantea, a partir de la categorización del umbral de consumo de energía que un ciclista gasta para trasladarse de un lugar a otro, establecer puntos estratégicos para la implementación de estacionamientos de bicicletas en el área urbana de Loja. Para la identificación de estos puntos fue necesario generar una superficie de fricción basada en la energía que, potencialmente, un usuario de bicicleta podría consumir para trasladarse por las calles de la ciudad, luego de lo cual se calculó, a partir de un algoritmo de coste acumulado, los puntos a partir de los cuales se empieza a sentir agotamiento. Teniendo estas localizaciones aproximadas, se hizo un planteamiento de localización de paradas potenciales en función de infraestructura y concurrencia a sitios clave. Entre los principales resultados obtenidos destaca la identificación de 23 paradas potenciales, distribuidas en 3 anillos donde se pueden establecer parqueaderos de bicicletas. En conclusión, se identificó una longitud total de 739,2 km de vías, estableciendo que la distancia en la que un ciclista puede llegar a consumir 50 kJ es de 5.3 km. En efecto, la definición de estas 23 paradas potenciales, así como la identificación de 19 puntos de interés alrededor de estas paradas potenciales, aporta a la implementación de estacionamientos de bicicletas, tomando en cuenta que estos deben conectar destinos de interés colectivo, tales como: sitios de empleo, escuelas, áreas de compras, áreas recreacionales y paradas de tránsito.

**Palabras clave:** Parqueaderos, accesibilidad, energía, ciclismo

## ABSTRACT

Due to the growing interest in the use of bicycles as an alternative means of transportation in recent times, it is essential to provide criteria for the correct investment in cycling infrastructure. In this sense, this research proposes, based on the categorization of the threshold of energy consumption that a cyclist spends to move from one place to another, to establish strategic points for the implementation of bicycle parking in the urban area of Loja. For the identification of these points it was necessary to generate a friction surface based on the energy that, potentially, a bicycle user could consume to move through the streets of the city, after which it was calculated, based on a cumulative cost algorithm, the points from which exhaustion begins to be felt. With these approximate locations, potential stops were defined based on infrastructure and concurrence to key sites. Among the main results obtained was the identification of 23 potential stops, distributed in 3 rings where bicycle parking can be established. In conclusion, a total length of 739.2 km of roads was identified, the distance in which a cyclist can consume 50 KJ is 5.3 km. Indeed, the definition of these 23 potential stops and the identification of 19 points of interest around these potential stops, contributes to the implementation of bicycle parking, taking into account that these should connect destinations of collective interest, such as employment sites, schools, shopping areas, recreational areas, and transit stops.

**Keywords:** Parking, accessibility, energy, cyclist



## INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas, se han planteado varias políticas (entre legislación e iniciativas propias de los gobiernos locales) orientadas al uso de medios de transporte sustentables tales como la bicicleta, el transporte público y la caminata. En este sentido, la importancia de la promulgación de políticas públicas orientadas a la construcción de nueva infraestructura ciclista es fundamental para generar un cambio en la actitud de la ciudadanía hacia este nuevo modo de transporte (Plasencia-Lozano, 2021). El proveer rutas y ciclovías incrementa el uso de la bicicleta, lo cual aporta grandes beneficios al reducir la contaminación del aire urbano y la prevalencia de inactividad física asociada a enfermedades crónicas no transmisibles (Fraser & Lock, 2010). Asimismo, la implementación de zonas de parqueo es uno de los elementos fundamentales para complementar la infraestructura ciclista y motivar el uso de la bicicleta (Pucher *et al.*, 2010).

Existen varios estudios orientados a la identificación del umbral de fatiga. En este sentido, Ebnealipour *et al.* (2020) realizaron un estudio para identificar el umbral de fatiga para diferentes condiciones físicas, evaluando el máximo de calorías quemadas antes de que el ciclista se canse, lo que depende de la edad y el peso del conductor. Iseki & Tingstrom (2014) usaron como umbral 50,000 J como el que corresponde al que un ciclista decida ir en bicicleta desde una estación. Con base en lo planteado por Iseki & Tingstrom (2014), Orellana *et al.* (2019) realizaron un estudio en la ciudad de Cuenca - Ecuador, utilizando un método basado en el análisis de redes que usa como variable de impedancia la energía empleada por el ciclista, que depende a su vez de varios factores como pendiente, tipo de calzada, características del ciclista, velocidad del viento, entre otras. A través de esta técnica, se logró identificar las cuencas óptimas para trasladarse en bicicleta sin llegar a fatigarse en exceso.

## MÉTODOS

### Área de estudio

La ciudad de Loja se encuentra ubicada al sureste del Ecuador (figura 1), a una altitud que oscila entre los 2000 m.s.n.m a 2300 m s.n.m. Tiene una extensión de 57.32 km<sup>2</sup>, y una población a 2020 de aproximadamente 230 000 habitantes. El crecimiento población de Loja entre los años 2000-2017 ha experimentado un gran ascenso, siendo actualmente la novena ciudad más poblada del Ecuador y la tercera más poblada de la región Interandina ecuatoriana (SENPLADES, 2017). La ciudad está asentada sobre una superficie irregular, siendo un 64,92% de la superficie montañosa y escarpada (pendiente media del 25% y mayores a 30°).

### Métodos

Para calcular la energía consumida por el ciclista, se siguió la metodología planteada por Iseki & Tingstrom (2014) y adaptada por Orellana *et al.* (2019).

Se partió de la generación de una base de datos para los diferentes segmentos de calle de la ciudad de Loja. La información base fue obtenida de OpenStreetMap (OpenStreetMap contributors, 2017), y se realizó un proceso de verificación y depuración. Con los datos depurados se construyó una red vial con segmentos pequeños cortados por las intersecciones de las calles y se corrigieron los errores topológicos.

La fórmula de potencia utilizada por Orellana *et al.* (2019) utiliza un factor de arrastre, la velocidad de desplazamiento, la masa conjunta del ciclista y la bicicleta, la aceleración de la gravedad, la pendiente relativa, y el coeficiente de rodadura. Luego de esto, se calculó la energía necesaria para recorrer un segmento de calle, utilizando la velocidad, y la potencia. Esta información fue incorporada en la red vial de la siguiente manera:

- Se incorporaron valores constantes de factor de arrastre (0.245), velocidad de desplazamiento (4 m/s), la aceleración de la gravedad (9.816 m/s<sup>2</sup>).
- Para el coeficiente de rodadura (Cr), se incorporó la adaptación propuesta por Orellana *et al.* (2019) con valores que cambian en función de la capa de rodadura: Asfalto nuevo (0.0071804), concreto nuevo (0.0063459), adoquín (0.0103079), asfalto desgastado (0.0089477), concreto desgastado (0.0066998) o gravilla (0.0132250).
- Para determinar la variable peso, se aplicó una encuesta a 119 ciclistas activos, en la que los datos tomados fueron: el peso del ciclista, peso de la bicicleta y edad. Esta encuesta permitió identificar un peso promedio de 78.35Kg (sumando ciclistas y bicicleta). Para determinar esta muestra, se partió de un universo de 120 000 personas (obtenido a partir de la población proyectada al 2020 para el cantón Loja, el porcentaje que reside en el área urbana y que se encuentra en una edad de entre 15 a 64 años) y se calculó la muestra a partir de un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 9%.
- Adicionalmente, se calculó la pendiente de cada segmento de la siguiente manera: A partir de la capa de elevación con una resolución de 5 m. generada por Sigtierras (MAGAP, 2012), se calculó la altura mínima y máxima para cada segmento de calle. Finalmente se calculó la longitud, y junto con la diferencia de altitud, pudo calcularse la pendiente de cada segmento.

Con todos los parámetros anteriores establecidos, se calculó inicialmente la potencia para cada segmento de calle, y a partir de la potencia se calculó la energía a una velocidad constante de 4m/s para cada segmento.

Para calcular el costo de desplazamiento desde el centro de la ciudad hacia los alrededores, primero se calculó el costo de desplazamiento (energía) por unidad; a partir de este costo se rasterizó la capa de vías con un tamaño de píxel de 1 m.

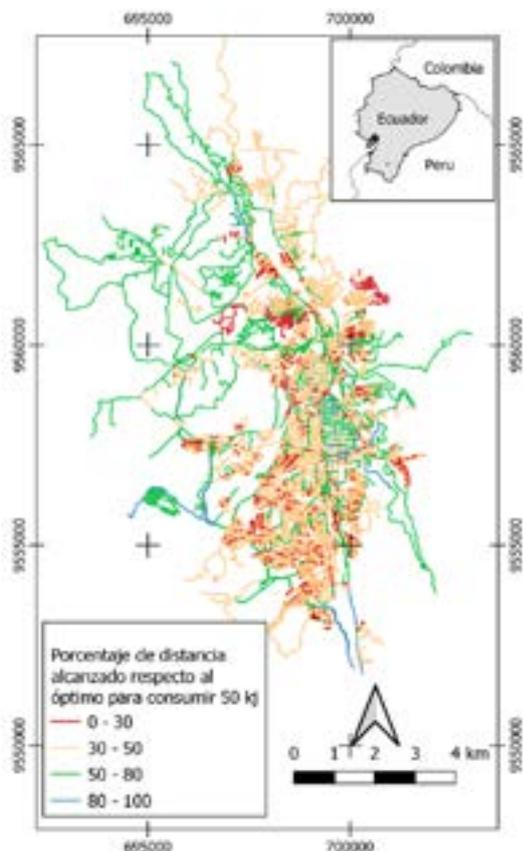
Aplicando la herramienta "r.cost.full" en QGIS (QGIS Development Team, 2021), se calculó el costo de desplazamiento desde cada píxel de la red de calles hasta el punto de interés ubicado en el centro de la ciudad. Luego, tomando como umbral de consumo máximo de energía de 50 kJ sugerido por Iseki & Tingstrom (2014), se reclasificó el ráster de accesibilidad, identificando tres zonas o anillos. En los límites de esas zonas se identificó la primera parada coincidente con un sitio de interés educativo, y a partir de esa parada se replicó la metodología utilizada, calculando nuevamente el costo de desplazamiento y reclasificando, para identificar las siguientes dos paradas más que estaban a 50 kJ. de esta parada y también a 50 kJ. del centro de la ciudad. Así se fueron identificando las paradas potenciales. Una vez identificadas estas paradas potenciales, se identificaron puntos de interés a una distancia de hasta 300 metros alrededor de estos puntos potenciales, cumpliendo entonces con los siguientes criterios:

- Que esté en el umbral de máximo consumo desde el punto (50 kJ, 100 kJ, o 150 kJ) desde centro (plaza central de la ciudad).

- Que esté en un umbral de máximo consumo desde el punto 50kJ calculado desde cada parada (sitio potencial).
- Que esté localizando zonas que sean: sitios de empleo, escuelas, áreas de compras, áreas recreacionales y paradas de tránsito (Greenstein, 2015).
- Que la calle seleccionada sea una de las más utilizadas por los ciclistas. Para esto, se usaron dos fuentes: la primera mediante una encuesta que fue aplicada a ciclistas, quienes determinaron las rutas y segmentos de calle que usan cotidianamente dentro del área central de la ciudad. Al espacializar estas rutas, se calculó el porcentaje de ciclistas que usan cada calle de la zona central. La segunda fuente, utilizada para identificar las calles del resto de la ciudad, fue el mapa de calor generado por Strava<sup>1</sup> a partir del registro de actividades que los ciclistas marcan como públicas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la muestra y de las fórmulas empleadas, con datos cuantitativos y cualitativos, se obtuvo los siguientes resultados. En los 739 km de vías existentes en el área de estudio, se pudo identificar que en las mejores condiciones de vía (pendiente plana y asfaltada), la distancia en la que un ciclista puede llegar a consumir 50 kj. es de 5.3 km. Una vez generado el mapa de energía consumida en cada segmento de calle, se puede evidenciar que solamente en el 3% de la longitud total de vías se podría consumir 50 kj. en una distancia de entre 4 a 5.3 km. En un 29% de la longitud de vías la distancia a alcanzar para consumir los 50 kj. sería de entre 2.7 a 4 km. En el 53% de las vías, por sus características de pendiente y/o tipo de calzada podrían consumirse 50 kj. en una distancia de entre 1.3 a 2.7 km, y finalmente, en el 15% de las vías la distancia a alcanzar para consumir 50 kj. será menor a 1.3 km. (figura 1).

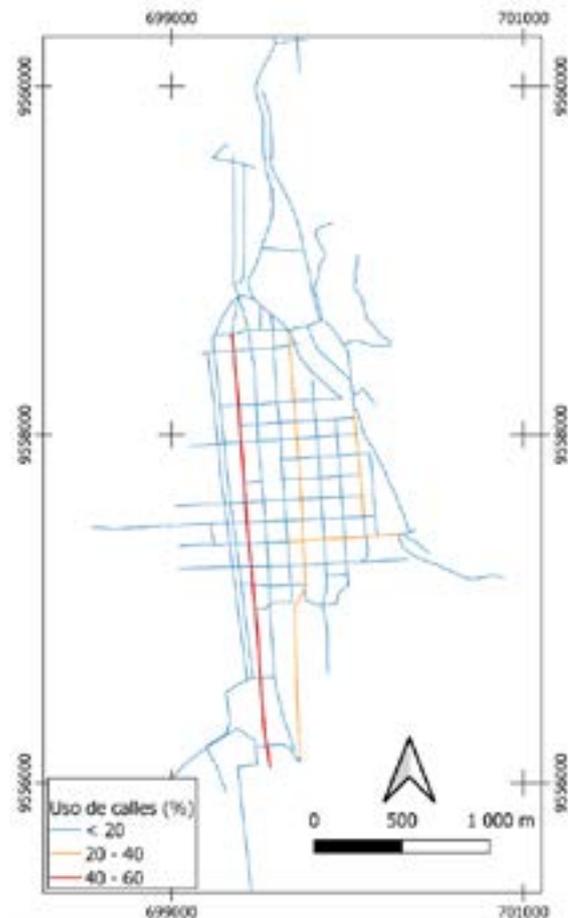


**Figura 1.** Mapa de clasificación de los segmentos de calle en función del porcentaje de distancia alcanzado (respecto a la distancia óptima) para consumir 50 kj.

A partir de estos datos, el área de influencia del sistema de bicicleta propuesto en Loja, tomando en cuenta un consumo máximo de energía de 50 kJ, cubre una superficie total de 5731,5 ha, representando un 58% del área urbana de la ciudad.

La metodología usada en el presente trabajo, recogiendo lo expuesto por Iseki y Tingstrom (2014) y también lo sugerido por Orellana *et al.* (2019), permitió identificar 23 localizaciones para estaciones de parqueo, divididas en tres anillos. La distribución de las estaciones implica un nivel de servicio estratificado, en el que el anillo céntrico contaría con una cobertura de 8 estaciones, siendo esta zona la más transitada por ciclistas de la ciudad; el anillo 2 contaría con una cobertura de 8 estaciones, mientras que el anillo 3, que es el más periférico, contaría con 7 estaciones. La topografía, al ser tan irregular, juega un papel importante en la cobertura de las estaciones, pues las áreas con mayores pendientes disminuyen considerablemente la distancia entre estaciones o sitios de parqueo (figura 3).

En el mapa del porcentaje de uso de las vías del centro de la ciudad (figura 2), se puede observar con líneas más marcadas (negras) los segmentos de la red vial de mayor recorrido debido a que por ahí pasa más del 40% de los ciclistas encuestados, mientras que las líneas más débiles (gris claro) representan los segmentos de calle por los que transitan menos del 20% de los ciclistas encuestados. Las zonas de mayor intensidad coinciden con la existencia de ciclovías, que sugieren aceptación de estos tramos por parte de la ciudadanía.

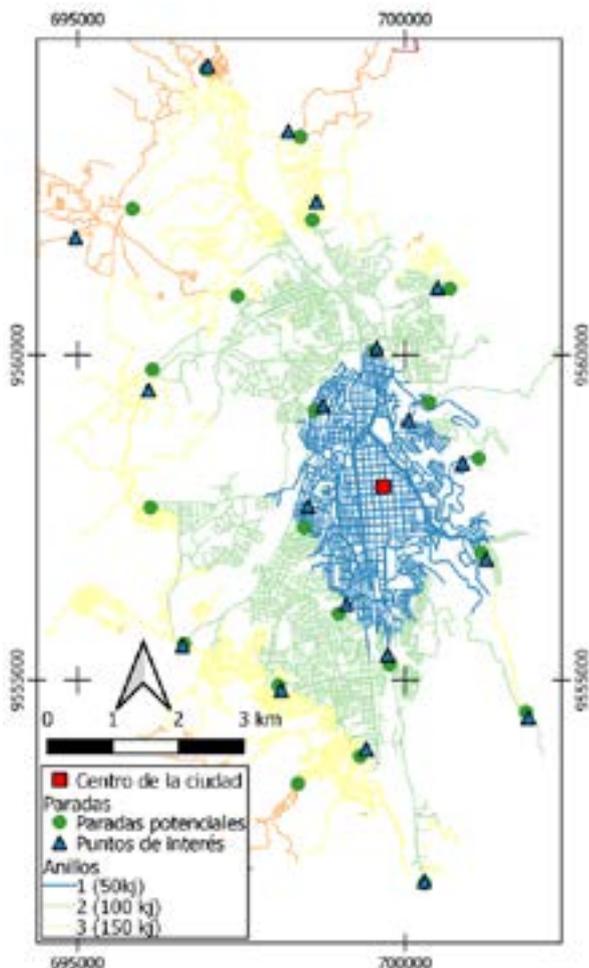


**Figura 2.** Porcentaje de uso de los segmentos de la red vial en el centro de la ciudad

<sup>1</sup><https://www.strava.com/heatmap#11.74/-79.26205/-4.01233/hot/all>

Estos resultados coinciden con los datos de intensidad que se pueden observar en el mapa de Strava que está disponible en la web<sup>2</sup>. Una de las ventajas que presenta el mapa de Strava es que, al cubrir una mayor área de la ciudad, permite identificar las zonas más transitadas por ciclistas y que pueden ser consideradas para la ampliación de la red de ciclovías. Es el caso de las avenidas que conectan el centro con: el sur de la ciudad, el sur-oriente, y el norte.

Con estas consideraciones, en la figura 3 se muestran además 19 puntos de interés para potenciales sitios de parqueo. Se consideran estos puntos de interés debido a que la ubicación de las estaciones es uno de los elementos más importantes en la implementación de esta infraestructura, ya que, si están mal ubicadas, estas comprometen el éxito del sistema (Frade & Ribeiro, 2015).



**Figura 3.** Mapa de localización de paradas potenciales y puntos de interés identificados en el área de estudio

La metodología usada en el presente trabajo, recogiendo lo expuesto por Iseki & Tingstrom (2014) con ajustes de Orellana *et al.* (2019), permitió identificar tres grandes anillos a partir del centro de la ciudad. Adicionalmente, tomando las consideraciones propuestas por Greenstein (2015), se identificaron con 23 paradas potenciales ubicadas en los límites de cada anillo y a una distancia máxima de la parada anterior correspondiente al umbral de energía de 50kj. Fueron identificados también 19 sitios de interés cercanos a estas paradas.

La importancia de la bicicleta ha sido reconocida en muchos países, como un medio de transporte que brinda beneficios ambientales, económicos y sociales, aportando a la reducción del tráfico, el ruido y

la contaminación, además de ayudar en la prevención de la obesidad, diabetes y otros problemas de salud (Greenstein, 2015). En este sentido, las ciclovías, junto con los componentes que la rodean (parqueaderos, bicicletas, ciclistas, entre otros), juegan un papel importante en el desarrollo de las ciudades, puesto que su implementación fomenta el uso de bicicleta (Sarmiento *et al.*, 2017).

Pese a que la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (Ecuador, 2014) establece varias políticas para fomentar el uso de la bicicleta, y también pese a que se han creado cuerpos legales adicionales a nivel local para fortalecer la movilidad alternativa y limpia, a través de una Ordenanza que regula el uso de la bicicleta y afines como medio de transporte sostenibles en el cantón Loja (Ordenanza 031-2021, 2021), todavía no existen suficientes experiencias en el ámbito ecuatoriano que desarrollen criterios que apoyen la toma de decisiones en torno a la implementación de ciclovías y su infraestructura relacionada. La presente propuesta busca aportar en la planificación vial de la ciudad y complementa las políticas públicas locales de impulso a la bicicleta como un medio de transporte, ya que permite crear espacios estratégicos de conectividad para la implementación de más ciclovías y sus componentes (estacionamientos), y con esto fomentar el uso de la bicicleta. Con ello se logrará conseguir una ciudad vanguardista que cuente con medios y canales de transporte sustentables en el tiempo.

## CONCLUSIONES

En este trabajo, se presentan los resultados de la aplicación sucesiva de la metodología para la identificación de paradas potenciales para parquear bicicletas planteada por Iseki & Tingstrom (2014) y modificada por Orellana *et al.* (2019). Al haber aplicado esta metodología de forma sucesiva se identificaron paradas potenciales que cumplan con la condición de estar ubicadas a una distancia definida por el umbral de consumo de energía entre las paradas ya identificadas anteriormente. De esta forma, es posible contar con una red de puntos potenciales para parqueaderos que disminuyan la probabilidad de fatiga de los ciclistas.

Se pudo identificar que la distancia recorrida hasta llegar a consumir 50 kj. es menor a la mitad de la distancia óptima en la mayor parte de las calles de la ciudad de Loja. Esta dificultad de movilizarse en bicicleta se debe especialmente a las características de pendiente, y lleva a plantear tres grandes anillos desde el centro de la ciudad e identificar 23 paradas potenciales, 19 de las cuales se encuentran cercanas a puntos de interés para parqueaderos de bicicleta. Estos resultados de identificación tanto de paradas como de anillos pueden ser la base para la planificación futura de paradas y rutas de ampliación de ciclovías a lo largo de la ciudad.

**Contribución de los autores:** Conceptualización, Reyes-Bueno, Mora; metodología, Reyes-Bueno, Mora; software, Reyes-Bueno, Mora; validación, Reyes-Bueno, Mora; análisis formal, Reyes-Bueno, Mora; investigación, Mora, Reyes-Bueno; recursos, Reyes-Bueno, Mora; curación de datos, Mora; redacción y preparación del borrador original, Mora; redacción, revisión y edición Reyes-Bueno, Mora; visualización, Reyes-Bueno, Mora. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del documento.

**Fuente de financiamiento:** Esta investigación no recibió financiamiento externo.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

<sup>2</sup><https://www.strava.com/heatmap#11.74/-79.26205/-4.01233/hot/all>

## REFERENCIAS

- Ebnealipour, S., Tehrani, M. masih, & Nazemian, H. (2020). Determining Fatigue Threshold according to Burned Calories for Energy Management in Pedal-Assist Electric Bike Riding. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 27(3), 20828–20833. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2020.27.004510>
- Ecuador, A. N. del. (2014). Ley 1. *Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial [LOTTTSV]*. <https://www.obras-publicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/LEY-1-LEY-ORGANICA-DE-TRANSPORTE-TERRESTRE-Y-SEGURIDAD-VIAL.pdf>
- Frade, I., & Ribeiro, A. (2015). Bike-sharing stations: A maximal covering location approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, 216–227. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.09.014>
- Fraser, S. D. S., & Lock, K. (2010). Cycling for transport and public health: a systematic review of the effect of the environment on cycling. *European Journal of Public Health*, 21(6), 738–743. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckq145>
- Greenstein, A. (2015). *Mapping bikeability : a spatial analysis on current and potential bikeability in Austin, Texas*. <http://hdl.handle.net/2152/32204>
- Iseki, H., & Tingstrom, M. (2014). A new approach for bikeshed analysis with consideration of topography, street connectivity, and energy consumption. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 166–177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.07.008>
- MAGAP. (2012). *Geoportal SIGTIERRAS*. <https://bit.ly/3jdyKv5>
- OpenStreetMap contributors. (2017). *Planet dump retrieved from https://planet.osm.org*.
- Ordenanza 031-2021, [Municipio de Loja]. (2021). *Ordenanza que regula el uso de la bicicleta y afines como medio de transporte sostenibles en el cantón Loja*. [https://www.loja.gob.ec/files/documentos/2021-06/ordenanza\\_031-2021\\_bicicletas.pdf](https://www.loja.gob.ec/files/documentos/2021-06/ordenanza_031-2021_bicicletas.pdf)
- Orellana, D., Martínez-Pesántez, I., Pulla-Tenemaza, P., & Tapia-Sisallima, A. (2019). Pedalear sin fatigarse: análisis de infraestructura ciclística urbana basado en la energía del pedaleo. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 65(2), 273–292. <https://doi.org/https://doi.org/10.5565/rev/dag.514>
- Plasencia-Lozano, P. (2021). Evaluation of a New Urban Cycling Infrastructure in Cáceres (Spain). *Sustainability*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/su13041910>
- Pucher, J., Dill, J., & Handy, S. (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *Preventive Medicine*, 50, S106–S125. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2009.07.028>
- QGIS Development Team. (2021). *QGIS Geographic Information System*. <https://www.qgis.org>
- Sarmiento, O. L., Díaz del Castillo, A., Triana, C. A., Acevedo, M. J., Gonzalez, S. A., & Pratt, M. (2017). Reclaiming the streets for people: Insights from Ciclovías Recreativas in Latin America. *Preventive Medicine*, 103, S34–S40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.07.028>
- SENPLADES. (2017). *Proyecciones y estudios demográficos*. <https://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>