DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI

ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 14 No. Especial 3 (2026) 199-212

Diagnóstico Integral de la Actual Red Ciclista en la Ciudad de Pachuca Hidalgo
Comprehensive Assessment of the Bicycle Network in the City of Pachuca Hidalgo

Alma Lizbeth Vite-Hernández[a], Lesly Judith Cano-Bautista[a,*], Christhopher Contreras-López[a], Jairo Armando Lozano-Hernández[a], Marco Antonio Escamilla-García[a], Humberto Iván Navarro-Gómez[a]

[a] *Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.*

Resumen

La implementación de infraestructura ciclista en el tejido urbano, como parte de las actuales políticas públicas respecto a la movilidad activa, no garantiza transformaciones sustantivas en los patrones de movilidad, por ello, resulta indispensable contar con una visión integral de las condiciones y del funcionamiento actual de las rutas construidas, que permita la visualización de los problemas y cualidades de las vías ciclistas con relación a su contexto. El objetivo fue desarrollar un diagnóstico de la infraestructura ciclista existente en Pachuca, Hidalgo, mediante el análisis y evaluación de cada vía con respecto a los factores físico-naturales, sociales, artificiales y perceptuales, normalizados en una escala de 0-1, con apoyo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de un análisis de criterio múltiple por transectos lineales. Los resultados muestran vulnerabilidades físico-naturales, falta de continuidad y baja conectividad de la red, así como la influencia de factores sensoriales, que, en conjunto, evidencian que el entorno condiciona la efectividad de las rutas ciclistas.

Palabras Clave: Movilidad, Red Ciclista, Transectos lineales, Normalización de factores, Diagnóstico Integral.

Abstract

The implementation of cycling infrastructure in the urban layout, as part of current policies on active mobility, does not guarantee substantial changes in mobility patterns; therefore, it is essential to have a comprehensive view of the conditions and current functioning of the routes that have been built, allowing for the identification of the problems and strengths of cycling routes in relation to their context. The objective was to develop a diagnostic of the cyclist infrastructure in Pachuca, Hidalgo, by analyzing and evaluating each route with respect to physical-natural, social, artificial, and perceptual factors, standardized on a scale of 0–1, using Geographic Information Systems (GIS) and a multi-criteria analysis based on linear transects. The results reveal physical-natural vulnerabilities, a lack of continuity, and low network connectivity, as well as the influence of sensory factors, which, taken together, demonstrate that the environment determines the effectiveness of bicycle routes.

Keywords: Mobility, Bicycle Network, Linear Transects, Factor Standardization, Comprehensive Assessment.

1. Introducción

Actualmente, más de la mitad de la población reside en ciudades y metrópolis, y se prevé que en las próximas décadas se incremente el tamaño y distribución espacial de la población mundial, además de que se estima que, para mediados del siglo XXI, el 66% de la población se encontrará en las zonas urbanas (United Nations, 2015). Es así que, a medida que más personas se sienten atraídas por las ciudades en busca de oportunidades económicas, culturales y educativas, las áreas urbanas se expanden a un ritmo superior al crecimiento poblacional (Venter et al., 2021). Estas tendencias de urbanización modifican la estructura de las urbes, porque se requiere más terreno para satisfacer la demanda de vivienda, comercio, equipamiento e infraestructura urbana, lo que conlleva una grave amenaza para el desarrollo sostenible, ya que, entre las dificultades asociadas con esta urbanización espontánea se encuentran, los desplazamientos prolongados, la insuficiencia de infraestructura adecuada para la correcta movilidad, las limitaciones de la gobernanza urbana y los modelos inadecuados de financiación (Manupati et al., 2018).

*Autor para la correspondencia: ca400506@uaeh.edu.mx
Correo electrónico: vi380663@uaeh.edu.mx (Alma Lizbeth Vite-Hernández), ca400506@uaeh.edu.mx (Lesly Judith Cano-Bautista), christhopher_contreras@uaeh.edu.mx (Christhopher Contreras-López), jairo_lozano@uaeh.edu.mx (Jairo Armando Lozano-Hernández), marco_escamilla@uaeh.edu.mx (Marco Antonio Escamilla-García), humberto_navarro@uaeh.edu.mx (Humberto Iván Navarro-Gómez)

Historial del manuscrito: recibido el 08/06/2026, última versión-revisada recibida el 18/08/2026, aceptado el 05/09/2026, publicado el 06/11/2026. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial3.18107

Por lo tanto, el aumento de la extensión espacial de las ciudades y la consiguiente disminución de la densidad poblacional, incrementa los costos sociales asociados con desplazamientos más largos, provocando contaminación y congestión vial, lo que genera gastos económicos mayores de movilidad para la ciudadanía (Carruthers y Ulfarsson, 2003). Lo anterior, se relaciona con la dispersión de los patrones de viaje y la dependencia de los desplazamientos cotidianos prolongados, que tienen implicaciones en el estrés y la merma económica de la población, y que pueden aumentar la marginación (Lucas, 2011), además de reforzar la dependencia de los vehículos motorizados, tanto públicos como particulares (Oviedo Hernández y Titheridge, 2016). Consecuentemente, si la movilidad se analiza como el desplazamiento de la población, y este desplazamiento consume recursos, es necesaria la comprensión de la movilidad urbana a partir del concepto de sostenibilidad, no solamente por sus efectos ambientales, sino también para reducir problemas sociales y económicos, como las enfermedades asociadas con el sedentarismo y la contaminación, así como los costos que involucran, tanto el desplazamiento pronunciado de las personas, como la gestión y construcción del espacio público necesario (Beltrán Martínez et al., 2020).

Ante los problemas públicos derivados de la dispersión de los patrones de viaje y de la dependencia de los vehículos automotores, la movilidad urbana sostenible se ha consolidado como un eje estratégico de la planificación territorial, por su contribución a la reducción de emisiones, la mejora en la salud pública y la eficiencia en general de este sistema de transporte (Ahmed et al., 2024). En este marco, la movilidad activa ha adquirido relevancia en las políticas públicas orientadas a la sostenibilidad urbana y a la promoción de estilos de vida físicamente activos, debido a que, la incorporación del uso de la bicicleta en los desplazamientos cotidianos, constituye una estrategia para incrementar los niveles de actividad física de la población y avanzar hacia los sistemas de transporte cada vez más sostenibles, por lo que los Estados Miembros de la Organización Mundial de la Salud (OMS), han promovido la implementación de infraestructura ciclista como una herramienta de intervención pública (WHO, 2018).

Sin embargo, el diseño de las políticas públicas de movilidad activa y su materialización en infraestructura ciclista en el tejido urbano no garantizan transformaciones sustantivas en los patrones de movilidad, ya que los desplazamientos en bicicleta están influidos por la combinación de factores individuales, sociales y contextuales, entre los que se incluyen las características del entorno natural y urbano, las condiciones de seguridad y accesibilidad, así como la disponibilidad de infraestructura (Heinen et al., 2010). Asimismo, el medio ambiente natural, además de la densidad, la diversidad de usos y la conectividad del entorno construido, desempeñan un papel importante en la elección de los viajes (Ewing y Cervero, 2010), por lo que el desempeño funcional de una red ciclista depende de su inserción territorial, además de las condiciones urbanas que la rodean, y sus efectos tienden a ser mayores cuando las vías forman parte de redes continuas, coherentes e integradas (Fishman, 2016).

Desde esta perspectiva, la implementación de una política pública de movilidad, como la infraestructura ciclista, debe articularse con su medio ambiente y el entorno construido (Heinen et al., 2010), por lo que el objetivo del presente trabajo es desarrollar un diagnóstico de la red ciclista existente en la ciudad de Pachuca, Hidalgo, mediante el análisis y la evaluación de los factores físico-naturales, sociales, artificiales y perceptuales que influyen en el entorno, con el uso de transectos que permiten la puntual evaluación de cada ruta ciclista construida y que posibilite la visualización de las problemáticas y las cualidades de su entorno, como parte del impacto de las políticas públicas asociadas a la movilidad activa, y que esto genere una base para la toma de decisiones sobre la rehabilitación, actualización y la expansión de la red ciclista existente, para su correcto funcionamiento en la trama urbana.

2. Antecedentes

Como ya se citó, la OMS, ha promovido la implementación de infraestructura ciclista como una herramienta de intervención pública (WHO, 2018). En el ámbito mexicano, conforme al Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (Gobierno de México, 2013), se integró un conjunto de instrumentos de planeación alineados con estos objetivos, entre ellos, la Estrategia Nacional de Movilidad Urbana Sustentable, publicada en 2014 (SEDATU, 2018), en la que se reconoce la necesidad de consolidar una política integral mediante el fortalecimiento de los marcos normativos y de las capacidades técnicas locales, así como la promoción de políticas y proyectos de movilidad urbana sustentable.

En concordancia con lo anterior, la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, establece la preservación de espacios para el tránsito peatonal y ciclista, además de regular el uso, aprovechamiento y custodia del espacio público, dentro de los Planes Municipales de Desarrollo Urbano (LGAHOTDU, 2016). Asimismo, la NOM-004-SEDATU-2023 establece acciones para garantizar el acceso pleno en igualdad de condiciones, con dignidad y autonomía a todas las personas al espacio público; conformando así, una red de vías de circulación, orientadas a las personas ciclistas, permitiendo el desplazamiento de forma segura, eficiente y cómoda. No obstante, la evidencia indica que la implementación de las políticas públicas ha favorecido las condiciones de movilidad de los sectores de la población que cuentan con mayores privilegios, relegando las necesidades de la población vulnerable, aumentando las condiciones de marginación y desigualdad, y promoviendo desarrollos inmobiliarios distantes, dispersos y desconectados (SEDATU, 2018).

En el contexto local, el Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Pachuca (PMDU), planteó la desconcentración de las rutas de transporte del centro histórico y el establecimiento de un sistema integral de movilidad sustentable basado en vías verdes, mediante el aprovechamiento de derechos de vía para la creación de senderos peatonales, ciclorutas y eventualmente, la incorporación de transporte público masivo (Ayuntamiento de Pachuca, 2012). Durante la administración municipal 2012-2016, se propuso la creación de hasta 40 kilómetros (km) de senderos y ciclorutas, posteriormente, entre 2016 y 2020 se formuló el Plan Maestro de Movilidad Sustentable de Senderos y Ciclorutas para complementar la infraestructura existente. Estos antecedentes dieron paso al Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable para la Zona Metropolitana de Pachuca (PIMUS) emitido en 2021 (Secretaría de Movilidad y Transporte de Hidalgo, 2021). El PIMUS estableció horizontes de planeación para 2021, 2026, 2031 y 2051, considerando

variables de población, empleo y distribución espacial de las actividades urbanas. En sus propuestas de movilidad activa, el PIMUS incorporó el concepto de "calle completa", estableciendo que las vialidades deben integrar infraestructura para peatones, ciclistas y transporte público, además, propuso ampliar la red ciclista mediante ciclovías segregadas, carriles compartidos, cruces seguros y biciestacionamientos.

3. Metodología

Para diagnosticar a la infraestructura ciclista existente en Pachuca, Hidalgo, se realizó un análisis del territorio, con una visión integral sobre el funcionamiento de los factores naturales y antrópicos del sitio y que lleva a la obtención del comportamiento específico de la zona de estudio para la generación de una base fundamentada para la toma de decisiones (Peña Baños et al., 2025), en este caso, de la infraestructura ciclista. En una primera etapa, se ubicó en el espacio a la trama urbana de la ciudad de Pachuca, más las seis rutas ciclistas que existen actualmente, mediante Sistemas de Información Geográfica, utilizando ArcGIS Pro 3.6.0 versión educativa avanzada.

Posteriormente, se recopilaron y homologaron las capas temáticas del territorio para la identificación de las problemáticas y las cualidades de cada vía ciclista en el caso de estudio mediante un análisis de criterio múltiple, ya que es el apropiado para examinar de manera simultánea la heterogeneidad territorial de una condición o proceso específico (Cruz Ortíz et al., 2020). Para este caso, se utilizó el método de transectos lineales, es decir, recorridos en los que se registran observaciones dentro del territorio en una franja de análisis (Muñoz Conde y Herrera Hueso, 2001), adecuado para elementos lineales, como es la infraestructura ciclista. Los datos de cada factor en los transectos se normalizaron en una escala del 0-1 y se analizaron por cada variable para establecer un criterio coherente acerca de la construcción en el territorio de las actuales vías ciclistas en la ciudad. Con los resultados se puede visualizar el comportamiento de la infraestructura ciclista en Pachuca, tanto de manera natural, como antrópica de cada tramo y ofrecer un diagnóstico que tome en cuenta tanto los problemas, como las cualidades de cada tramo de ruta y que esto sea una base para la toma de decisiones.

3.1. Infraestructura ciclista en Pachuca

El caso de estudio es el municipio de Pachuca de Soto, donde se implementó una política pública de movilidad sustentable entre el año 2012 y 2016, a partir de lo establecido en el PMDU (Ayuntamiento de Pachuca, 2012), y con continuidad en instrumentos posteriores, como el PIMUS, que contempla la ampliación de las rutas ciclistas.

Es así que, en el municipio se construyeron seis tramos de infraestructura ciclista, como se aprecia en la Figura 1. El primer tramo (C1) recorre el bulevar Rojo Gómez, desde la Central de Autobuses hasta el viaducto Río de las Avenidas, en ambos sentidos del boulevard; después da vuelta en el bulevar Valle de San Javier, desde Javier Rojo Gómez hasta la calle Valle de Santa Ana. El segundo (C2) sigue la antigua vía del ferrocarril denominada actualmente como calle de Maestranza, desde Carlos Castelán hasta la avenida Benito Juárez, donde cambia de nombre la calle a Ferrocarriles Nacionales y llega hasta el bulevar Javier Rojo Gómez y prosigue por el viaducto Río de las Avenidas hasta el bulevar Luis Donaldo Colosio. El tercero (C3) se traza sobre viaducto Río de las Avenidas, desde el bulevar Everardo Márquez hasta la avenida Eliseo Ramírez Ulloa. El tramo cuarto (C4) recorre la avenida Eliseo Ramírez Ulloa, hasta su cruce con la calle Paul Harris, y continúa sobre ésta última calle hasta el Parque Hidalgo, y de ahí, prosigue

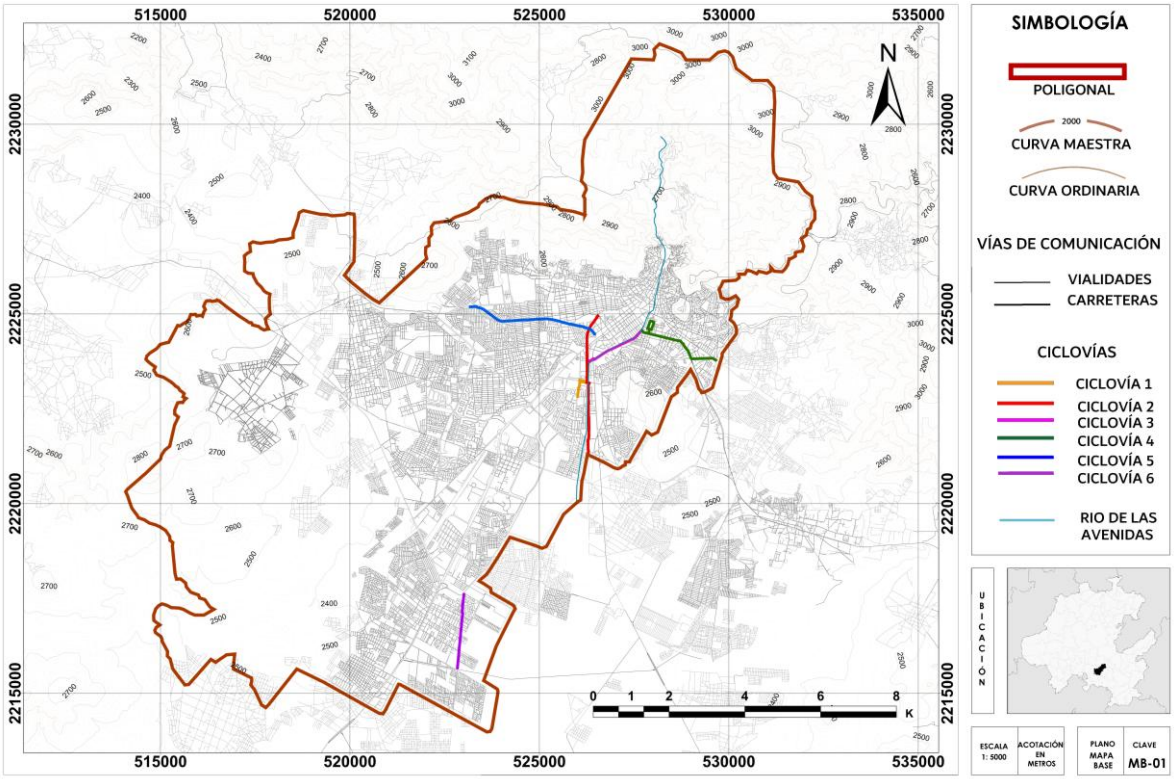


Figura 1: Elaboración propia a partir del levantamiento en sitio de las rutas ciclistas y de la base de datos de INEGI (2021).

por la avenida Francisco I. Madero, posteriormente, se extiende en esta avenida, desde la calle Orquídea hasta la avenida Universidad y recorre esta última vía, desde Francisco I. Madero hasta el bulevar Luis Donaldo Colosio. El tramo quinto (C5) sigue la antigua línea de ferrocarril sobre la calle Ferrocarril Hidalgo, desde el bulevar Minero hasta la avenida Cuauhtémoc. El tramo sexto (C6), en el sur de la ciudad, se trazó sobre el antiguo camino de Ferrocarril Central, desde la avenida de los Cisnes Sur hasta la avenida de las Torres.

3.2. Datos colectados para los transectos lineales

Como ya se mencionó, se empleó el método de transectos lineales, consistente en recorridos en los que se registran observaciones del territorio en una franja de análisis (Muñoz Conde y Herrera Hueso, 2001). Este método es adecuado para la observación de elementos naturales lineales, como ríos y arroyos, o para infraestructura lineal, como calles y carreteras, en el territorio, que, para el presente caso, fue la infraestructura ciclista del municipio de Pachuca de Soto. Una vez realizados los transectos, cada factor F_i fue evaluado de acuerdo a la importancia que tiene para el diseño y la construcción de una infraestructura ciclista y se codificó en una escala normalizada (0-1), como se percibe en la Tabla 1, cabe destacar que cuando un factor F_i presenta dos o más valores dentro de un mismo tramo ciclista, se calcula el promedio aritmético, de acuerdo al porcentaje *Pi* en que incide cada valor *Vi,* dentro de la infraestructura ciclista, con la siguiente fórmula.

$$Fi = \sum_{i=1}^{n} (Pi \cdot Vi)$$

Tabla 1: Factores normalizados

Factores	Características	Unidad	Nivel de importancia	Rangos
Físico-naturales				
Pendientes por peligrosidad a la inundación	2 – 5°	Por peligro	1	Muy alto
	5 – 15°		0.75	Alto
	15 – 30°		0.5	Moderado
	0 – 2°		0.25	Bajo
	>30°		0.1	Muy bajo
Geología	Áreas formadas por rocas	Por condición	1	Muy alto
	Zonas de transición		0.5	Moderado
	Lacustre y aluviones		0.1	Muy bajo
Escurrimientos superficiales	Interfluvios	Por tipo	1	Muy alto
	Escurrimientos		0.5	Moderado
	Zonas de inundación		0.1	Muy bajo
Escurrimientos subterráneos	Consolidado con posibilidades bajas	Por tipo	1	Muy alto
	Consolidado con posibilidades medias		0.75	Alto
	No consolidado con posibilidades bajas		0.5	Moderado
	No consolidado con posibilidades medias		0.25	Bajo
	No consolidado con posibilidades altas		0.1	Muy bajo
Edafología	Leptosol	Por nutrientes	1	Muy alto
	Regosol		0.75	Alto
			0.5	Moderado
			0.25	Bajo
	Luvisol		0.1	Muy bajo
	Cambisol y vertisol			
	Phaeozem			
Vegetación	Sin ecosistemas	Por tipo	1	Muy alto
	Ecosistemas cercanos		0.5	Moderado
	Sobre ecosistemas		0.1	Muy bajo
Sociales				
Densidad de población	Muy alta	Tipo	1	Muy alto
	Alta		0.75	Alto
	Media		0.5	Moderado
	Baja		0.25	Bajo
	Muy baja		0.1	Muy bajo
Densidad de vivienda	Muy alta	Tipo	1	Muy alto
	Alta		0.75	Alto
	Media		0.5	Moderado
	Baja		0.25	Bajo
	Muy baja		0.1	Muy bajo
Contexto	Rural	Tipo	1	Muy alto
	Periurbano		0.5	Moderado
	Urbano		0.1	Muy bajo
Marginación	Muy alta	Tipo	1	Muy alto
	Alta		0.75	Alto
	Media		0.5	Moderado
	Baja		0.25	Bajo
	Muy baja		0.1	Muy bajo
Artificiales				
Uso de suelo urbano	Habitacional	Tipo	1	Muy alto
	Mixto		0.75	Alto
	Servicios		0.5	Moderado
	Comercial		0.25	Bajo
	Industrial		0.1	Muy bajo
Equipamiento urbano	Recreación y deporte	Tipo	1	Muy alto
	Educación y cultura		0.75	Alto
	Comercio y abasto		0.5	Moderado
	Salud y asistencia		0.25	Bajo
	Administración pública		0.1	Muy bajo
Continuidad de la infraestructura ciclista	Señalética en todos los cruces	Porcentaje	1	Muy alto
	75% de cruces con señalética		0.75	Alto
	50% de cruces con señalética		0.5	Moderado
	25% de cruces con señalética		0.25	Bajo
	Menos del 25% de cruces con señalética		0.1	Muy bajo
Perceptuales				
Vista	Verde	Tipo	1	Muy alto
	Multicolor		0.5	Moderado
	Blanco y negro o gris		0.1	Muy bajo
Audición	Sonidos agradables	Tipo	1	Muy alto
	Combinación de sonidos y ruidos		0.5	Moderado
	Ruidos desagradables		0.1	Muy bajo
Olfato	Aromas agradables	Tipo	1	Muy alto
	Combinación de aromas y olores		0.5	Moderado
	Olores desagradables		0.1	Muy bajo

Cabe mencionar, que la escala no constituye un índice global de aptitud y los factores no se suman entre sí. En los factores físico-naturales, artificiales y perceptuales, el valor 1 corresponde a la condición más favorable definida para el criterio; en las variables de contexto y marginación, el valor 1 representa la mayor prioridad de atención social. Por tanto,

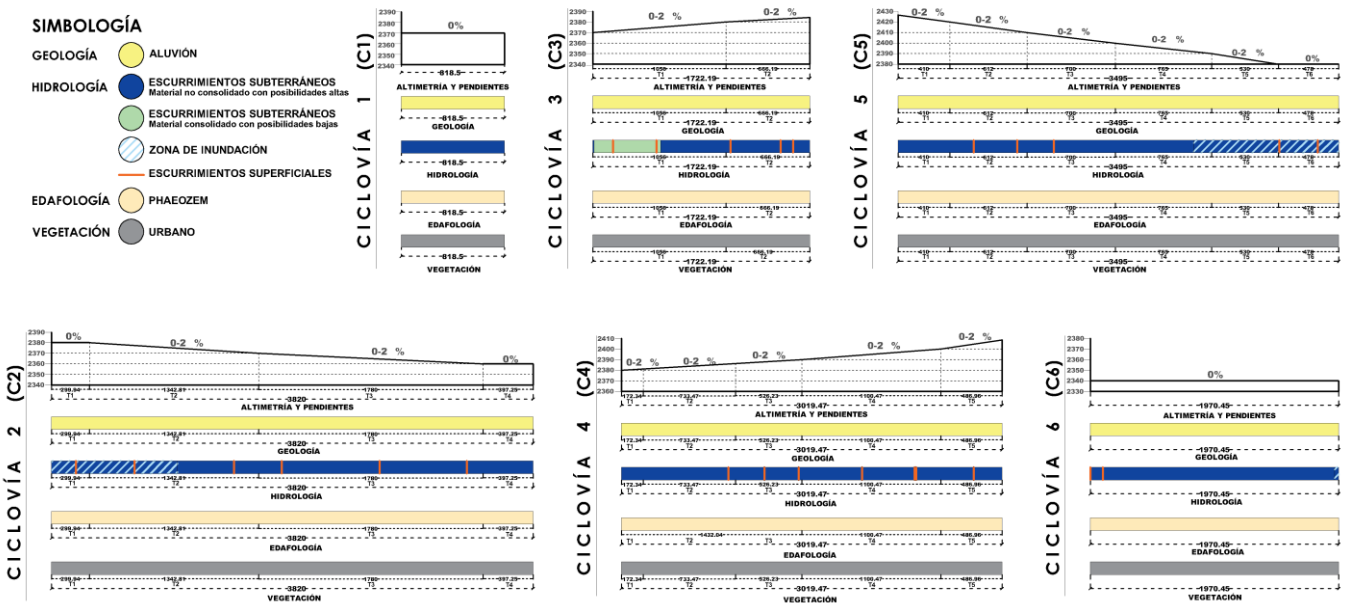


Figura 2: Elaboración propia de transectos de factores naturales a partir de las distintas bases de datos e inspecciones visuales.

cada variable debe interpretarse de forma independiente y conforme al sentido analítico indicado.

Es así que, los datos colectados ponderados en la Tabla 1, en cuanto a los factores físico-naturales que se analizaron, incluyeron los aspectos geomorfológicos de la región, como se muestra en la Figura 2. Las pendientes se elaboraron a partir de los datos del modelo digital de elevación de Pachuca de Soto (INEGI, 2000), utilizando el programa ArcGIS Pro 3.6.0 versión educacional avanzada, donde se utilizó una reclasificación de los rangos de pendientes mayormente utilizadas en México, considerando, de 0° a 2°, planicie; 2° a 5°, ligeramente inclinado; 5° a 15°, moderadamente inclinado; 15° a 30°, inclinado y mayor a 30° fuertemente inclinado (Contreras López et al., 2023). Para el diseño de una ruta ciclista, debido a que la bicicleta no tiene motor, lo recomendable es utilizar pendientes menores de 3 % (Flores Juca et al., 2024), no obstante, las pendientes menores del 2 %, desarrollan un proceso de anegación cuando el agua incide en la superficie (Olivera Acosta et al., 2011), por lo que se consideraron las dos opciones y contener a la facilidad de pedaleo, además del drenaje superficial para la construcción de una infraestructura ciclista, es así que, se tomaron las pendientes de 2-5° con un rango muy alto, de 5-15° alto, de 15-30° moderado, 0-2° bajo, por la peligrosidad a la inundación y >30° muy bajo. Los datos geológicos se obtuvieron de la Carta Geológico-Minera del Estado de Hidalgo (SGM, 2007), y se valoraron según su condición para la cimentación, con base en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2024), donde las áreas formadas por rocas recibieron un rango muy alto, las zonas de transición en rango moderado y los depósitos lacustres y aluviales, un rango muy bajo.

Para la hidrología, se analizaron los escurrimientos superficiales a partir de las corrientes fluviales obtenidas y representadas a partir de la carta topográfica del territorio

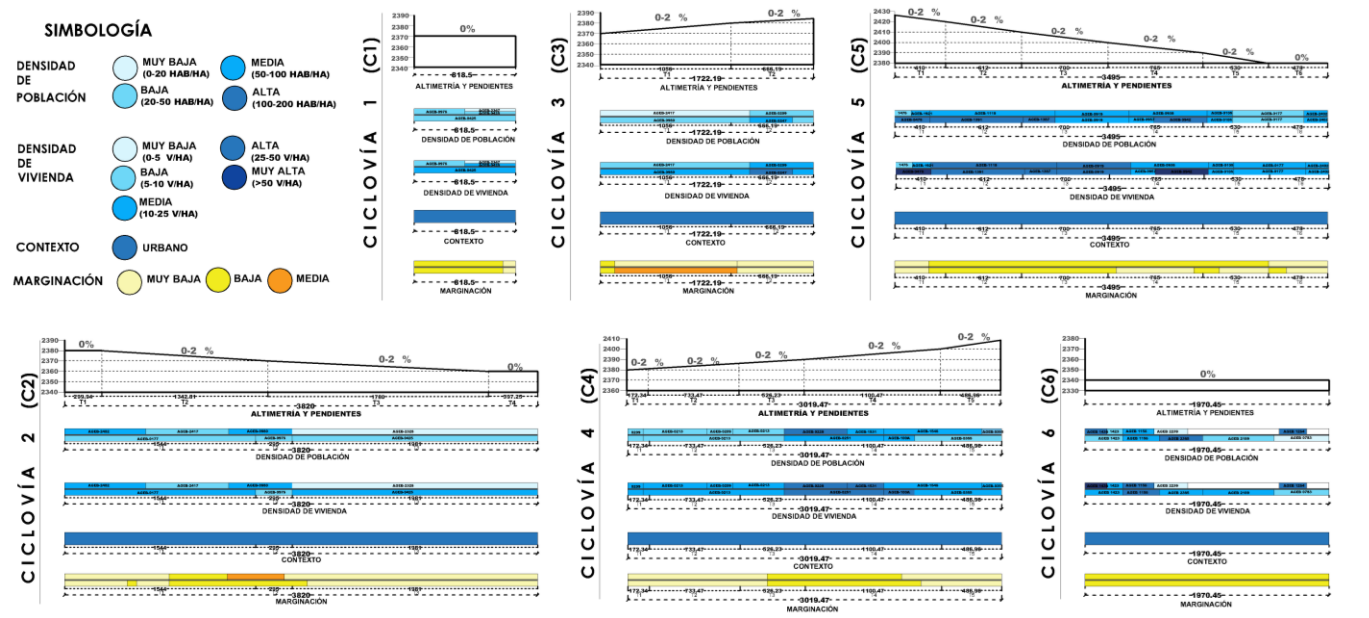


Figura 3: Elaboración propia de transectos de factores sociales a partir de las distintas bases de datos de INEGI.

(Peña Baños et al., 2025), por lo que la infraestructura ubicada en los interfluvios recibió el valor más alto, los tramos atravesados por los escurrimientos recibieron un valor moderado, y muy bajo para las zonas donde se identificó inundación latente. Por otro lado, los escurrimientos subterráneos se obtuvieron de la información cartográfica hidrológica (INEGI, 1981), donde se definieron las unidades consolidadas con posibilidades bajas en rango muy alto, posibilidades medias en alto, unidades no consolidadas, pero con posibilidades bajas en moderado, posibilidades medias en bajo y altas en muy bajo.

Los datos edafológicos se obtuvieron de la Carta de Edafología Serie II (INEGI, 2013), y los valores se definieron por los rangos conforme a los nutrientes, es decir, que entre menos nutrientes tenga el suelo, es más apto para construir una infraestructura y, entre más nutrientes, es más apto para otro tipo de uso de suelo. Por lo que, el leptosol se ubicó en el rango más alto; seguido de regosol, en el alto; luvisol en el moderado, cambisol y vertisol en el rango bajo y finalmente phaeozem en el muy bajo. Finalmente, la vegetación se obtuvo de la carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (INEGI, 2015), donde se ponderó en rango muy alto, a las vías que no perturban a los ecosistemas; con valor moderado, donde los ecosistemas están cercanos a la infraestructura; y con valor muy bajo, si las rutas ciclistas se encuentran superpuestas a los ecosistemas.

Con respecto a los factores sociales, que se presentan en la Tabla 1 y como se observa en la Figura 3, se analizaron las Áreas Geo-estadísticas Básicas urbanas (AGEB), del municipio de Pachuca de Soto (INEGI, 2023), con esta información se pudo obtener la densidad de población por AGEB en cada tramo de infraestructura ciclista, que se calculó dividiendo el número de habitantes de las bases de datos de INEGI (2020), entre la superficie de cada AGEB mediante el programa ArcGIS Pro. La densidad muy alta recibió un rango muy alto, seguido de la densidad alta, media, baja y más baja en el rango más pequeño. Además, se identificó el número de viviendas por cada AGEB (INEGI, 2020), y se calculó de la misma forma a la densidad de vivienda por AGEB en cada tramo de infraestructura ciclista, quedando la ponderación en el mismo sentido que la densidad de población. Para incorporar la dimensión de equidad territorial, con relación a que las personas con menores ingresos se enfrentan a más restricciones en cuanto al número de viajes que pueden realizar diariamente y esto se traduce en la limitación del mejoramiento de la vida urbana (Flores Lucero et al., 2022), se determinó el contexto a partir de los datos obtenidos del mapa de Uso de Suelo y vegetación Serie V (INEGI, 2015), asignando una ponderación muy alta de prioridad social a la zona rural, moderado a lo periurbano y baja a lo urbano. El grado de marginación, se codificó con el mismo enfoque, donde la marginación más alta se calificó con un grado muy alto, seguida de la marginación alta, media, baja y muy baja con el grado más pequeño. Estos dos valores expresan la prioridad de atención y no una condición óptima preexistente para pedalear.

Los datos colectados en la Tabla 1, para los factores artificiales, como se observa en la Figura 4, para la escala urbana, los usos del suelo urbano y el equipamiento se obtuvieron del PMDU del municipio de Pachuca (Ayuntamiento de Pachuca, 2012). En el uso de suelo, se asignó al uso habitacional con el rango más alto de 1, al mixto con 0.75, al de servicios con 0.50, al comercial con 0.25, y al industrial con 0.1. Para el equipamiento urbano, se le asignó 1 a las rutas ciclistas que pasaran por los equipamientos de recreación y deporte, 0.75 para educación y cultura, 0.50 para comercio y abasto, 0.25 para salud y asistencia y con 0.1, para la administración pública. La continuidad de la infraestructura que ofrece la red ciclista, se verificó mediante visitas de campo, donde se asignó valor de 1, si hay señalética en todos los cruces con calles; con 0.75, si presentaba señalética en por lo menos el 75% de los cruces; con 0.5, si hay para el 50%; 0.25, para el 25%; y 0.1 si menos del 25% de los cruces tienen señalética adecuada para la continuidad de las vías ciclistas.

Finalmente, los factores perceptuales, presentados en la Tabla 1, se desarrollaron, como se observa en la Figura 5, tomando como referencia una ficha perceptual que considera los atributos visuales, auditivos y olfativos (Corporación Patrimonio & Paisaje, 2015), a lo largo de la infraestructura ciclista, mediante visitas a las distintas vías. En la dimensión visual, se valoró la presencia de los colores relacionados al color verde, asociado a las zonas recreativas, como los parques,

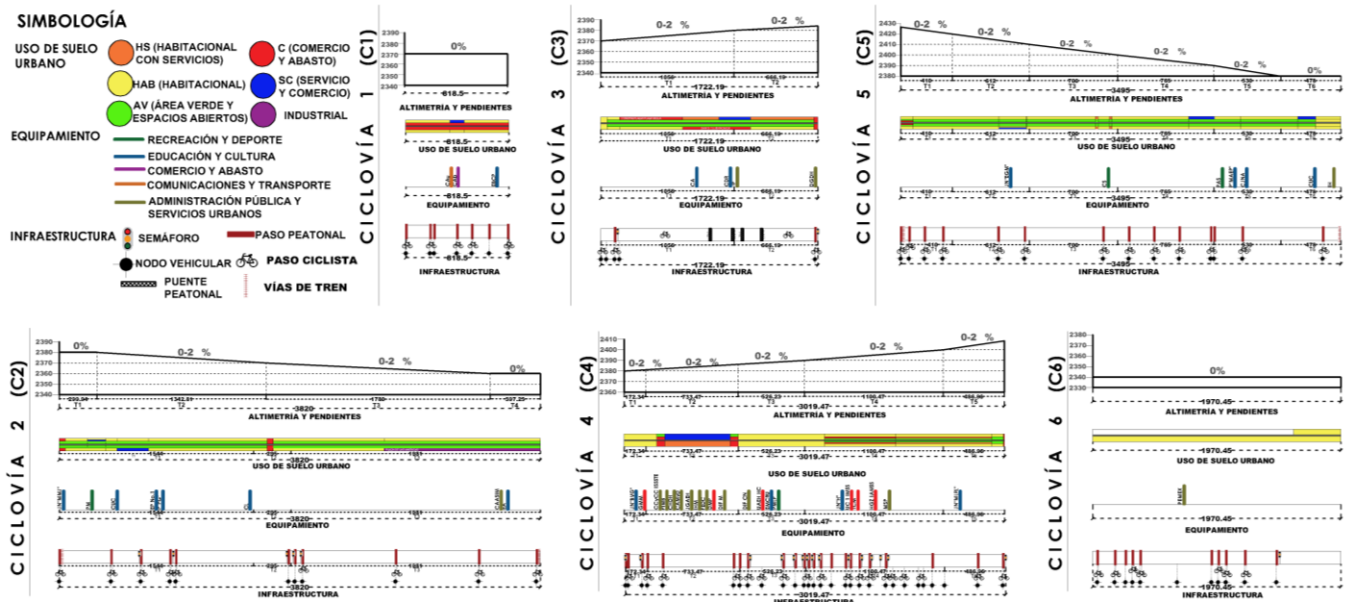


Figura 4: Elaboración propia de transectos de factores artificiales a partir de las distintas bases de datos e inspecciones visuales.

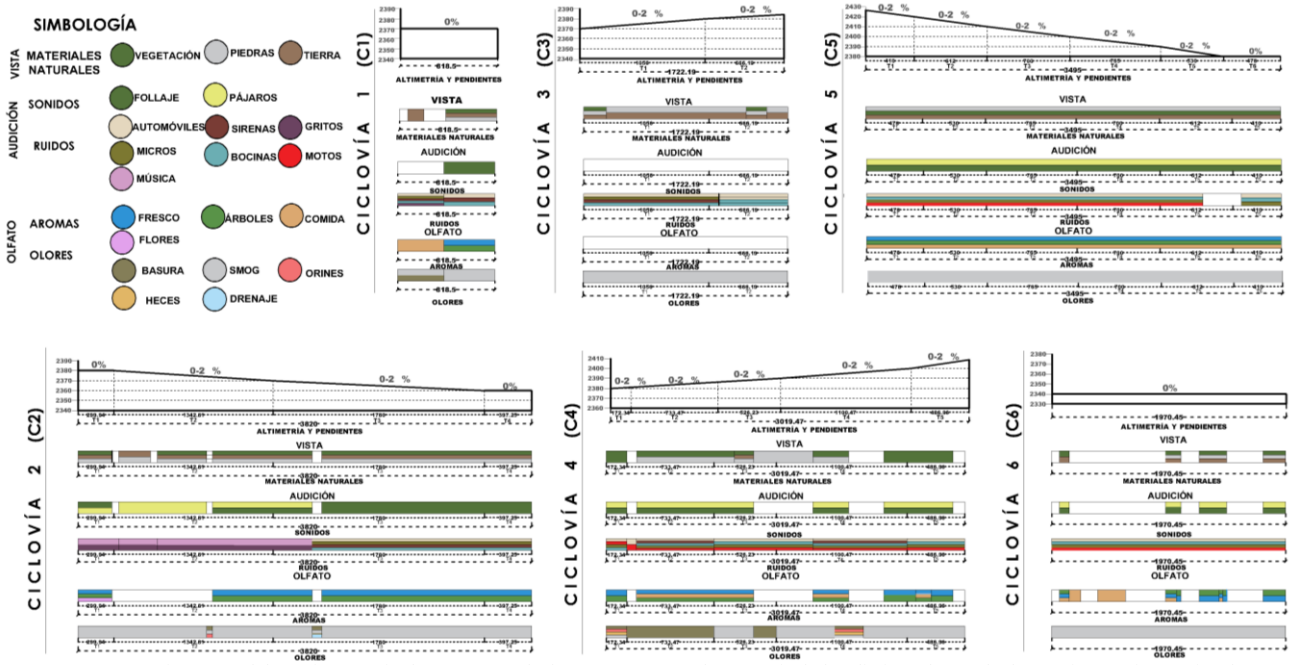


Figura 5: Elaboración propia de transectos de factores perceptuales a partir de las distintas bases de datos e inspecciones visuales.

que pueden ofrecer un entorno reparador y sanador con beneficios mentales y psicofisiológicos para las personas (Pasanen et al., 2023), en contraste con el cambio del color, sobre todo hacia el predominio de las tonalidades grises y blancas, que pueden relacionarse con afecciones a varios niveles y repercusiones negativas en cuanto a movilidad, falta de beneficios psicosociales y ambientales (Villalpando Flores, 2022). Por tanto, se asignó el valor 1 a las zonas con color verde; con 0.5 a los multicolores; y cuando tienden al blanco, negro o gris con 0.1, en ausencia del verde. Para la dimensión auditiva, se identificaron sonidos agradables como el de los pájaros, el viento en los árboles y los silencios, y ruidos desagradables como el del tráfico, las bocinas o los ladridos de perros, por lo que, se asignó el valor de 1, cuando hay sonidos agradables; la combinación de sonidos y ruidos en una zona, se valoró con 0.5; y solamente ruidos desagradables con 0.1. En la dimensión olfativa, se consideraron aromas agradables como las flores, tierra húmeda o comida, y olores desagradables, como la basura, el smog, la orina o el drenaje, por lo que se otorgó el valor 1, a los aromas agradables; 0.5 a la combinación de aromas y olores; y 0.1, cuando hay solamente olores desagradables.

4. Resultados y discusión

Los resultados de los factores físico-naturales, mostrados en la Figura 6, indican que toda la infraestructura ciclista de Pachuca tiene un rango bajo en cuanto a las pendientes, debido a que se encuentra construida entre los 0 y los 2°. Esta condición podría ser un rasgo a favor, ya que, como se mencionó, la bicicleta no tiene motor y lo recomendable es utilizar pendientes menores de 3 % (Flores Juca et al., 2024), sin embargo, la poca o nula inclinación de un terreno ofrece limitaciones, ya que esto propicia un proceso de encharcamiento cuando el agua incide en la superficie (Olivera Acosta et al., 2011), debido a que el rápido escurrimiento o anegamiento de un lugar, depende, entre otros factores, de la pendiente del terreno (García Bu Bucogen et al., 2021), lo que hace propensa a toda la infraestructura ciclista a las inundaciones en época de lluvias, dependiendo de factores naturales, como los escurrimientos, o factores artificiales, como las obras de drenaje. Con esta condición, lo ideal sería utilizar sistemas de drenaje urbano sostenible (SuDS), a partir de tecnologías LID (*Low Impact Development*), particularmente, las celdas de biorretención, como los jardines de lluvia o los corredores verdes y azules (Arvizu Juvera et al., 2025), sin embargo, el éxito de estos sistemas a partir de la mitigación de los encharcamientos por la poca pendiente, se ve limitado por la infiltración del suelo, el nivel freático, la compactación y la capacidad de secado entre eventos de lluvia (Salvatierra Moreira et al., 2026), por lo que se recomienda un análisis robusto de todos los factores que inciden en cada tramo ciclista para la implementación y éxito de estas tecnologías.

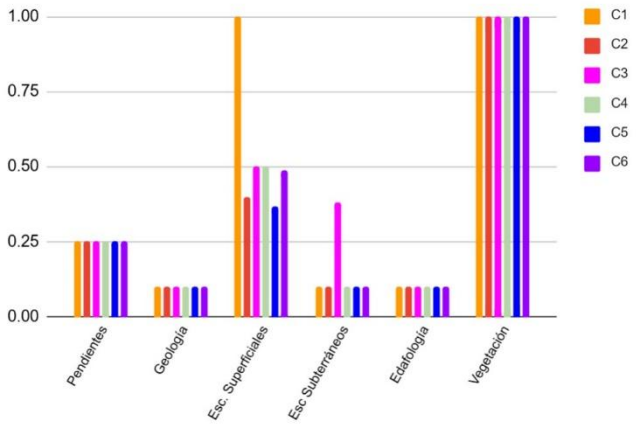


Figura 6: Comportamiento de las rutas ciclistas con relación a los factores físico-naturales.

En cuanto a la geología, al igual que la edafología, el rango es muy bajo en todas las rutas ciclistas, que significa que están en terrenos lacustres o aluviones, con suelos arcillosos, que se caracterizan por su resistencia baja al esfuerzo cortante, lo que reduce significativamente su capacidad de carga (Cuanalo Campos et al., 2016), que pueden generar grietas en los

pavimentos, asociadas muchas veces al hundimiento del subsuelo por la pérdida de humedad. Esto se refuerza con la inspección visual que se realizó en el sitio, donde se observó que las calzadas de las rutas ciclistas están formadas por diferentes configuraciones, en algunos tramos, la superficie de rodamiento forma parte de la calzada vehicular principal y otros cuentan con una plataforma independiente, además, en la mayoría de los tramos predominan los pavimentos flexibles de mezcla asfáltica, aunque también se identificó en una menor proporción superficies de concreto hidráulico.



Figura 7: Deterioro observado en la calzada de rodamiento en el tramo C3.



Figura 8: Deterioro observado en la calzada de rodamiento en el tramo C4.

Los deterioros observados, como los de las Figuras 7 y 8, están comprendidos por grietas longitudinales, transversales, diagonales e irregulares; agrietamientos de borde, ramificaciones, desprendimiento de material, reparaciones previas, presencia de vegetación, posibles depresiones y acumulación de agua. En pavimentos flexibles, las grietas longitudinales pueden asociarse a varias causas como juntas constructivas deficientes, pérdida de confinamiento lateral, compactación insuficiente o asentamientos diferenciales; las grietas transversales pueden deberse a contracción térmica, reflexión de discontinuidades inferiores, cambios de rigidez o movimientos diferenciales; el agrietamiento ramificado, acompañado de pérdida de material, humedad o vegetación, puede indicar deterioro progresivo de la carpeta y posible afectación de la base, sub-base o sub-rasante. Por lo que, en general, las rutas ciclistas presentan una condición heterogénea: algunos tramos requieren mantenimiento preventivo, mientras que otros muestran indicios de un deterioro considerable en ocasiones compatibles con la pérdida de soporte, drenaje deficiente, asentamientos diferenciales y fatiga. Considerando que el estudio estuvo basado en una inspección visual y fotográfica, se hacen recomendaciones generales para enriquecer un diagnostico estructural, como: realizar una inspección de campo completa con la inclusión de la medición de abertura, longitud, extensión de las grietas; ejecutar calas, extracción de núcleos y ensayos de materiales en los sectores críticos, además de revisar pendientes y drenaje.

Asimismo, todas las rutas se encuentran en un suelo phaeozem, que es un suelo arcilloso de color superficial pardo negro y fértil (INEGI, 2011), por lo regular muy apto para fines productivos como la agricultura, por lo que una infraestructura como la ciclista, causa una impermeabilización de la superficie y su mezcla con materiales de relleno posibilitan que el suelo pierda sus nutrientes, tienda a alcalinizarse y contaminarse con metales pesados y derivados del petróleo, además de que esto favorece su compactación, por lo que se limita la aireación, el drenaje y el almacenamiento de la humedad (Cram et al., 2008). Además, de que la Carta de Edafología (INEGI, 2013), advierte que existe un horizonte endurecido en los primeros 100 cm de profundidad del suelo, reportado como una limitante física epipetrodúrica, por lo que, como se advirtió anteriormente, si se adoptan tecnologías LID, esta condicionante del suelo puede influir en su desempeño (Salvatierra Moreira et al., 2026), por tanto, estos resultados justifican estudios geotécnicos específicos antes de rehabilitar o ampliar tramos ciclistas.



Figura 9: Inundaciones en septiembre de 2025 en el tramo C2.



Figura 10: Inundaciones en mayo de 2026 en el tramo C6.

La mayoría de rutas ciclistas existentes en Pachuca, como se aprecia en la Figura 6, están atravesadas por escurrimientos superficiales, excepto C1, sin embargo C2, C5 y C6, incluso están en una zona de inundación, como se percibe en la evidencia mostrada en la Figuras 9 y 10, además de que la mayoría de rutas se encuentran en una superficie no consolidada con posibilidades altas de que exista agua en el subsuelo, a excepción de un tramo de C3, que se encuentra sobre material consolidado con posibilidades bajas, por lo que, bajo estas condiciones, la escorrentía total y la descarga máxima tienden a aumentar, junto con la frecuencia de la

crecida, y sus magnitudes se multiplican hasta por seis veces debido a la urbanización, generando además contaminación en el medio ambiente urbano (Tucci, 2004). Aunado a lo anterior, estos procesos de urbanización intensos han generado problemas de contaminación y el posible agotamiento del agua subterránea, que pudiera conllevar incluso a hundimientos en el terreno, con consecuencias en las estructuras superficiales (Muenratch et al., 2022).

Ante la anterior situación, resulta imprescindible, además de la introducción de tecnologías LID, como las celdas de biorretención, que ayudan al restablecimiento de la infiltración del suelo y a la posterior descontaminación del agua por procesos naturales (Vázquez Rodríguez et al., 2020); la actualización de los Programas Municipales y Metropolitanos de Desarrollo Urbano, concatenados con los Programas de Prevención y de Riesgos, además de los de Ordenamiento Ecológico, para tomar acciones conjuntas para la mitigación de estos problemas.

Por otra parte, toda la infraestructura ciclista en Pachuca tiene un rango alto en la variable de vegetación, porque no fue construida sobre los ecosistemas identificados en el municipio. No obstante, aún dentro de la mancha urbana, se recomienda que los espacios abiertos adyacentes, sean diseñados con un enfoque ecológico mediante vegetación nativa, lo más próximo a los hábitats naturales, o en su caso, con vegetación que pueda ser adaptada a las condiciones de la región, situaciones que implicarían menor mantenimiento de las áreas verdes próximas a las rutas ciclistas y mejoraría el desempeño ambiental de la ciudad (Alonso Martínez , 2015).

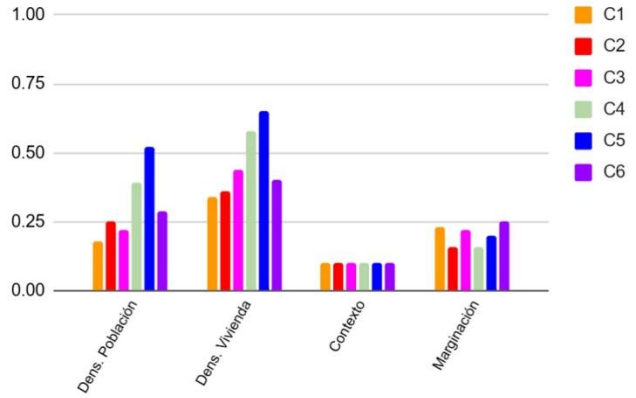


Figura 11: Comportamiento de las rutas ciclistas con relación a los factores sociales.

En los factores sociales, expuestos en la Figura 11, los resultados muestran que las rutas ciclistas se encuentran en zonas con densidad de población y vivienda que van de muy baja a media, consistente con la distribución predominante de las AGEB urbanas de Pachuca. Por lo que estos datos pueden ser relevantes, en cuanto al éxito o fracaso de una ruta ciclista en un ambiente meramente urbano, ya que, a mayor densidad media urbana o áreas urbanas compactas, hay un menor porcentaje de viviendas con automóvil particular, por lo que se hace necesario el uso de la movilidad alternativa, como el de la bicicleta y una mayor necesidad de rutas ciclistas, en cambio, a menor densidad urbana, se estimula la dispersión y el uso del automóvil (Sobrino, 2024). Sin embargo, la densidad no debe utilizarse como criterio excluyente, ya que, en zonas rurales y semi-rurales, con menores concentraciones de población, la bicicleta puede constituir un medio cotidiano de movilidad, debido a que representa un lugar común en la vida diaria para el transporte de personas, además de la subsistencia en la economía local (Pino Hidalgo, 2017).

Con relación a lo anterior, todas las rutas ciclistas se encuentran en un contexto urbano, además de que casi todas se encuentran en zonas con índices de marginación bajo y muy bajo, excepto un tramo de C3 y una pequeña porción de C4, por lo que, como ya se apuntó, las personas en un contexto periurbano o rural y con más índices de marginación y pobreza se enfrentan a más restricciones para realizar viajes cotidianos, lo que puede limitar su acceso a mejores oportunidades (Flores Lucero et al., 2022), por lo que las rutas de movilidad alternativa, no deberían limitarse a zonas más urbanizadas, ya que en áreas rurales y semi-rurales, es necesario promocionar la función efectiva de la bicicleta, no solamente como esparcimiento, sino como una necesidad latente para mejorar la calidad de vida en estas poblaciones, por lo que la baja densidad representa una condición distinta de diseño y operación, no una razón para excluir la inversión de este tipo de infraestructura.

En los factores artificiales, que se denotan en la Figura 12, el uso de suelo urbano se determinó conforme al PMDU de Pachuca (Ayuntamiento de Pachuca, 2012). En C1 predomina el uso de suelo mixto, con presencia importante del comercial; C2 es principalmente habitacional, con algunos puntos comerciales o de servicios; C3 es mayoritariamente habitacional, aunque incorpora numerosos usos comerciales y de servicios; C4, aunque es mayoritariamente habitacional, contiene tramos de servicios, comercial y mixto; y C5 presenta un uso de suelo habitacional en la mayoría de su recorrido al igual que C6. Esto refiere a que las zonas habitacionales, comparadas con las comerciales e industriales, suelen presentar menor tránsito, lo que incide en el aumento de la percepción de seguridad, que emerge como una de las características más importantes en los viajes no motorizados, ya que el menor tráfico y la reducción de la velocidad, característicos de las zonas habitacionales, dan la sensación de seguridad a quienes se trasladan de esta forma (Kaparias et al., 2012). En contraste, las vías arteriales, asociadas a los usos de servicios, comerciales e industriales, crean ambientes que desincentivan la movilidad no motorizada (Weinstein Agrawal et al., 2008).

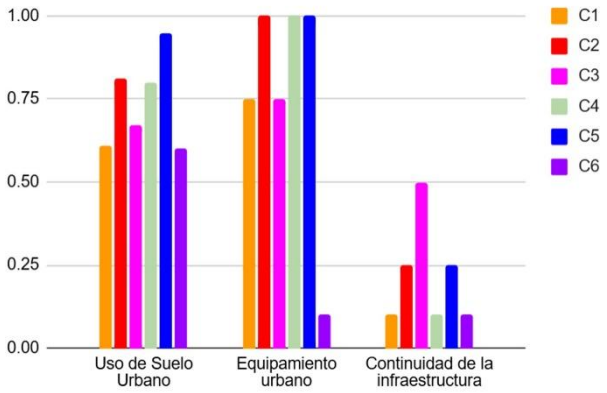


Figura 12: Comportamiento de las rutas ciclistas con relación a los factores artificiales.

Conforme a lo previamente mencionado, algunas de las recomendaciones para los usos de suelo comercial, de servicios, industriales y mixtos, donde hay más tráfico, son, la

implementación de estrategias enfocadas a la protección de las vías ciclistas, mediante separadores (Ayad et al., 2024), preferentemente, a partir de jardineras lineales, que no nada más muestren una segregación, sino que sean amables con las vistas y al mismo tiempo aumente la sensación de seguridad; sin embargo, cuando la infraestructura vial no lo permita, se ha demostrado que la segregación ligera, como los separadores físicos de disco, mejora significativamente la percepción de seguridad (Stoll et al., 2024).

En cuanto al equipamiento urbano, los resultados muestran que C2, C4 y C5, atraviesan numerosos espacios dedicados a la educación y cultura, además de la recreación y deporte; C1 y C3 se relacionan con el comercio y abasto, además de la administración pública y servicios; C6 solamente pasa por una oficina de administración pública. En este sentido, uno de los principales aspectos que inciden en la decisión del uso de transporte no motorizado o caminar, es la conectividad con otros espacios (Khan et al., 2014), es así que la interconectividad de la red es un factor importante en la elección de la ruta de los ciclistas, ya que, poder observar espacios públicos como plazas, parques con árboles o edificios con comercio, favorece la decisión de usar el transporte no motorizado, por lo que el paisaje urbano marca una diferencia sustancial para elegir la forma de desplazamiento (Heinen et al., 2010). Por consiguiente, el éxito de una red ciclista no es solamente la construcción de una infraestructura aislada, sino un elemento vertebrador del espacio público, a partir de un sistema coherente donde la bicicleta se conecte con parques, plazas y otros elementos de actividad, como los equipamientos educativos (Valente et al., 2021). Sin embargo, cuando las conexiones con el equipamiento urbano sean difíciles de realizar, la integración de infraestructura verde en corredores ciclistas mejora la experiencia del usuario, además de mitigar el calor y la creación de espacios públicos de mayor calidad que pueden también, aminorar el estrés (Garber et al., 2025).

Respecto a la continuidad de la infraestructura, se aprecia que solamente el tramo C3, tiene el 50% de cruces con señalética, C2 y C5, cuentan con el 25%, mientras que C1, C4 y C6 cuentan con menos del 25% de la infraestructura ciclista con señalética en los cruces con otras calles. Por lo tanto, la calidad y continuidad de la infraestructura influyen en la toma de decisiones sobre la elección de movilidad no motorizada (Larsen et al., 2013). Aunado a la continuidad física y visual, que también es un factor determinante para el fomento del uso de las rutas ciclistas, ya que la ausencia de obstáculos es decisiva, y los signos de detención influyen negativamente en el flujo de los ciclistas porque aumentan el tiempo de traslado y el gasto de energía (Iseki y Tingstrom, 2014).

Por consiguiente, el criterio de diseño para las rutas es que deben ser continuas y seguras para los ciclistas, ya que la infraestructura debe considerar que el ciclismo debe ser, además de seguro, placentero (Wild y Woodward, 2019), ya que la discontinuidad de las vías, debido a los cruces en las calles, incluso con señalamiento, resulta contra intuitiva, debido a que no es natural pedir a los ciclistas que se bajen de la bicicleta en un sistema diseñado para ellos, porque esto exige más energía y más tiempo, debido a la interrupción del trayecto (Berrio y Barrero, 2023). Por otra parte, en los cruces es esencial garantizar señales de tráfico concordantes y coherentes, es decir, que presenten correspondencia entre la señal y el mensaje que representa, y el entorno en el que se ubica, debido a que esto podría afectar el desempeño de los actores viales, incluyendo el tiempo de reacción y precisión al responder a las señales (Di Stasi et al., 2012).

Finalmente, se analizaron los factores perceptuales, porque la experiencia urbana debe ser entendida como una experiencia psicológica en la que el ambiente urbano impacta al comportamiento, además de que las imágenes, sonidos y olores provenientes del entorno urbano, son percibidas con mayor intensidad por los peatones y ciclistas que por los automovilistas (Orellana et al., 2017). Como se aprecia en la Figura 9, referente al sentido de la vista, las rutas C1, C3 y C4, tienen muy poco color verde y más multicolor; en cambio, para C6, predominan los colores que tienden hacia el gris; por otra parte, C2 y C5, presentan dominación del color verde en casi toda la ruta. De modo que, el color verde representado por zonas recreativas, como los parques, ofrece un entorno reparador y sanador con beneficios mentales y psicofisiológicos para las personas (Pasanen et al., 2023), sin embargo, el cambio del color, sobre todo hacia el gris y blanco puede presentar afecciones a varios niveles y repercusiones negativas en cuanto a movilidad, beneficios psicosociales y ambientales (Villalpando Flores, 2022). Por lo que se refuerza la idea de que las rutas ciclistas tengan conexiones con los espacios abiertos, sobre todo con parques, espacios deportivos y plazas públicas (Valente et al., 2021), o en su caso, la integración de infraestructura verde a las actuales rutas ciclistas (Garber et al., 2025).

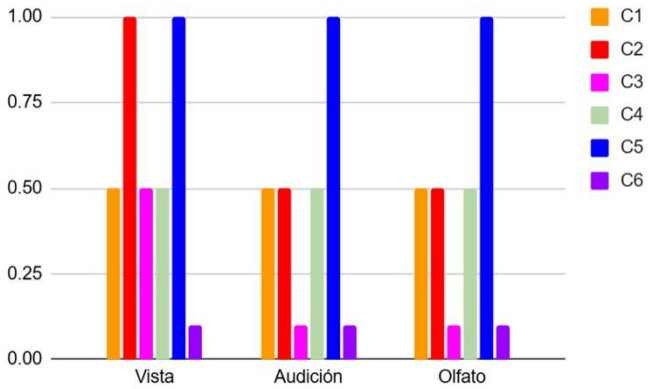


Figura 13: Comportamiento de las rutas ciclistas con relación a los factores perceptuales.

En la dimensión auditiva, se muestra que existe una mayor concentración de ruidos desagradables en las rutas C3 y C6; en C1, C2 y C4 se combinan los sonidos y los ruidos; no así para C5, donde predominan sonidos agradables. Por lo que, los sonidos naturales, como el canto de los pájaros tienen un efecto positivo en el cerebro humano, reduciendo el estrés mental (Lui et al., 2024), mientras que los ruidos mecánicos repetitivos, como el de los vehículos, provocan malestar mental (Avram et al., 2025). En este contexto, la colocación de barreras verdes sería una opción importante para la reducción del ruido, ya que éstas pueden reducirlo de forma directa por la propia cobertura vegetal, o indirecta, es decir, inducida principalmente por el viento que enmascara los sonidos no deseados (Renterghem et al., 2012).

En la dimensión olfativa, predominan olores desagradables en la mayor parte del trayecto de las rutas C3 y C6; se presenta una combinación de olores y aromas en las rutas C1, C2 y C4; mientras que la C5, son más frecuentes los aromas agradables. Al respecto, los estímulos olfativos impactan en los estados emocionales internos, más que otro tipo de señales, y pueden

activar memorias, por lo que algunas personas recuerdan significativamente más recuerdos personales positivos con olores agradables que en presencia de un olor desagradable (Herz y Engen, 1996). Por tanto, la recomendación es la implementación de vegetación aromática, como la lavanda o el romero, que puede contribuir a la reducción de la percepción de los olores desagradables y mejorar el estado de ánimo de las personas (Wang et al., 2025).

5. Conclusiones y recomendaciones

La infraestructura ciclista de Pachuca de Soto representa el resultado de los esfuerzos orientados a incorporar la movilidad activa dentro de los instrumentos de planeación urbana y movilidad. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que la existencia física de una ruta ciclista no garantiza por sí misma una red ciclista eficiente, segura y funcional, ya que su funcionamiento se encuentra condicionado por la interacción de factores físico-naturales, sociales, artificiales y perceptuales que pueden favorecer o limitar su utilización, conectividad y permanencia dentro de la estructura urbana. Lo anterior pone de manifiesto que la planeación de la infraestructura ciclista requiere un enfoque multidisciplinario, donde la ingeniería, el urbanismo, la gestión ambiental y la movilidad sostenible actúen de manera coordinada para responder a las condiciones particulares del territorio y garantizar la funcionalidad de las intervenciones a largo plazo.

Dentro de los factores físico-naturales, las rutas se desarrollan principalmente sobre pendientes bajas, favorables para el uso de la bicicleta; no obstante, su ubicación en terrenos lacustres y aluviales, junto con la presencia de escurrimientos superficiales e inundaciones, puede comprometer su estabilidad, mantenimiento y durabilidad. Estos hallazgos evidencian la necesidad de replantear procesos de planificación y gestión para las futuras intervenciones. Asimismo, los resultados evidencian que el diseño de nuevas rutas y la rehabilitación de las existentes debe incorporar estudios geotécnicos e hidrológicos específicos que permitan seleccionar soluciones constructivas acordes con las características del suelo y del comportamiento del agua superficial y subterránea. En este contexto, la implementación de SuDS, mediante tecnologías de LID, como jardines de lluvia, celdas de biorretención o corredores verdes y azules, representa una alternativa para mitigar los problemas de encharcamiento, favorecer la infiltración y mejorar el manejo de la escorrentía urbana. No obstante, su aplicación deberá sustentarse en estudios específicos que consideren las condiciones geotécnicas, la capacidad de infiltración del suelo, la profundidad del nivel freático, la compactación y las limitantes edáficas identificadas, con el propósito de garantizar su adecuado funcionamiento y contribuir al incremento de la resiliencia de la infraestructura ciclista frente a eventos hidrometeorológicos cada vez más frecuentes asociados al cambio climático.

En los factores sociales, la infraestructura se concentra principalmente en áreas de baja a media densidad poblacional y bajos niveles de marginación, lo que evidencia una cobertura limitada en sectores con mayores condiciones de marginación, donde la movilidad activa podría funcionar como una alternativa accesible e importante para mejorar la conectividad y el acceso a oportunidades urbanas. En este sentido, la expansión de la red ciclista debería responder no únicamente a criterios de demanda actual, sino también a principios de equidad territorial, promoviendo una distribución más equilibrada de la infraestructura que favorezca la inclusión social y amplíe las oportunidades de movilidad para los distintos grupos de población.

En los factores artificiales, aunque existe relación con zonas habitacionales y equipamientos urbanos como educación, cultura, recreación y deporte, la falta de continuidad en los tramos y la insuficiente señalización en cruces afectan la seguridad, legibilidad y conectividad de la red. Lo anterior confirma que la calidad de la infraestructura y su integración con el entorno urbano constituyen elementos determinantes para incentivar el uso de modos de transporte no motorizados. En consecuencia, las futuras intervenciones deberán priorizar la continuidad física y funcional de la red ciclista, garantizando cruces seguros mediante señalización clara y coherente, así como la articulación de las rutas con los equipamientos urbanos, de manera que la infraestructura opere como un sistema integrado de movilidad y no como tramos aislados. Asimismo, en corredores con mayor intensidad de tránsito vehicular, la incorporación de elementos de segregación física, preferentemente mediante jardineras lineales o, cuando las condiciones de la vialidad no lo permitan, separadores físicos ligeros, puede incrementar la seguridad y la percepción de protección de las personas usuarias, fortaleciendo al mismo tiempo la calidad del espacio público.

Los factores perceptuales demostraron que la experiencia ciclista está estrechamente vinculada con las características sensoriales del entorno; las rutas asociadas a una mayor presencia de vegetación, paisajes visualmente agradables, sonidos naturales y aromas favorables ofrecen condiciones más propicias para el bienestar físico y psicológico de los usuarios. En contraste, aquellas dominadas por superficies grises, ruido vehicular y olores desagradables presentan condiciones que pueden disminuir el atractivo de la bicicleta como medio de transporte cotidiano. Estos resultados confirman que la calidad ambiental percibida debe considerarse un componente fundamental dentro de la planificación de infraestructura para la movilidad activa. De esta manera, la incorporación de infraestructura verde, barreras vegetales y especies adaptadas a las condiciones locales no solo representa un beneficio paisajístico, sino también una estrategia para mejorar el confort ambiental, disminuir la exposición a contaminantes y fortalecer la experiencia del usuario durante sus desplazamientos cotidianos.

Finalmente, la principal aportación radica en la utilización de los SIG en conjunto con los transectos lineales como herramienta de diagnóstico territorial para evaluar la infraestructura ciclista desde una perspectiva integral. La metodología permitió identificar las características físico-naturales de las rutas existentes, además de las condiciones sociales, urbanas y perceptuales del entorno. En este sentido, los resultados constituyen una base técnica para la toma de decisiones en materia de planeación urbana y de movilidad, al proporcionar criterios que pueden orientar la rehabilitación, ampliación y futura localización de infraestructura ciclista, favoreciendo una red funcional, conectada y adaptada a las condiciones reales del territorio. Asimismo, el enfoque metodológico desarrollado puede ser replicado y adaptado en otras ciudades, contribuyendo al fortalecimiento de los procesos de evaluación y planificación de la movilidad ciclista. Como líneas futuras de investigación, se recomienda

complementar este diagnóstico mediante estudios geotécnicos e hidrológicos específicos para cada tramo, así como realizar inspecciones estructurales que incluyan la medición de la abertura, longitud y extensión de las grietas, la ejecución de calas, la extracción de núcleos, ensayos de materiales y la evaluación de las condiciones de pendiente y drenaje.

De igual forma, resulta pertinente desarrollar investigaciones orientadas a analizar la factibilidad y el desempeño de los SuDS, mediante tecnologías LID, considerando variables como la infiltración del suelo, el nivel freático, la compactación, la capacidad de secado entre eventos de lluvia y las limitantes edáficas identificadas, con el propósito de validar soluciones que incrementen la resiliencia, funcionalidad y sostenibilidad de la infraestructura ciclista frente a los desafíos ambientales y urbanos. Además, futuras investigaciones podrían incorporar la percepción y experiencia de las personas usuarias mediante encuestas, entrevistas, auditorías ciclistas u otras metodologías participativas, a fin de complementar el diagnóstico territorial y profundizar en la influencia que las condiciones visuales, auditivas y olfativas del entorno ejercen sobre la elección de la bicicleta como medio de transporte cotidiano y sobre la calidad de la experiencia de viaje.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial generativa y tecnologías asistidas por IA

Durante la preparación del presente manuscrito, los autores no utilizaron tecnologías asistidas por IA en ninguno de los apartados de la presente publicación. Todo el contenido generado o sugerido por la herramienta fue revisado y editado por los autores, quienes asumen plena responsabilidad por la exactitud, originalidad, integridad y rigor científico del contenido final del manuscrito.

6. Referencias

Ahmed, T., Pirdavani, A., Wets, G., y Janssens, D. (2024). Bicycle Infrastructure Design Principles in Urban Bikeability Indices: A Systematic Review. *Sustainability, 16*(6), 2545. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su16062545

Alonso Martínez , M. P. (2015). *Diseño de áreas verdes con criterios ecológicos.* Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Arvizu Juvera, A. W., Ayala Moreno, J. P., y Guzmán Grijalva, H. M. (2025). Infraestructura verde para prevención de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social en zona árida. *Vivienda y comunidades sustentables* (17), 85-100. https://doi.org/https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i17.318

Avram, S. E., Tudoran, L. B., Borodi, G., Filip, M. R., y Petean, I. (2025). Urban Traffic's Influence on Noise and Particulate Matter Pollution. *Sustainability, 17*(5), 1-24. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su17052077

Ayad, L., Imine, H., De Crescenzio , F., y Lantieri, C. (2024). Bicycle Simulator Use to Evaluate Safety Risks and Perceptions for Enhanced Sustainable Urban Mobility. *Sustainability, 16*(22), 9786. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su16229786

Ayuntamiento de Pachuca. (2012). *Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Pachuca de Soto Estado de Hidalgo.* Presidencia Municipal de Pachuca: https://datos.pachuca.gob.mx/sipot/If/PDFS/PMDU_PACHUCA.pdf

Beltrán Martínez, Y. S., Lozano Hernández , J. A., y Ramírez Islas, C. (2020). Uso de herramientas digitales en un estudio de tendencias de movilidad en bicicleta en Ciudad del Conocimiento de la UAEH. *PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 8*(15), 38-46. https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icbi.v8i15.5121

Berrio, S., y Barrero, L. H. (2023). Characterization of the state of the traffic signs focused on cyclists in Bogota. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 20*, 100837. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100837

Carruthers, J. I., y Ulfarsson, G. F. (2003). Urban Sprawl and the Cost of Public Services. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 30*(4), 503-522. https://doi.org/https://doi.org/10.1068/b12847

Contreras López, C., Pérez Herrera, L. R., y Rodríguez Ruíz , J. (2023). Primeras aproximaciones a los potenciales usos de suelo para la conurbación de Mixquiahuala y Progreso Hidalgo, mediante un análisis ambiental. *Diseño en Síntesis* (70), 52-67.

Corporación Patrimonio & Paisaje. (2015). *Barrio Balmaceda, Proyecto de Vinculación con el Medio "Criterios de Diseño de espacios público, basados en la sensibilidad local".* Santiago: Universidad Central de Chile.

Cram, S., Cotler, H., Morales , L. M., Sommer, I., y Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (66), 81-104.

Cruz Ortíz, N. L., Torres García, J. J., y Caledrón Rosas, N. C. (2020). Análisis Multicriterio como Herramienta para la Toma de Decisiones en las Ciencias de la Tierra. En C. E. Solano Sosa, M. E. Sánchez Morales, G. V. Vázquez García, A. Martínez García, y E. L. Ramos Guerrero, *Miscelánea Científica de México Tomo IV: Físico Matemáticas y Ciencias de la Tierra* (pp. 177-186). Lagos de Moreno: Temacilli.

Cuanalo Campos, O. A., Gallardo Amaya, R. J., Polanco , G., y Quintero Lemus, L. J. (2016). Problemas Geotécnicos en Edificaciones Desplantadas sobre Depósitos Aluviales en Llanuras y Penillanuras de Inundación. *Revista INGENIO UFPSO, 12*(1), 13-21. https://doi.org/https://doi.org/10.22463/2011642X.2121

Di Stasi, L. L., Megías, A., Cándido, A., Maldonado, A., y Catena, A. (2012). Congruent visual information improves traffic signage. *Transportation Reseach Part F: Traffic Pshychology and Behaviour, 15*(4), 438-444. https://doi.org/https://dio.org/10.1016/j.trf.2012.03.006

Ewing, R., y Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment. A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association, 76*(3), 265-294. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01944361003766766

Fishman, E. (2016). Bikeshare: A Review of Recent Literature. *Transport Reviews, 36*(1), 92-113. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1033036

Flores Juca, E., Mora Arias, E., y Chica, J. (2024). Hacia una movilidad sostenible: Metodología de evaluación para la incorporación de carriles de bicicleta en la infraestructura vial de Cuenca. *Revista Digital Novasinergia, 7*(1), 20-39. https://doi.org/https://doi.org/10.37135/ns.01.13.02

Flores Lucero, M. L., Guevara Romero , M. L., y Silverio, J. C. (2022). Movilidad marginal en los asentamientos irregulares de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala. El caso de Cuitláhuac. *EURE (Santiago), 48*(145), 1-22. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7764/eure.48.145.07

Garber, M. D., Rojas Rueda, D., Bernard, P., y Benmarhnia, T. (2025). Cool routes: Assessing how green space and paved paths modify heat's effects on urban bicycling. *Journal of Transport & Healt, 44*, 102159. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jth.2025.102159

García Bu Bucogen, G., Piccolo, M. C., y Bohn, V. Y. (2021). Estimación de la suceptibilidad a inundaciones en la cuenca inferior de Río Negro, Argentina. *Finisterra, LVI*(118), 51-70. https://doi.org/doi: 10.18055/Finis21647

Gobierno de México. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112969/Plan_Nacional_de_Desarrollo_2013-2018.pdf

Heinen, E., van Wee, B., y Maat, K. (2010). Commuting by Bicycle: An Overview of the Literature. *Transport Reviews, 30*(1), 59-96. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01441640903187001

Herz, R. S., y Engen, T. (1996). Odor memory: Review and analysis. *Pshyconomic Bulletin & Review, 3*(3), 300-313.

INEGI. (1981). *Hidrología.* Recuperado en 2025, de Geografía y Medio Ambiente: https://www.inegi.org.mx/temas/hidrologia/#descargas

INEGI. (2000). *Modelos Digitales de Elevación. Pachuca de Soto y Ciudad de México*. www.inegi.org.mx: https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/#mapas

INEGI. (2011). *Guía de Interpretación Cartográfica Edafología Escala 1:250,00o serie II* (1 ed.). México: Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (2013). Carta edafológica serie II Pachuca de Soto F 14-11. México: Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (2015). Carta de Uso de Suelo y Vegetación 1: 250:000 Serie V Pachuca de Soto F14-11. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI. (2020). *Datos abiertos.* Sistemas de Consulta: https://www.inegi.org.mx/datosabiertos/

INEGI. (2021). *TOPOGRAFÍA.* INEGI: https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/#descargas

INEGI. (2023). *Mapas .* Sistemas de Consulta: https://www.inegi.org.mx/app/mapas/

Iseki, H., y 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

Kaparias, I., Bell, M. G., Miri, A., Chan, C., y Mount, B. (2012). Analysing the perceptions of pedestrians and drivers to shared space. *Transportation Research Part F: Traffic Psycology and Behaviour, 15*(3), 297-310. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.02.001

Khan, M., Kockelman, K. M., y Xoing, X. (2014). Models for anticipating non-motorized travel choices, and the role of the built environment. *Transport Policy, 35*, 117-126. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.05.008

Larsen, J., Patterson, Z., y El-Geneidy, A. (2013). Build It. But Where? The Use of Geographic Information Systems in Identifying Locations for New Cycling Infrastructure. *Sustainable Transportation, 7*(4), 299-317. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15568318.2011.631098

LGAHOTDU. (28 de 11 de 2016). Cámara de Diútados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación del 28-11-2016*.

Lucas, K. (2011). Making the connections between transport disadvantage and the social exclusion of low income populations in the Tshwane Region of South Africa. *Journal of Transport Geography, 19*(6), 1320-1334. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.02.007

Lui, C., Jing, X., Shi, J., Li, J., Zhang, Y., y Gao, W. (2024). Effects of natural sound on human stress recovery based on EEG techniques. *Journal of Environment Psychology, 97*, 1-13. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2024.102365

Manupati, V. K., Ramkumar, M., y Samanta, D. (2018). A Multi-Criteria Decision Making Approach for the Urban Renewal in Southern India. *Sustainable Cities and Society*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.011

Muenratch, P., Nguyen, T. P., Shrestha, S., Chatterjee, J. S., y Virdis, S. G. (2022). Governance and policy responses to anthropogenic and climate pressures on groundwater resources in the Greater Mekong Subregion urbanizing cities. *Groundwater for Sustainable Development, 18*, 100791. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100791

Muñoz Conde, M. M., y Herrera Hueso, M. T. (2001). Muestreo por Transectos Lineales con Variación a lo Largo de la Línea de Referencia. *BEIO Boletín de Estadística e Investigación Optativa, 17*(1), 9-13.

Olivera Acosta, J., Martín Morales, G., García Rivero , A. E., Jaimez Salgado, E., Luis López, M., Estrada, R., . . . Liz Maravet, B. (2011). El uso de los SIG y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios de peligros de inundaciones en cuencas fluviales. Caso de estudio: Cuenca Guanabo, Ciudad de La Habana. *Proyección Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial, V*(10), 143-163.

Orellana , D., Hermida, C., y Osorio, P. (2017). Comprendiendo los patrones de movilidad de ciclistas y peatones. Una síntesis de literatura. *Revista Transporte y Territorio*(16), 167-183.

Oviedo Hernández, D., y Titheridge, H. (2016). Mobilities of the periphery: Informality, access and social exclusion in the urban fringe in Colombia. *Journal of Transport Geography, 55*, 152-164. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.12.004

Pasanen, T. P., White, M. P., Elliott, L. R., van den Bosch, M., Bratman, G. N., Ojala, A., . . . Fleming, L. E. (2023). Urban green space and mental health among people living alone: The mediating roles of relational and collective restoration in an 18-country sample. *Environmental Research, 232*, 1-13. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116324

Peña Baños, K. R., Contreras López, C., Navarro Gómez, H. I., Lozano Hernández, J. A., Lazcano Benítez, M. D., y Pérez Islas , J. (2025). Criterios para el Manejo del Territorio que Fomenten los Procesos Ecológicos en la Microcuenca del Río de las Avenidas. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 13*(Especial 3), 173-183. https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icbi.v13iEspecial3.15667

Pino Hidalgo, R. A. (2017). El ciclismo popular. Una práctica de desplazamiento y un campo de estudio por reconocer. *Diseño y Sociedad* (43), 28-39.

RCDF. (04 de 01 de 2024). Consejería Jurídica y de Servicios Legales de la Ciudad de México. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México 29-01-2004*. https://doi.org/https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/reglamentos/RGTO_DE_CONSTRUCCIONES_DEL_DISTRITO_FEDERAL_8.1.pdf

Renterghem, T. V., Botteldooren, D., y Verheyen, K. (2012). Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. *Journal of Sound and Vibration, 331*(10), 2404-2425. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsv.2012.01.006

Salvatierra Moreira, C. O., Vinueza Mendoza, G. W., Soria Quisigüiña, S., y Carrillo Morales, C. A. (2026). Sistemas de drenaje urbano sostenible para mitigación de inundaciones. *Revista Científica Ciencia y Método, 4*(1), 575-587. https://doi.org/https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/172

Secretaría de Movilidad y Transporte de Hidalgo. (2021). *Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable de la Zona Metropolitana de Pachuca, Hidalgo.* Movilidad y transporte: https://movilidadytransporte.hidalgo.gob.mx/assets/PDF/PIMUS%20ZMPACHUCA-VERSION%20EJECUTIVA.pdf

SEDATU. (2018). *Anatomía de la movilidad en México. Hacia dónde vamos.* Documentos de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano: https://www.gob.mx/sedatu/documentos/anatomia-de-la-movilidad-en-mexico-hacia-donde-vamos?state=published

SGM. (2007). Carta Geológico-Minera Estado de Hidalgo. México: Servicio Geológico Mexicano.

Sobrino, J. (2024). Dinámica demográfica, forma urbana y densidad de población en ciudades de México, 1990-2020: ¿urbanización compacta o dispersa? *Estudios Demográficos y Urbanos, 39*(2), e2290. https://doi.org/https://doi.org/10.24201/edu.v39i2.2190

Stoll, T., Hagmann, D., Leitner, J., y Hackenfort, M. (2024). Keep me safe—evaluation of safety perception of different bicycle facilities. *Traffic Safety Research, 7*, e000077. https://doi.org/https://doi.org/10.55329/vrrz2104

Tucci, C. M. (2004). Inundaciones urbanas. *Boletín de la OMM, 53*(1), 39-43.

United Nations. (2015). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision.* Nueva York: United Nations. https://doi.org/(ST/ESA/SER.A/366)

Valente , R., Mozingo, L., Bosco, R., Capelli, E., y Donadio, C. (2021). Environmental Regeneration Integrating Soft Mobility and Green Street Networks: A Case Study in the Metropolitan Periphery of Naples. *Sustainability, 13*(15), 8195. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13158195

Vázquez Rodríguez, G. A., Ortiz Hernández, J. E., y Lizárraga Mediola, L. G. (2020). Efecto de las tecnologías de bajo impacto en el tratamiento del agua de escorrentía urbana. *Vivienda y comunidades sustentables* (8), 103-115. https://doi.org/https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i8.151

Venter, C., Mahendra, A., y Lionjanga, N. (2021). Urban expansion and mobility on the periphery in the global South. En C. Mulley, y J. D. Nelson, *Urban Form and Accesibility. Social, Economic and Environments Impacts* (pp. 243-264). Amsterdam: Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819822-3.00013-4

Villalpando Flores, A. E. (2022). Componentes psicológicos de la sustentabilidad de la naturaleza urbana próxima. Aproximaciones y propuestas desde la psicología ambiental. *LIMINALES Escritos sobre psicología y sociedad, XI*(22), 11-36. https://doi.org/https://doi.org/10.54255/lim.vol11.num22.672

Wang, C., Gao, B., Hao, Z., Li, L., Yang, L., Chen, W. L., y Pei, N. (2025). Plant smellscape: A key avenue to connect nature and human well-being. *Urban Forestry & Urban Greenning, 107*, 128757. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128757

Weinstein Agrawal, A., Schlossberg, M., y Irvin, K. (2008). How Far, by Which Route and Why? A Spatial Analysis of Pedestrian Preference. *Journal of Urban Design, 31*(1), 81-98. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/13574800701804074

WHO. (2018). *Global action plan on physical activity 2018–2030: more active people for a healthier world.* Geneva: World Health Organization. http://apps.who.int/iris.

Wild, K., y Woodward, A. (2019). Why are cyclists the happiest commuters? Health, pleasure and the e-bike. *Journal of Transport & Healt, 14*, 100569. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.05.008