

Análisis Espacial como Instrumento para la Definición Física de Nodos Subregionales de la Institución Universitaria Digital de Antioquia

José Andrés Posada Marín^{1(*)}, Juan Carlos Torres¹, Esteban Zapata¹

1 Grupo de Investigación en Innovación Digital y Desarrollo Social INDDDES, IU Digital de Antioquia, Medellín, Colombia

Resumen: La ubicación espacial de sedes físicas educativas es un aspecto clave para garantizar el impacto y cobertura de la educación. Esta debe ser hecha teniendo en cuenta diferentes aspectos sociales, económicos y físicos. Este estudio aborda el análisis espacial como insumo para la definición de sedes físicas en los nodos subregionales de la Institución Universitaria Digital de Antioquia. Para esto, se integró la demanda educativa potencial y actual, representadas por la distribución espacial de estudiantes de grado 11 y los matriculados en dicha institución, con la conectividad y accesibilidad vial de los municipios. El Oriente Antioqueño destaca como la subregión con la mayor demanda educativa (exceptuando el Valle de Aburrá), liderada por Rionegro en la demanda actual, siendo este el municipio que presenta la mayor demanda potencial en el departamento. Además, la conectividad vial evidenció a San Jerónimo y Cisneros como municipios de alta conectividad. Por otro lado, la accesibilidad vial resalta a Nechí y Guarne en sus respectivas subregiones. El índice de interacción espacial revela la importancia estratégica de Rionegro, Apartadó y El Bagre para la consolidación de sedes físicas en sus subregiones asociadas. Se concluye que este enfoque integral proporciona una base importante para la toma de decisiones, aunque se sugiere considerar factores adicionales como voluntad política y necesidades básicas insatisfechas en futuras iniciativas. La Institución Universitaria Digital de Antioquia puede utilizar estos resultados como insumos clave en su estrategia de establecimiento de sedes físicas, buscando garantizar un acceso equitativo y eficiente a la educación superior en la región.

Palabras clave: Accesibilidad vial, Conectividad vial, Análisis de redes, Demanda educativa.

Recibido: 17 de mayo de 2024. Aceptado: 31 de agosto de 2024

Received: May 17th, 2024. Accepted: August 31st, 2024

Spatial Analysis as Instrument for the Definition of Physical Sites in the Subregional Nodes of the Digital University Institution of Antioquia

Abstract: The spatial location of physical educational sites is a key aspect to ensure the impact and coverage of education. This must be done taking into account different social, economic, and physical aspects. This study addresses spatial analysis as input for the definition of physical locations in the subregional nodes of the Institución Universitaria de Antioquia. To achieve this, the potential and current educational demand, represented by the spatial distribution of 11th-grade students and enrollees in such institution, were integrated with the connectivity and road accessibility of the municipalities. The Oriente Antioqueño stands out as the subregion with the highest educational demand, led by Rionegro in the current demand, which is the municipality with the highest potential demand in the department (except for the Valle de Aburrá). Additionally, road connectivity identified San Jerónimo and Cisneros as municipalities with high connectivity. On the other hand, road accessibility highlights Nechí and Guarne in their respective subregions. The spatial interaction index reveals the strategic importance of Rionegro, Apartadó, and El Bagre for the consolidation of physical locations in their associated subregions. It is concluded that this comprehensive approach provides an important background for decision-making, although it is suggested to consider additional factors such as political will and unmet basic needs in future initiatives. The Institución Universitaria de Antioquia can use these results as key inputs in its strategy for establishing physical locations, seeking to ensure equitable and efficient access to higher education in the region.

Keywords: Road accessibility, Road connectivity, Network analysis, Educational demand.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis espacial es un insumo clave para la definición de sedes físicas de equipamientos de servicios (Garnica-Berrocal, 2012; Prieto-Lizarazo y Pinzón-Restrepo, 2016; Ríos-Durango, 2020). Particularmente, este ha sido empleado para la consolidación de nuevos espacios educativos (Prieto-Lizarazo y Pinzón-Restrepo, 2016; López-Pachon, 2019; Fuentes-Álvarez, 2020), buscando garantizar el acceso a la educación desde un enfoque socio-espacial equitativo. Por lo que la ubicación de estos equipamientos, principalmente ha sido determinada por la demanda, entendida como la población en edad para estudiar (Garnica-Berrocal, 2012). Sin embargo, este enfoque puede generar desbalances, ya que dejaría por fuera del acceso a la educación a las comunidades retiradas de las zonas más pobladas. Estas comunidades podrían realizar desplazamientos para acceder a dicho servicio y por lo tanto, el análisis espacial para el establecimiento de estas sedes, debería contemplar variables como la accesibilidad y conectividad vial.

La distribución espacial de estudiantes, la conectividad y la accesibilidad vial son aspectos que desempeñan un papel fundamental en la planificación educativa y el desarrollo socioeconómico de los municipios (Banerjee et al., 2020; Waddell, 2002). Este último factor, puede estar influenciado por diversos fenómenos, como la ubicación de equipamientos educativos, topografía, infraestructura vial, entre otros. La Institución Universitaria Digital de Antioquia (IU Digital) busca ofrecer educación superior de calidad a través de plataformas y recursos digitales, brindando oportunidades de aprendizaje flexibles y accesibles para estudiantes de diversas regiones y perfiles (Manrique-Losada, 2020). La institución tiene el compromiso de fomentar la excelencia académica, la innovación tecnológica y el desarrollo de habilidades relevantes para el mundo laboral, con el fin de formar profesionales competentes y comprometidos con el desarrollo social y económico de la región.

Pese a que esta es una institución de carácter digital, la IU Digital reconoce la importancia de las interrelaciones personales y la vida universitaria en los procesos formativos de la educación superior.

Estos factores no solo tienen un impacto positivo en el aprendizaje y el desarrollo académico, sino que también contribuyen al crecimiento personal, a la generación de comunidad, la formación de redes, a fortalecer el pensamiento crítico y el bienestar estudiantil. Estos son componentes esenciales de la experiencia universitaria y preparan a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo laboral y social. En búsqueda de mejorar dichos factores, la institución ha promovido la consolidación de nodos subregionales que cuenten con sedes físicas en las que se pueda promover el aprendizaje colaborativo, el desarrollo de habilidades sociales, el networking, el apoyo emocional y social las experiencias extracurriculares y sobre todo la conexión de la universidad como concepto y el modelo de “Digitalidad Próxima” de la IUDigital de Antioquia, que se materializa a través de los nodos en el territorio.

Diferentes estudios han sido realizados con el fin de analizar la ubicación de sedes de equipamientos educativos (p.ej. Garnica-Berrocal, 2012; Rodríguez-Collazos, 2017; Mendoza-Barreto, 2018; Fuentes-Álvarez, 2020; Narváez-Pérez, 2021). Estos estudios tienen en común la necesidad de analizar la ubicación espacial de los equipamientos educativos, de manera que sea atendida la demanda de este servicio (Garnica-Berrocal, 2012). Además, señalan la necesidad de incluir variables adicionales como la accesibilidad y conectividad vial para producir análisis más integrales que orienten de manera más adecuada la toma de decisiones respecto a la creación de nuevas sedes físicas. Estos factores son clave para impulsar el desarrollo socioeconómico de los municipios, ya que una educación de calidad y una infraestructura adecuada fomentan el crecimiento económico, la atracción de inversiones y la mejora de la calidad de vida de la comunidad en general (Mulongo, 2013; Popova, 2017).

La definición de la ubicación de las sedes físicas de los nodos de la IU Digital, es un aspecto crítico para garantizar la efectividad de las estrategias que se emprendan en ellos, dado que su alcance no se circunscribe a un solo municipio, si no que como su nombre lo indica debe ser regional. Dicha definición depende de múltiples variables, entre las que se destacan la distribución espacial de los estudiantes,

la conectividad y accesibilidad vial, factores que definen la interacción espacial de los municipios que conforman los nodos. Por esta razón, en este trabajo se realizó el análisis espacial de dichas variables, y se propone un análisis que las integre, buscando ofrecer un insumo complementario a otros análisis que facilite la definición de estas sedes y la operatividad espacial la IU Digital de Antioquia en los nodos subregionales.

2. MARCO TEÓRICO

La distribución espacial se refiere a la manera en que los objetos, fenómenos o características se encuentran dispuestos en el espacio geográfico (Aragón-Hernández et al., 2019; Montero y Brito, 2019). Esta permite realizar análisis en diferentes escalas, desde pequeñas áreas locales hasta regiones más amplias. Puede estar influenciada por diversos factores, como la topografía, el clima, la disponibilidad de recursos, las actividades humanas, las políticas y las interacciones sociales (Muñoz et al., 2006; Alarcón-Hincapié et al., 2013; Buzai et al., 2019; Morera-Chacón, 2020). El estudio de la distribución espacial es fundamental en disciplinas como la geografía, la planificación urbana, la ecología, la demografía y muchas otras (Sánchez et al., 2007; Vono y Domingo, 2007; Gaspari et al., 2015). Permite comprender cómo se distribuyen los elementos en el espacio, identificar patrones espaciales, analizar las relaciones entre ellos y detectar posibles tendencias o variaciones geográficas. Al comprender la distribución espacial de los fenómenos, se pueden tomar decisiones informadas en la planificación territorial, el desarrollo urbano, la gestión de recursos, la asignación de servicios y otras áreas, con el objetivo de optimizar el uso del espacio y promover una distribución equitativa y sostenible de los elementos en el territorio (Beltrán et al., 2009; Velasquez-Ovalle, 2019).

Además, el análisis de la distribución espacial de diferentes variables, permite profundizar en el entendimiento de la interacción espacial entre estas, y mejorar la toma de decisiones respecto a la operatividad espacial y la provisión de servicios (p.ej. Longley y Mateos, 2005). Esto ha sido principalmente aplicado en el campo del geomarketing, en el que a partir del análisis de la

distribución espacial de variables claves del mercado, se proponen ubicaciones potenciales para nuevas sedes prestadoras de los servicios (Albornoz del Valle et al., 2020; Zabala, 2020). Su alto impacto en el geomarketing, ha llevado a que la aplicación del análisis espacial se extrapole al contexto social, como es el caso de la ubicación de equipamientos de servicios (Albornoz Del Valle et al., 2020).

La distribución espacial de estudiantes, la conectividad y la accesibilidad vial en los municipios desempeñan un papel fundamental en la planificación educativa y el desarrollo socioeconómico (Mejía, 2007; Lache-González, 2020; Montoya et al., 2020). Analizar estos factores es de suma importancia, ya que permite identificar patrones de ubicación de estudiantes, evaluar la calidad de la infraestructura vial y determinar el grado de conectividad física. Comprender la distribución espacial de estudiantes ayuda a identificar desigualdades educativas y diseñar estrategias para garantizar un acceso equitativo a la educación (Vázquez, 2017). Asimismo, la conectividad y la accesibilidad vial influyen en la calidad de vida de los estudiantes, afectando su acceso a recursos educativos y su capacidad para desplazarse de manera eficiente (Chereque-Lizarzaburu y Delgado-Alva, 2020), pero adicionalmente para que las instituciones puedan desplazarse al entorno cercano. Estos factores son clave para impulsar el desarrollo socioeconómico de los municipios, ya que una educación de calidad y una infraestructura adecuada fomentan el crecimiento económico, la atracción de inversiones y la mejora de la calidad de vida de la comunidad en general (Vicuña et al., 2019; Franco-Naranjo y Muñoz-Arroyave, 2020).

La conectividad y accesibilidad vial son dos aspectos críticos relacionados con la ubicación espacial de dichos equipamientos (Bautista, 2018; Restrepo-Quintero, 2023). La conectividad vial indica la facilidad y eficiencia con la que las personas y mercancías pueden desplazarse utilizando la red de carreteras, calles y caminos existentes (Arias, et al., 2016; Matus et al., 2019). Esta se puede determinar a partir de la presencia de infraestructura vial, como autopistas, carreteras principales, calles secundarias y caminos rurales, así como la disponibilidad de transporte público y las condiciones de tráfico. La conectividad vial juega

un papel crucial en el desarrollo económico y social de una región, ya que una buena red de transporte facilita el movimiento de personas hacia lugares de trabajo, centros educativos, servicios de salud y otros puntos claves. Además, una adecuada conectividad vial favorece el transporte de bienes y servicios, impulsando el comercio local y regional. En este análisis, la conectividad es calculada a partir del número de vías de acceso a cada municipio (Ecuación 1).

$$\text{Conectividad} = \sum \text{Vías de acceso} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Es importante resaltar que los factores señalados anteriormente no solo dependen de la presencia física de vías, sino también de su calidad, capacidad y diseño. Así, la accesibilidad vial complementa a la conectividad para determinar el grado de interacción espacial entre lugares. La accesibilidad vial se refiere a la facilidad y conveniencia con la que las personas pueden acceder a diferentes lugares y destinos a través de las vías de transporte existentes. Se refiere específicamente a la capacidad de llegar a un lugar determinado utilizando la red de carreteras, calles y caminos de manera eficiente y segura (Saltarín-Molino, 2017). Una infraestructura vial eficiente y bien conectada puede reducir los tiempos de desplazamiento, mejorar la accesibilidad a diferentes áreas y contribuir a la seguridad vial. La accesibilidad vial se evalúa teniendo en cuenta diversos factores, como la distancia, la velocidad y el tiempo de desplazamiento necesario para llegar a un destino específico (Martínez-Bascuñán, 2014). Una buena accesibilidad vial es fundamental para el funcionamiento eficiente de una comunidad, ya que afecta la movilidad de las personas, el acceso a servicios esenciales como trabajo, educación, atención médica, comercio y recreación. Además, la accesibilidad vial influye en la calidad de vida de las personas al reducir los tiempos de viaje, disminuir los costos de transporte y mejorar la conectividad entre diferentes áreas (Jerez-Calero et al., 2018). En este análisis la accesibilidad es determinada a partir de la Ecuación 2:

$$\text{Accesibilidad} = \frac{TR}{TT} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde TT y TR son las sumatorias de los tiempos de viaje teóricos y los tiempos de viaje reales, entre los n municipios que conforman cada nodo y desde los cuales se accede al municipio de interés. El

tiempo de viaje teórico se calcula usando la distancia euclidiana (D) entre los puntos de interés y se asume la velocidad máxima permitida ($V_{MAX} = 80 \text{ km/h}$) (Ecuación 3). Mientras que el tiempo real (Ecuación 4), se calcula mediante las longitudes de la vía (L) y las velocidades máximas permitidas (V) definidas en función de las características de los segmentos (m) de las vías (Tabla 1).

$$TT = \sum_{i=1}^n D_i * V_{MAX i} \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$TR = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m L_{ij} * V_{ij} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Tabla 1. Velocidades máximas permitidas usadas en el cálculo de accesibilidad.

Jerarquía vial	Estado	Velocidad máx. permitida (V)
Primaria	Pavimentada	80 km/h
Secundaria	Pavimentada	60 km/h
	Afirmada	40 km/h

3. METODOLOGÍA

3.1 Conjunto de datos.

A partir de información suministrada por la dependencia de Admisiones y Registro, se caracterizó la distribución espacial de los estudiantes matriculados de la Institución Universitaria Digital de Antioquia al 2022. La información entregada cuenta con la ubicación municipal de cada estudiante activo de la Institución. Dicha información fue procesada y agrupada por cada municipio de Antioquia, con el fin de caracterizar la demanda actual en cada uno de estos. Además, se usaron los datos por municipio de estudiantes de grado 11 al 2020, obtenidos a partir del portal de Datos Abiertos del Gobierno de Colombia, donde reposan los datos de educación del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (<https://www.datos.gov.co/>).

Para cuantificar la conectividad y accesibilidad vial de los municipios que componen los nodos subregionales, se utilizó el shapefile de vías suministrado por la Gobernación de Antioquia en su portal geoespacial. Este conjunto de datos presenta las principales vías primarias y secundarias del país, permite el cálculo de distancias y muestra

información del tipo de vía (primaria y secundaria) y el estado de estas (pavimentadas o consolidadas).

3.1 Análisis de datos

En la Figura 1, se presenta el diagrama de flujo asociado a la metodología empleada en este trabajo. Con el fin de determinar la demanda actual (D_a) y potencial (D_p) de educación superior por municipio, se espacializaron los datos de estudiantes matriculados en la Institución y los estudiantes de grado 11, respectivamente. Para la estimación de la conectividad (C) y accesibilidad (A) vial, se usó la herramienta de análisis de redes del sistema de información geográfica ArcGIS. El primer paso de este análisis, consiste en la creación de un conjunto de datos de redes, en el que se ajusta el shapefile de vías y se corrigen errores topológicos. Luego de esto, se procede a estimar la conectividad vial, intersecando los cascos urbanos de los municipios y las vías, para establecer la cantidad de vías de acceso al municipio (Ecuación 1). Luego, se construyó la matriz de origen y destino, que permite establecer los tiempos reales y teóricos, insumos para el cálculo de la accesibilidad (Ecuación 2). Para cada subregión, los resultados de las variables son agrupados y normalizados, con el fin de establecer categorías cualitativas en las variables. Finalmente, se procede a calcular el índice de interacción espacial para cada municipio, dado por el producto de las cuatro variables normalizadas (Figura 1). Este procedimiento fue empleado para cada subregión, excepto para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en la cual ya está consolidada la sede física de la Institución.

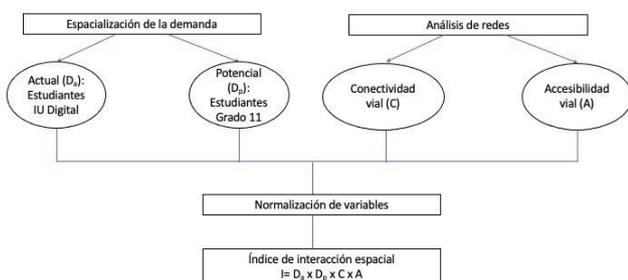


Figura 1. Diagrama de flujo asociado a la metodología empleada en este trabajo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Demanda actual y potencial de educación.

En la Figura 2, se presenta la distribución por subregiones de estudiantes matriculados en la IU Digital de Antioquia, la cual cuenta con aproximadamente 2.700 estudiantes matriculados en Antioquia (exceptuando al Valle de Aburrá). La subregión con mayor número de estudiantes matriculados es el Oriente Antioqueño (567), seguido por Urabá (504) y Bajo Cauca (376). Mientras que la subregión con menos estudiantes matriculados es el Magdalena Medio (88). Para el Oriente Antioqueño, los municipios con mayor y menor demanda actual son Rionegro (106) y Argelia (7), respectivamente. En la Tabla 2, se presenta la síntesis de municipios con mayor y menor demanda actual por subregión.

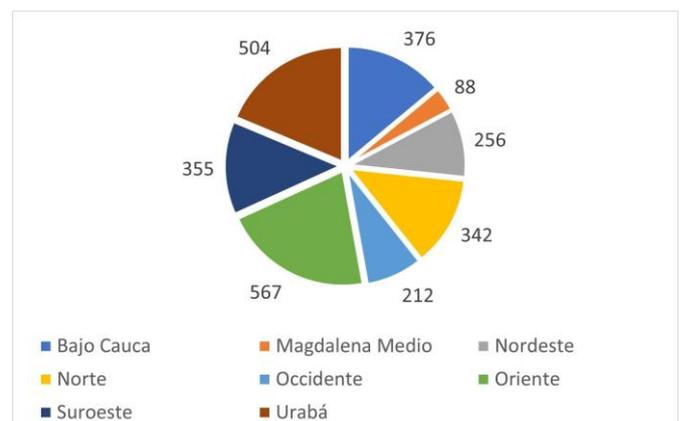


Figura 2. Cantidad de estudiantes matriculados en la IU Digital por subregiones de Antioquia.

Tabla 2. Demanda actual de educación en las subregiones de Antioquia. Entre paréntesis se indica la cantidad de estudiantes matriculados en la IU Digital.

Subregión	Mayor demanda	Menor demanda
Oriente (567)	Rionegro (106)	Argelia (7)
Urabá (504)	Arboletes (107)	Murindó (1)
Bajo Cauca (376)	Caucasia (146)	Tarazá (16)

Subregión	Mayor demanda	Menor demanda
Suroeste (355)	La Pintada (44)	Pueblo Rico (2)
Norte (342)	Ituango (51)	Angosturas (5)
Nordeste (256)	Amalfi (37)	Yalí (8)
Occidente (212)	Dabeiba y Buriticá (36)	Abriaquí (1)
Magdalena Medio (88)	Puerto Berrío (47)	Yondó (1)

En la Figura 3, se presenta la distribución por subregiones de estudiantes de grado 11 (demanda potencial), con un total de 16.946 estudiantes para todo Antioquia, exceptuando el Valle de Aburrá. La subregión con mayor número de estudiantes de grado 11 es el Oriente Antioqueño (4.961), con la mayor y menor cantidad de estudiantes en los municipios de Rionegro (1.248) y Guatapé (7), respectivamente. A esta subregión la siguen Urabá (3.808) y Bajo Cauca (1.848) en el ranking de la demanda potencial. Mientras que la menor cantidad de estudiantes de grado 11 se encuentra en la subregión del Magdalena Medio con 812 estudiantes. En esta los municipios con mayor y menor demanda potencial son Puerto Berrío (351) y Caracolí (36), respectivamente. En la Tabla 3, se presenta la síntesis de municipios con mayor y menor demanda potencial por subregión.

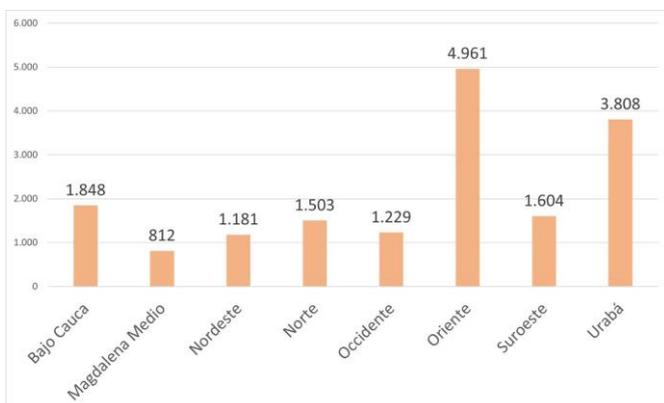


Figura 3. Cantidad de estudiantes de grado 11 por subregiones de Antioquia.

Tabla 3. Demanda potencial de educación en las subregiones de Antioquia. Entre paréntesis se indica la cantidad de estudiantes de grado 11.

Subregión	Menor demanda	Mayor demanda
Oriente (4961)	Rionegro (1248)	Guatapé (7)
Urabá (3808)	Apartadó (886)	Murindó (25)
Bajo Cauca (1848)	Caucasia (875)	Zaragoza (70)
Suroeste (1604)	Andes (230)	Hispania y Caramanta (0)
Norte (1503)	Yarumal (367)	Entrerrios, Carolina y Gómez Plata (0)
Occidente (1229)	Santa Fe de Antioquia (299)	Buriticá (7)
Nordeste (1181)	Remedios (279)	Yalí (29)
Magdalena Medio (812)	Puerto Berrío (351)	Caracolí (36)

4.2. Conectividad y accesibilidad vial.

En la Figura 4, se presentan los resultados de la estimación de la conectividad vial, dada por la cantidad de vías de acceso a los municipios. La información es presentada en términos relativos a cada subregión. De los municipios analizados, los que mayor conectividad vial presentan en Antioquia son San Jerónimo, Cisneros, San Vicente, La Ceja, El Carmen de Viboral, entre otros. Nuestro análisis indica que, en el Oriente Antioqueño, el municipio con mayor conectividad es La Ceja, el cual cuenta con cuatro vías de acceso, mientras que Argelia posee la menor cantidad de vías de acceso (1). En el Anexo 1, se pueden determinar cuáles municipios presentan la mayor y menor conectividad por subregión. En la Figura 5, se presentan los resultados de la estimación de la accesibilidad vial, dada por la ecuación 2. La información es

presentada en términos relativos a cada subregión. Esto nos permite identificar los municipios con mayor peso en términos de esta variable dentro de cada una de estas subregiones. Por ejemplo, en la subregión del Bajo Cauca, el municipio con mejor accesibilidad es Nechí, este presenta vías con mejor estado y menor sinuosidad que las de otros municipios, lo que hace que el tiempo de viaje real se aproxime más al teórico. Algo similar sucede en la subregión del Oriente Antioqueño, donde el municipio de Guarne presenta la mejor accesibilidad. En el Anexo 1, se presenta el ranking de municipios según su accesibilidad vial y por subregión de Antioquia.

4.3. Índice de interacción espacial.

La Figura 6 muestra el resultado del cálculo del índice de interacción espacial. Teniendo en cuenta las variables integradas, este se puede interpretar como un indicador de la importancia espacial de cada municipio dentro de la subregión. Valores altos muestran el grado de impacto que se generaría en esta subregión con la consolidación de una sede física de la Institución en el municipio en cuestión. De acuerdo con esto, se puede determinar que en la subregión del Oriente Antioqueño el municipio más idóneo para la definición de la sede física de la Institución sería Rionegro. Los resultados para cada subregión son presentados en la Tabla 4. Los resultados para cada municipio se presentan en el Anexo 1.

necesidades básicas insatisfechas, entre otros, que hoy se evalúan de manera cualitativa y sin un modelo espacial, lo que sigue implicando que los resultados de este u otro modelo más robusto no necesariamente son la decisión definitiva. Sobre todo, se deberán tener en cuenta análisis cualitativos de otro orden, que tengan el contexto local y regional para determinar la sede. Sin embargo, es un insumo sobre el cual soportar por ahora, variables físicas de relevancia.

Finalmente, esto es un trabajo inicial que puede derivar en la formulación de estrategias que lleven a definir en todo Colombia, cuáles pueden ser esos lugares que conecten regionalmente equipamientos educativos para ampliar el modelo de educación superior en todas las regiones del país. Además, este análisis aporta a la toma de decisiones de la ubicación de infraestructura física y de todo un proyecto masivo como los Nodos Subregionales de la IUDigital de Antioquia, que se perfila como un modelo de territorialización de la educación superior, orientado principalmente al fortalecimiento de capacidades y al desarrollo de la ruralidad colombiana.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó un análisis de interacción espacial entre los municipios que componen los nodos subregionales de la Institución Universitaria Digital de Antioquia, con el fin de ofrecer un insumo para establecer sus sedes físicas. Este análisis tiene en cuenta la demanda potencial y actual, dadas por la distribución espacial de estudiantes de grado 11 y de la Institución, respectivamente. Si bien se recomienda tener en cuenta estos resultados, no son una variable determinante, ya que, sobre esto se tendrán que analizar otras adicionales para ponderar y tomar la mejor decisión. En este sentido, se podría formular y ejecutar un modelo más complejo, que incluya las variables analizadas aquí y otras como voluntad política, base social, orden público,

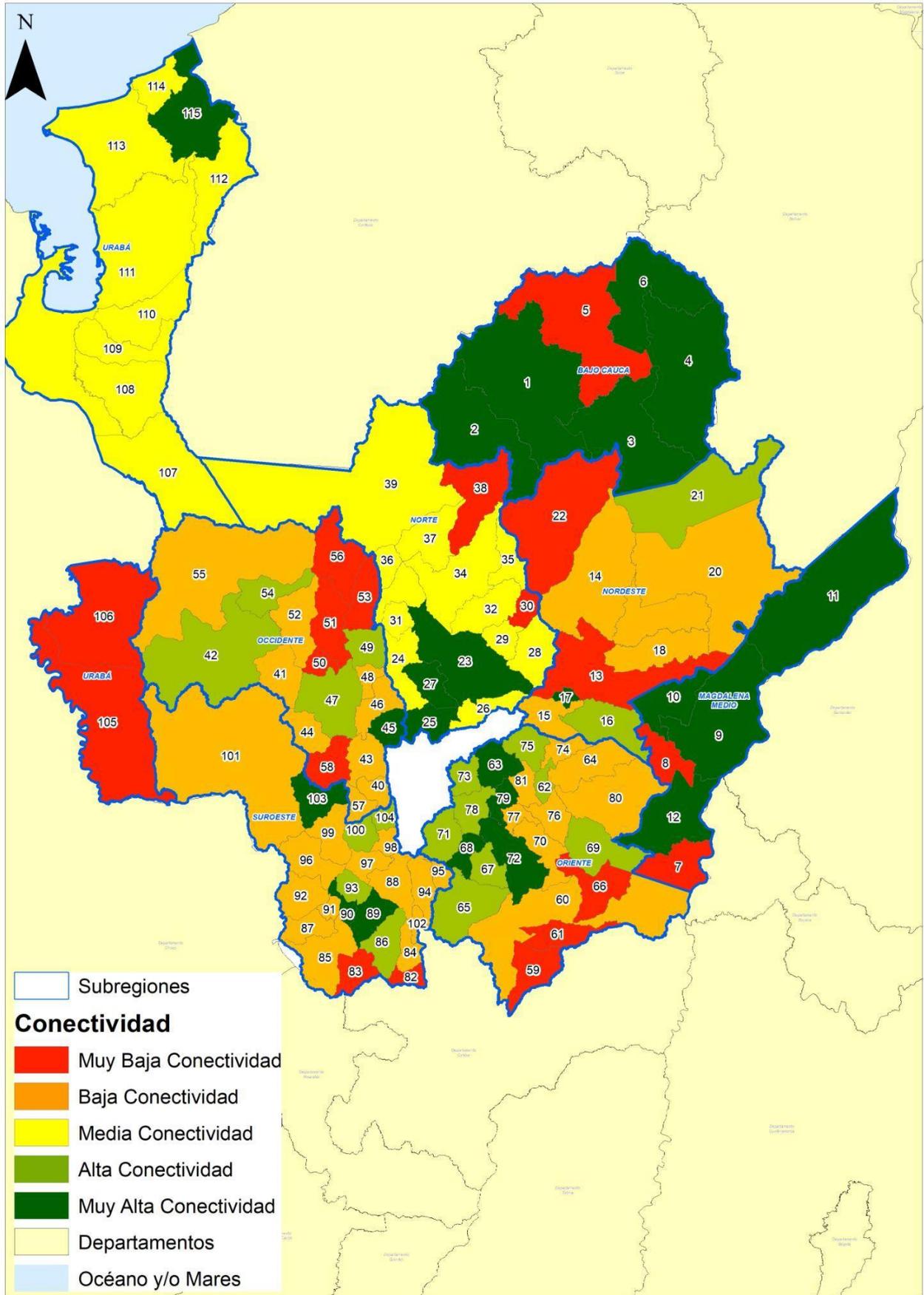


Figura 4. Conectividad vial de los municipios por subregión de Antioquia. Los códigos en el mapa hacen referencia a los municipios en el Anexo 1.

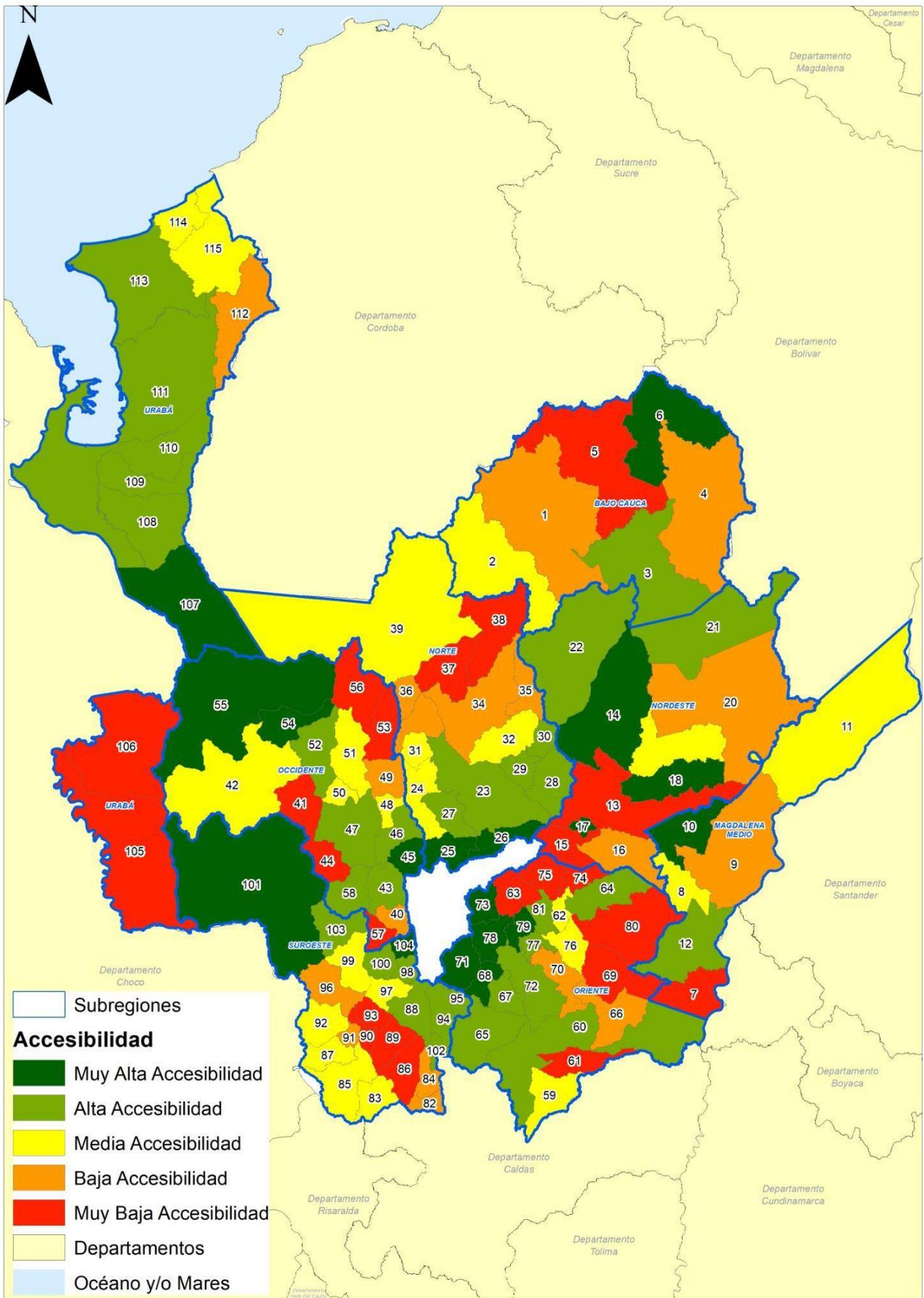


Figura 5. Accesibilidad vial de los municipios por subregión de Antioquia. Los códigos en el mapa hacen referencia a los municipios en el Anexo 1.

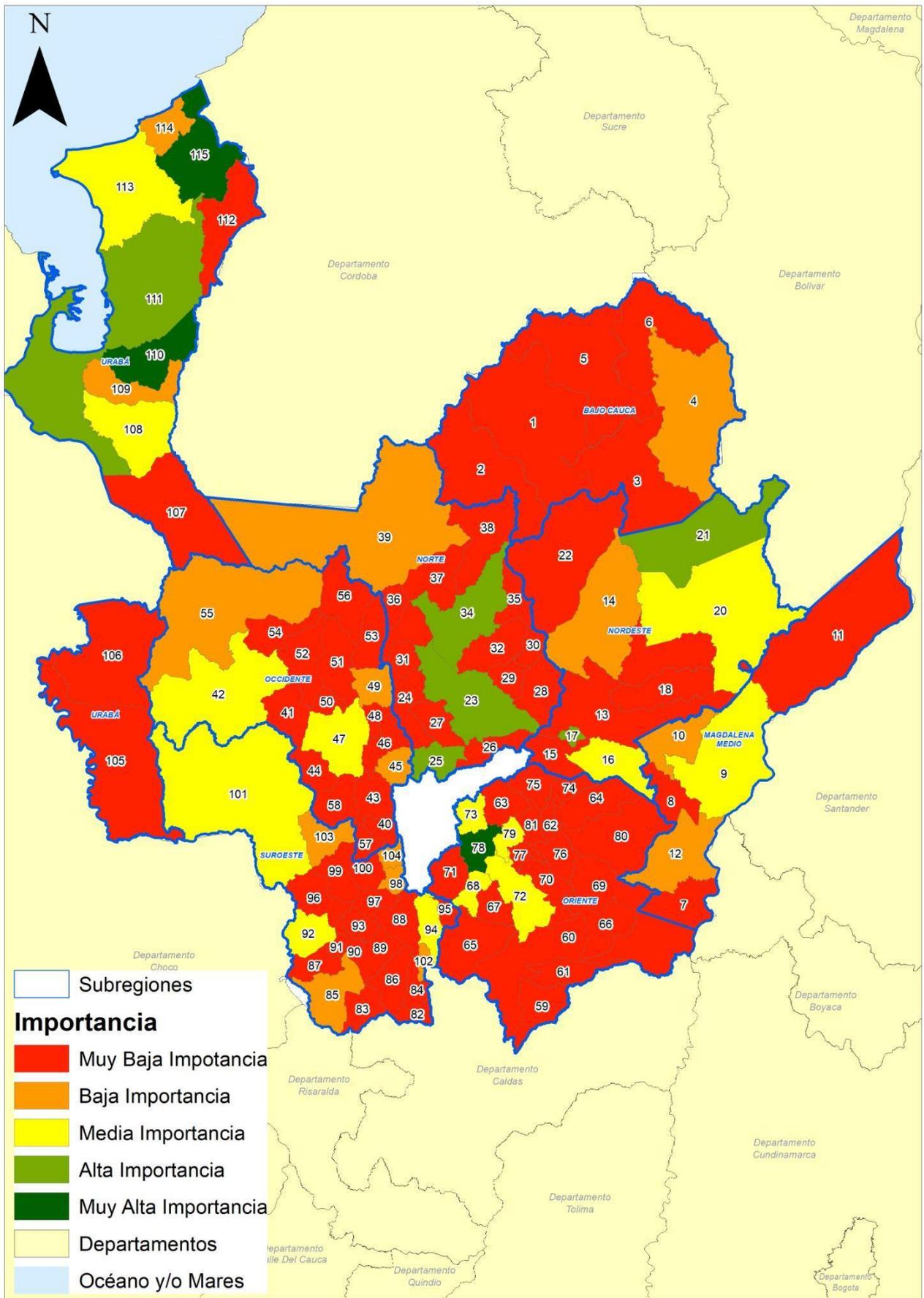


Figura 6. Interacción espacial de los municipios por subregión de Antioquia. Los códigos en el mapa hacen referencia a los municipios en el Anexo 1.

Tabla 4. Municipios con mayor importancia espacial para la consolidación de sedes físicas por subregión.

Subregión	Mayor importancia espacial
Oriente	Rionegro
Urabá	Apartado
Bajo Cauca	El Bagre
Suroeste	Santa Barbara
Norte	San Pedro de los Milagros
Occidente	Santa Fe de Antioquia
Nordeste	Segovia
Magdalena Medio	Puerto Berrio

REFERENCIAS

- Alarcón Hincapié, J. C., y Pabón Caicedo, J. D. (2013). El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. *Colombia forestal*, 16(2), 171-185.
- Albornoz Del Valle, E. A., Núñez Cerda, F. J., y Mena Frau, C. (2020). Geomarketing: Desde una visión comercial a una aplicación social, en contextos metropolitanos. *Revista de Geografía Norte Grande*, (76), 143-167.
- Aragón-Hernández, J. L., Aguilar-Martínez, G. A., Velázquez-Ríos, U., Jiménez-Magaña, M. R., y Maya-Franco, A. (2019). Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(2), 0-0.
- Arias, F. C., Cardozo, O. D., y Parras, M. A. (2016). Análisis de conectividad y densidad de la red vial en la Reserva Natural del Iberá con Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Banerjee, A., Duflo, E., y Qian, N. (2020). On the road: Access to transportation infrastructure and economic growth in China. *Journal of Development Economics*, 145, 102442.
- Bautista, A. F. (2018). Análisis de accesibilidad y conectividad de la red vial intermunicipal en el microsistema regional de la provincia Centro en Boyacá, Colombia. *Perspectiva geográfica*, 23(1), 123-141.
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., ... y Velástegui, A. (2009). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. *EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA*. Quito, 14-150.
- Buzai, G. D., Humacata, L., y Principi, N. (2019). Análisis espacial con sistemas de información geográfica. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes.
- Chereque-Lizarzaburu, B. F., y Delgado-Alva, M. F. (2020). El impacto de la infraestructura vial sobre la educación rural: análisis de los canales de transmisión del impacto y de la evidencia empírica de la literatura.
- Franco-Naranjo, A. M., y Muñoz-Arroyave, E. A. (2020). Obras de infraestructura vial como aporte al desarrollo local. Caso: Doble Calzada Oriente (DCO) Palmas–El Tablazo, Antioquia.
- Fuentes-Álvarez, J. A. (2020). Análisis de la accesibilidad espacial hacia los equipamientos educativos en el área urbana del municipio de Santa Cruz de Loricá.
- Garnica-Berrocal, R. (2012). Análisis espacial de los equipamientos educativos (oficiales) en la ciudad de Montería, Colombia. *Estudios socioterritoriales*, 12, 0-0.
- Gaspari, F. J., Díaz Gómez, A. R., Delgado, M. I., y Senisterra, G. E. (2015). Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114.
- Jerez-Calero, M. E., Llerena-Cepeda, S. L., & Zamora-Sánchez, R. (2018). Estudio de satisfacción

- poblacional a la red vial intercomunitaria Quisapincha-Pasa. *INNOVA Research Journal*, 3(3), 95-108.
- Lache-González, J. O. (2020). La conectividad vial en los Montes de María en el post-conflicto 2018. Estudio de casos: Municipios El Carmen de Bolívar y Ovejas.
- Longley, P. A., y Mateos, P. (2005). Un nuevo y prominente papel de los SIG y el Geomarketing en la provisión de servicios públicos. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (5), 1-5.
- López-Pachón, J. R. (2019). Selección de la ubicación para la nueva sede de una academia de música vallenata en la ciudad de Bogotá, a través de la implementación de un modelo matemático de optimización (Tesis doctoral, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito).
- Manrique-Losada, B., y Arango-Vásquez, S. I. (2020). Virtual Platform for the Institución Universitaria Digital de Antioquia-Colombia. In 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) (pp. 1-6). IEEE.
- Martínez-Bascuñán, M. (2014). Why should we think of structural injustice when speaking about culture?. *Revisiting Iris Marion Young on Normalisation, Inclusion and Democracy*, 17-32.
- Matus, J. M., Herrera, R. F., Atencio, E., y Pellicer, E. (2019). Análisis de conectividad vial para la planificación urbana: casos de estudios Valparaíso (Chile) y Valencia (España).
- Mejía, M. (2007). Estudio Exploratorio de la Distribución Espacial de los Estudiantes de Ingeniería de Una Universidad Privada en la Ciudad de Mexico. *AMCIS 2007 Proceedings*, 79.
- Mendoza-Barreto, S. A. (2018). Distribución de las instituciones de educación superior: un análisis de equidad espacial para la ciudad de Cali (Doctoral dissertation).
- Montero, A. E. L., y Brito, M. S. (2019). Distribución espacial de macroinvertebrados bentónicos móviles en el intermareal rocoso de San Lorenzo, Ecuador. *La Técnica*, (21), 17-30.
- Montoya, J. A., Escobar, D. A., y Moncada, C. A. (2020). Análisis de accesibilidad urbana a partir de intervenciones viales mediante sistemas de información geográfica. Caso de estudio, la malla vial del municipio de Quibdó, en Colombia. *Información tecnológica*, 31(2), 19-30.
- Morera-Chacón, B. H. (2020). Relación entre la presencia de equinos de trabajo (*Equus caballus*) y la distribución espacial y temporal del venado cola blanca (*odocoileus virginianus*) en el Parque Nacional Santa Rosa.
- Mulongu, G. (2013). Inequality in accessing higher education in Kenya; Implications for economic development and well-being. *International Journal of Humanities and Social Science*, 3(16), 49-61.
- Muñoz, J. D., Martínez, L. J., y Giraldo, R. (2006). Variabilidad espacial de propiedades edáficas y su relación con el rendimiento en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 355-366.
- Narváez-Pérez, L. F. (2021). Análisis de la distribución espacial y accesibilidad geográfica a los equipamientos educativos de la margen derecha del Municipio de Santa Cruz de Lorica.
- Popova, Y. (2017). Relations between wellbeing and transport infrastructure of the country. *Procedia Engineering*, 178, 579-588.
- Prieto-Lizarazo, J., y Pinzón-Restrepo, P. A. Análisis Espacial para la Localización de Nuevos Equipamientos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en el Marco de la Política de Consolidación de la Dispersión del Plan Maestro de Desarrollo Físico 2008-2016, para la Ciudad Región.
- Restrepo-Quintero, V. (2023). Patrones de localización espacial y dinámica económica espacial del municipio de Rionegro: análisis al plan vial 2017-2021.
- Ríos-Durango, A. E. (2020). Distribución y análisis espacial del crecimiento urbano, los equipamientos,

actividades de comercio y servicios más una mirada prospectiva de la comuna 8 de Montería desde sus inicios hasta la actualidad.

Geográfica (SIG) en la ciudad de Bogotá, Colombia. *IDEA Construcción y Madera*, 2(2), 78-87.

Rodríguez-Collazos, O. (2017). Espacialización y localización de la población educativa para la relocalización de equipamientos educativos en la ciudad de Neiva.

Saltaín Molino, M. A. (2017). Diseño de una metodología para evaluación de accesibilidad de transporte no motorizado.

Sánchez, D., Sassone, S., y Matossian, B. (2007). Barrios y áreas sociales de San Carlos de Bariloche: análisis geográfico de una ciudad fragmentada. In *IX Jornadas Argentinas de Estudios de Población*. Asociación de Estudios de Población de la Argentina.

Vázquez, S. (2017). Cooperación Para La Reducción De La Desigualdad Educativa En América Latina. El Enfoque De La Organización Visión Mundial. *Iberoforum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*, 12(23), 102-127.

Velasquez Ovalle, M. A. (2019). Análisis Espacial de la Cobertura de Atención de las Estaciones de Bomberos en la Ciudad de Bogotá, Colombia, usando herramientas SIG.

Vicuña, M., Orellana, A., Truffello, R., y Moreno, D. (2019). Integración urbana y calidad de vida: disyuntivas en contextos metropolitanos. *Revista Invi*, 34(97), 17-47.

Vono, D., y Domingo, A. (2007). El retorno de españoles desde América Latina: características demográficas y distribución espacial de los flujos entre 1988 y 2006. *Cuadernos geográficos*, (41), 7-31.

Waddell, P. (2002). UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American planning association*, 68(3), 297-314.

Zabala, J. F. G. (2020). Localización óptima de viveros ornamentales con Sistemas de Información