



Documento metodológico y de fuentes de información

Relaciones Funcionales e
Interdependencias en la Región
Metropolitana Bogotá-Cundinamarca

Relaciones Funcionales e Interdependencias en la Región Metropolitana Bogotá-Cundinamarca

Documento metodológico y de fuentes de información

Región Metropolitana Bogotá-Cundinamarca

Director de la Región Metropolitana Bogotá Cundinamarca

Luis Felipe Lota

Subdirectora de Planeación Metropolitana y Regional

Gisela Paola Labrador Araújo

Coordinadora equipo técnico del PERM

Maria Catalina Bejarano

Equipo técnico PERM

UrbanPro - Corporación Gestión Urbana para el Desarrollo

Autores

Alfredo Bateman Serrano

Juan Mauricio Ramírez

María Camila Lozano

Diana Camargo

Carlos Daniel Quintana

Daniela Callejas Chocontá

María Parra Medaglia

María Paula Duarte

ONU Hábitat

Jefe de Sección (OIC), Política, Legislación y Gobernanza

Rémy Sietchiping

Experto en Políticas Urbanas, Metropolitanas y de Gobernanza

Rafael Forero

Octubre de 2025

Bogotá D.C.

Tabla de contenidos

Listado de abreviaciones o siglas.....	VI
Resumen ejecutivo.....	VII
Introducción.....	9
1. Antecedentes conceptuales y metodológicos.....	10
1.1 Medición y mecanismos de agregación de las relaciones funcionales e interdependencias.....	12
1.2 Definición de relaciones funcionales e interdependencias.....	19
1.3 Temáticas y ámbito geográfico de la medición.....	20
1.4 Método general utilizado.....	29
2. Medición de las relaciones funcionales e interdependencias.....	31
2.1 Temática: Movilidad.....	31
2.1.1 Conmutación laboral.....	31
2.1.2 Migración.....	35
2.1.3 Tiempos de viaje.....	39
2.2 Temática: Equipamientos sociales y del hábitat.....	41
2.2.1 Salud.....	41
2.2.2 Educación.....	45
2.3 Temática: Seguridad alimentaria.....	48
2.3.1 Transporte de alimentos.....	48
2.3.2 Transporte de cárnicos.....	52
2.4 Temática: Desarrollo económico.....	56
2.4.1 Transporte de manufacturas.....	56
2.4.2 Turismo.....	62
2.4.3 Internacionalización.....	66
2.5 Temática: Servicios públicos.....	70
2.5.1 Servicio público de acueducto.....	71
2.5.2 Servicio público de disposición final de residuos	75
2.6 Temática: Ambiental.....	78
2.6.1 Hidrología.....	78
2.6.2 Contigüidad ambiental de áreas protegidas.....	82
2.7 Temática: Seguridad ciudadana.....	84
2.7.1 Hurtos.....	84
2.7.2 Homicidios.....	88

3. Índice de Interdependencias RMBC: Metodología de agregación y resultados.....	91
3.1 Medición y mecanismos de agregación de las relaciones funcionales e interdependencias.....	92
3.2 Definición de relaciones funcionales e interdependencias.....	94
Conclusiones.....	103
Referencias.....	105
Bases de datos.....	107
Anexos.....	109

Índice de tablas

Tabla 1 - Sistema de Ciudades para Bogotá – Cundinamarca según la propuesta del DNP (2014).....	13
Tabla 2 - Territorios funcionales: Bogotá Cundinamarca.....	14
Tabla 3 - Territorios funcionales Cundinamarca (seis a dos municipios).....	15
Tabla 4 - Comparación de los ámbitos geográficos por metodología de análisis.....	16
Tabla 5 - Municipios incluidos en el estudio por departamento.....	23
Tabla 6 - Territorios funcionales: Bogotá Cundinamarca.....	24
Tabla 7 - Fuentes de información que no cumplen criterios de usabilidad por variable.....	27
Tabla 8 - Códigos CIIU Manufacturas.....	57
Tabla 9 - Territorios funcionales: Bogotá Cundinamarca.....	63
Tabla 10 - Puntos de corte por variable.....	93
Tabla 11 - Cortes para la interdependencia metropolitana.....	97
Tabla 12 - Cortes para la interdependencia regional.....	98
Tabla 13 - Análisis de variación de los puntos de corte (K).....	100

Ilustraciones

Ilustración 1 - Temáticas interdependencias RMBC.....	20
Ilustración 2 - Proceso metodológico para las interdependencias por temática.....	30
Ilustración 3 - Proceso metodológico hidrología.....	80
Ilustración 4 - Incidencia metropolitana de acuerdo con los distintos valores de k	97
Ilustración 5 - Incidencia regional de acuerdo con los distintos valores de k.....	99

Mapas

Mapa 1 - Municipios que componen el estudio.....	22
Mapa 2.1 - Relaciones funcionales conmutación laboral con Bogotá (volumen).....	33
Mapa 2.2 - Relaciones funcionales conmutación laboral con Bogotá (relativo).....	34
Mapa 3.1 - Relaciones funcionales de migración con Bogotá (volumen).....	37
Mapa 3.2 - Relaciones funcionales de migración con Bogotá (relativo).....	38
Mapa 4 - Tiempos de viaje de los municipios con Bogotá.....	40
Mapa 5.1 - Relaciones funcionales de salud con Bogotá (volumen).....	43
Mapa 5.2 - Relaciones funcionales de salud con Bogotá (relativo).....	44
Mapa 6.1 - Relaciones funcionales educación con Bogotá (volumen).....	46
Mapa 6.2 - Relaciones funcionales educación con Bogotá (relativo).....	47
Mapa 7.1 - Relaciones funcionales de transporte de alimentos con Bogotá (volumen).....	50
.Mapa 7.1 - Relaciones funcionales de transporte de alimentos con Bogotá (relativo).....	51
Mapa 8.1 - Relaciones funcionales de transporte de cárnicos con Bogotá (volumen).....	54
Mapa 8.2 - Relaciones funcionales de transporte de cárnicos con Bogotá (relativo).....	55
Mapa 9.1 - Relaciones funcionales de transporte de manufactura con Bogotá (volumen).....	60
Mapa 9.2 - Relaciones funcionales de transporte de manufactura con Bogotá (relativo).....	61
Mapa 10 - Relaciones funcionales turismo con Bogotá.....	65

Mapa 11.1 - Relaciones funcionales de exportaciones con Bogotá (volumen).....	68
Mapa 11.2 - Relaciones funcionales exportaciones con Bogotá (relativo)....	69
Mapa 12 - Relaciones funcionales de prestación del servicio de acueducto con Bogotá.....	74
Mapa 13.1 - Relaciones funcionales de disposición final de residuos con Bogotá (volumen).....	76
Mapa 13.2 - Relaciones funcionales de disposición final de residuos con Bogotá (relativo).....	77
Mapa 14 - Relaciones funcionales de hidrografía con Bogotá.....	81
Mapa 15 - Relaciones funcionales RUNAP con Bogotá.....	83
Mapa 16 - Relaciones funcionales de hurtos con Bogotá.....	87
Mapa 17 - Relaciones funcionales de homicidios con Bogotá.....	90
Mapa 18 - Ámbitos de interdependencia metropolitana y regional.....	102

Listado de abreviaciones o siglas

RMBC: Región Metropolitana Bogotá – Cundinamarca.

IIRMBC: Índice de Interdependencias Región Metropolitana Bogotá Cundinamarca.

CIU: Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas.

RUES: Registro Único Empresarial.

CNPV: Censo Nacional de Población y Vivienda.

SIPSA: Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario.

RNDC: Registro Nacional de Carga por Carretera.

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario.

RUNAP: Registro Único Nacional de Áreas Protegidas.

Resumen ejecutivo

El presente estudio tiene como propósito la identificación y medición de las relaciones funcionales e interdependencias existentes entre los municipios que conforman la Región Metropolitana Bogotá - Cundinamarca (RMBC), y muy particularmente las relaciones con Bogotá, sus valores de flujo e intensidad. El estudio logra evidenciar la forma en que las dinámicas territoriales de movilidad, servicios sociales, ecosistémicos o relaciones económicas, entre otras, trascienden los límites político- administrativos de los municipios y por lo tanto su entendimiento y medición pueden ayudar a entender y gestionar de mejor manera dichas interdependencias y en ese sentido, ofrece una mirada inédita sobre el funcionamiento del territorio.

A través de la medición sistemática de las relaciones funcionales e interdependencias entre Bogotá y los municipios de Cundinamarca, se devela la red de flujos que sostiene la vida económica, social y ambiental de la región. Más que un ejercicio técnico, se trata de una invitación a comprender el territorio como un sistema de vínculos que trascienden los límites político-administrativos, y a construir políticas públicas basadas en la evidencia de esas interacciones funcionales.

El punto de partida es un hecho simple y profundo: la región, funcionalmente hablando, no se organiza según sus fronteras político-administrativas, sino según sus flujos. Cada día, miles de personas se desplazan para trabajar, estudiar o acceder a servicios; bienes agrícolas, manufacturados y turísticos viajan por los corredores del departamento; los ecosistemas y fuentes hídricas conectan cuencas compartidas; y la prestación de servicios públicos o de seguridad se apoya, en muchos casos, en infraestructuras y capacidades que desbordan un solo municipio. La medición de esas interdependencias permite reconocer una estructura funcional regional que ya existe —una red de movilidad, servicios y economías— y cuya gestión coordinada será decisiva para el futuro de la Región Metropolitana.

Por ello, el propósito del estudio está centrado en identificar, medir y/o estimar la intensidad de los vínculos intermunicipales actualmente existentes, entendidos como relaciones funcionales (flujos observables) e interdependencias (vínculos estructurales y sostenidos), cuya medición busca construir una base empírica para orientar decisiones de planificación, inversión y gobernanza.

El trabajo abarcó siete temáticas clave —movilidad, equipamientos sociales del hábitat, seguridad alimentaria, desarrollo económico, servicios públicos, ambiente y seguridad ciudadana—, cada una representada por variables de flujo entre municipios, donde para garantizar comparabilidad, cada uno se normalizó entre 0 y 1, eliminando el sesgo del tamaño poblacional o

económico. Se definieron además puntos de corte estadísticos para distinguir relaciones “significativas”, que luego se tradujeron en una matriz binaria de interdependencias. Finalmente, se aplicó el método de conteo multidimensional de Alkire & Foster, adaptado a la escala territorial, para construir una propuesta de Índice de Interdependencias de la RMBC -IIRMBC.

El resultado es un sistema integrado de información que no sólo identifica si existen vínculos entre municipios, sino cuán intensos y persistentes son, y en cuántas temáticas coinciden. Los resultados confirman que la región funciona como un sistema de nodos y corredores interdependientes, donde Bogotá actúa como articulador central, pero acompañado de subregiones que cumplen funciones complementarias. Las áreas de mayor densidad funcional se localizan en el entorno metropolitano inmediato —un conjunto de al menos 18 municipios—, donde coinciden altos niveles de conmutación laboral, conectividad física y viajes por acceso a servicios sociales. Estas zonas configuran un ámbito metropolitano consolidado, mientras que un segundo anillo de municipios interdependientes en movilidad, ambiente o servicios públicos revela una región ampliada cuya coordinación requiere arreglos de gobernanza diferenciados.

La medición también revela que las interdependencias no siempre son simétricas ni homogéneas: algunos municipios dependen de Bogotá en materia laboral o de servicios, pero la capital depende de ellos para su abastecimiento alimentario, disposición de residuos, provisión de agua y equilibrio ambiental. En otras palabras, la interdependencia es bidireccional: la sostenibilidad metropolitana se apoya en el equilibrio regional.

La utilidad del índice y de las matrices va más allá del diagnóstico. Constituyen una herramienta operativa para orientar la acción pública en al menos tres dimensiones: i) Ordenamiento y planificación, ii) Inversión y priorización, y iii) Gobernanza y asociatividad. De esta manera, la RMBC se perfila como un laboratorio de política territorial basada en datos, capaz de anticipar tensiones y orientar respuestas conjuntas anticipadas entre los diferentes niveles de actores.

El estudio sienta las bases para una nueva cultura de información regional, pues sus resultados no son un mapa estático, sino una fotografía dinámica de flujos que cambian con la economía, la movilidad o las decisiones de inversión territorial. Por eso, el siguiente paso —el visor interactivo y las recomendaciones estratégicas— permitirá actualizar los datos, visualizar tendencias y simular escenarios, conformando así un sistema de conocimiento territorial al servicio de la RMBC y de sus decisiones de política.

Introducción

Este documento tiene como propósito presentar la metodología para la identificación y medición y/o estimación de las relaciones funcionales e interdependencias en la Región Metropolitana Bogotá-Cundinamarca (RMBC), particularmente de los municipios de Cundinamarca con Bogotá como insumo clave para orientar decisiones alrededor de estas dinámicas desde el instrumento del Plan Estratégico Regional y para fortalecer el Observatorio Regional. El documento constituye el primero de tres productos de la consultoría, enfocado en establecer los fundamentos metodológicos necesarios para la medición, estimación y agregación de las interdependencias territoriales de la Región Bogotá-Cundinamarca.

El primer esfuerzo que recoge este documento es la definición precisa de qué se entiende por relaciones funcionales e interdependencias en el contexto del estudio, estableciendo sus características observables y las condiciones bajo las cuales se considera que alcanzan una intensidad significativa. Asimismo, se definen las variables de las siete temáticas que estructuran el análisis —movilidad, equipamientos sociales del hábitat, seguridad alimentaria, desarrollo económico, seguridad, servicios públicos y ambiente— y se detallan los criterios para la medición y/o estimación de los flujos y relaciones funcionales, de acuerdo con las metodologías incorporadas.

Adicionalmente, el documento propone una agregación que puede ser utilizada para diferentes propósitos y se prueba la misma en un insumo para conformar un ámbito metropolitano y regional a partir de la acumulación de interdependencias, que en ningún caso tiene fuerza de vinculante a los instrumentos de planeación, si no que busca mostrar la fortaleza y versatilidad del método de Alkire & Foster adaptado a la medición territorial.

Uno de los principales aportes metodológicos de este estudio es la construcción de mediciones cuantitativas de flujos origen-destino entre entidades territoriales, inexistentes hasta ahora de forma integrada, comparable y sistemática para las variables y temáticas seleccionadas. Estas mediciones permiten identificar vínculos efectivos entre territorios y distinguir entre relaciones funcionales —interacciones observables a través de flujos— e interdependencias, entendidas como conexiones estructurales, sostenidas y de alta intensidad. La disponibilidad de estos datos representa una oportunidad inédita para comprender el sistema regional desde una perspectiva relacional, multiescalar y complementaria a los enfoques sectoriales o administrativos convencionales, aunque también señala las limitaciones de la información existente y por lo tanto marca toda una agenda de fortalecimiento de dicha información relacional.

Finalmente, este documento constituye la base técnica y conceptual para el desarrollo de los productos subsiguientes de la consultoría. El visor interactivo previsto en el segundo producto se construirá a partir de las matrices de flujos originadas en esta etapa, mientras que el análisis estratégico del producto tres se apoyará en los resultados de estas mediciones para formular recomendaciones orientadas a la gestión y gobernanza de las relaciones funcionales e interdependencias, según su

intensidad, frecuencia y relevancia temática en la RMBC, ligado a la versatilidad de las mediciones a partir de los métodos propuestos.

En este sentido, las mediciones desarrolladas no solo permiten una comprensión más profunda del sistema territorial de la RMBC, sino que habilitan una transición hacia lineamientos concretos de planificación, coordinación y articulación multinivel, en consonancia con la diversidad y complejidad de las dinámicas territoriales que caracterizan su funcionamiento presente y los desafíos que enfrenta a futuro.

1. Antecedentes conceptuales y metodológicos

Este capítulo tiene como objetivo presentar las bases teóricas para el análisis de las relaciones funcionales e interdependencias en la Región Metropolitana Bogotá Cundinamarca (RMBC), empezando por su importancia en la geografía económica, y destacando cómo los flujos de personas, bienes, servicios ecosistémicos e ideas revelan las complejas relaciones entre diferentes lugares y definen elementos fundamentales de la prosperidad y desarrollo metropolitano y regional. A continuación, se adentra en la medición de estas relaciones funcionales e interdependencias, presentando metodologías y ejercicios clave que han sido empleados en diversos contextos, particularmente en el caso colombiano.

Además, se analizarán diferentes variables de las relaciones funcionales e interdependencias y se expondrán ejemplos y casos de estudio relevantes aplicados en el país, así como las publicaciones del Observatorio de Dinámicas Urbano Regionales de Bogotá D.C. (ODUR) y el Observatorio del Sistema de Ciudades (OSC) del Departamento Nacional de Planeación (DNP), para enriquecer la comprensión de la temática.

El principio de interacción espacial, fundamental en la geografía económica (Camagni, 2005), establece que no existen localizaciones autárquicas, por el contrario, cada territorio se encuentra inmerso en una serie de relaciones e interacción con su entorno, y esas relaciones determinan de manera significativa barreras o potenciadores de la prosperidad compartida. Estas interacciones pueden ser de atracción, repulsión, irradiación, competencia o cooperación. El entendimiento e intensidad de esas interacciones y la comprensión sobre su importancia relativa en la gestión de un territorio sólo pueden lograrse a través de la medición de los flujos. Los flujos, ya sean de personas, bienes, servicios ecosistémicos o ideas, constituyen la manifestación tangible de las interdependencias entre diferentes lugares.

La comprensión de las relaciones funcionales y las interdependencias tiene implicaciones cruciales para la planificación territorial. Los gobiernos y las instituciones encargadas de esta tarea deben tener en cuenta los flujos e interacciones entre diferentes unidades espaciales o lugares para formular políticas públicas eficientes y promover un desarrollo territorial equilibrado. La evaluación de las relaciones e interdependencias entre municipios, el análisis de la conectividad entre diferentes regiones, entre otros aspectos, se vuelven fundamentales para la

toma de decisiones en materia de planificación territorial, así como la identificación sobre cómo diversos esquemas de gobernanza y gestión asociativa de las interdependencias pueden ser relevantes y agregar valor a las intervenciones públicas.

Sin embargo, es importante diferenciar la manifestación actual de las interdependencias, es decir la intensidad actual de los flujos, y el deber ser o prospectivo de dichas interdependencias. Allí el rol de los objetivos de la integración territorial, el ordenamiento y modelo de ocupación del territorio, o las inversiones regionales, deben enviar señales de política pública clara acerca de la gestión de las interdependencias. La medición actual puede indicar, incluso, una falta de gestión territorial en una temática y la manifestación sobre la forma e intensidad de los flujos ser un síntoma que requiere atención e inversiones concretas.

Para efectos conceptuales, y particularmente a la luz de las dinámicas de carácter metropolitano, se parte de las áreas económicas funcionales como concepto estructurante sobre el cual se precisan los mecanismos de medición adoptados en este estudio y se establecen las definiciones operativas para distinguir entre una relación funcional —como vínculo recurrente y cuantificable entre dos territorios— y una interdependencia —como conexión significativa, sostenida y estructural que configura parte del sistema territorial.

Las áreas económicas funcionales en la medición de las interdependencias

El análisis de las relaciones funcionales y las interdependencias, aunque obedece a conceptos diferentes que se detallarán más adelante, permite identificar territorios con conexiones económicas, sociales y espaciales más intensas entre sí que con otros territorios. El concepto parte de la premisa de que existen “áreas o entidades espaciales que interactúan más entre sí que con el exterior” (Brown and Holmes 1971). En la literatura estas áreas también han sido denominadas zonas de conmutación (Tolbert and Sizer 1996), regiones funcionales (Florida et al. 2008), áreas económicas funcionales (Jones 2016), áreas urbanas funcionales (OECD 20102), áreas del mercado laboral (Tolbert and Sizer 1996), y territorios funcionales (Berdegué et al. 2011, 20195), entre otros, todas presentando diferencias en los parámetros de medición y clasificación de vínculos significativos de interdependencia.

Estas áreas económicas funcionales definen el espacio a partir de la intensidad de las interacciones económicas y sociales, y no de los límites administrativos; e incluyen áreas urbanas y rurales con fuertes interacciones socioeconómicas, reflejando patrones de movilidad cotidiana de personas, bienes y servicios. La relación con la metropolización es directa: las unidades funcionales materializan, con criterios empíricos, el proceso de expansión e integración intermunicipal que caracteriza las dinámicas metropolitanas. En otras palabras, estas áreas delimitan los territorios funcionales donde se originan las economías de aglomeración, mercados laborales comunes y la gestión de los servicios compartidos, proporcionando una base objetiva para planificar el hábitat, la infraestructura, las decisiones de clasificación de suelo y el acceso a servicios a la escala que la dinámica metropolitana exige.

De esta manera, la identificación de áreas económicas funcionales, como se ha señalado, permite superar los límites administrativos tradicionales al reconocer patrones de interacción que configuran dinámicas del territorio metropolitano, sin embargo, una medición más amplia de relaciones funcionales e interdependencias en el ámbito de las relaciones de Bogotá con los municipios del departamento no se agotan en las dinámicas metropolitanas, tal como la misma Ley de creación de la RMBC reconoce. Por lo tanto el espectro de medición de flujos en este estudio será más amplio.

Así mismo, se reconoce que, para avanzar hacia una comprensión operativa de estas interacciones, es necesario construir métricas que capten la intensidad y direccionalidad de los flujos entre entidades territoriales, basadas en el análisis de flujos como expresión tangible de las relaciones funcionales e interdependencias. A partir de estas mediciones, se establecen criterios para definir cuándo un vínculo territorial puede ser considerado funcional —por su existencia medible— y cuándo alcanza el umbral para ser considerado una interdependencia estructural, que implica relaciones sostenidas, y con efectos mutuos significativos.

1.1 Medición y mecanismos de agregación de las relaciones funcionales e interdependencias

A continuación, se expondrán brevemente las principales metodologías y ejercicios que se han empleado para medir las relaciones funcionales e interdependencias en diferentes estudios para Colombia y que se consideran relevantes para la medición y metodología que aquí se plantea. Estas metodologías son: la identificación del Sistema de Ciudades (DNP, 2014); la identificación de territorios funcionales (Berdegué, J. et. al. 2019); la Subregionalización funcional (DNP, RIMISP, 2019); interdependencias municipales en la Sabana de Bogotá (BID, 2018); y, las interdependencias municipales en el departamento del Atlántico (Fundesarrollo, 2019), así como algunas publicaciones del ODUR y del Observatorio del Sistema de Ciudades del DNP, relacionados con la medición de las interdependencias.

La Misión del Sistema de Ciudades, realizada por el DNP (2014), es uno de los ejercicios que puso en el centro de la discusión la importancia de las relaciones funcionales, más allá de los límites político-administrativos, y, con una metodología basada en el tamaño poblacional (más de 100.000 habitantes) y en la conmutación laboral (un umbral de conmutación laboral del 10%), propuso un sistema de ciudades compuesto por 56 ciudades: 18 aglomeraciones y 38 ciudades uninodales, con un total de 151 municipios que integran el sistema.

En esta aproximación, las aglomeraciones funcionales son las áreas o territorios donde existen intensas interacciones económicas y sociales, caracterizadas principalmente por la concentración espacial de actividades productivas y una elevada integración del mercado de trabajo. En el mismo sentido, los nodos de las aglomeraciones funcionales son los municipios o ciudades que actúan como atractores del empleo, definidos empíricamente a través del análisis de los flujos de conmutación laboral, y

conforman el núcleo alrededor del cual se organizan las aglomeraciones o áreas económicas funcionales. Hay casos, sin embargo, de ciudades que no están conectadas a otros municipios por flujos de conmutación significativos, y en ese sentido constituyen ciudades uni-nodales^[1].

Según el Sistema de Ciudades propuesto por el DNP (2014) (ver **Tabla 1** y **Tabla 4**), para la Región Metropolitana Bogotá–Cundinamarca (RMBC) existen dos centros de aglomeración (Bogotá y Girardot), 23 municipios aglomerados y un municipio uninodal (Fusagasugá).

Tabla 1 – Sistema de Ciudades para Bogotá – Cundinamarca según la propuesta del DNP (2014)

Tipología de ciudad	No. Ciudades
Centro aglomeración	2
En aglomeración	23
Uninodal	1
Fuera del Sistema de Ciudades	91
Total general	117

Fuente: Adaptado de Observatorio del Sistema de Ciudades (DNP, 2014)

Por su parte, el estudio Delineating functional territories from outer space (Berdegué, Ramírez et. al., 2019), utiliza flujos de conmutación laboral junto con imágenes satelitales nocturnas para identificar territorios funcionales. Estos son definidos como “espacios que contienen una alta frecuencia de interacciones económicas y sociales entre sus habitantes, organizaciones y empresas” (Berdegué, et al. 2011). Para su identificación se desarrolla una metodología en dos pasos. El primer paso consiste en hacer uso de imágenes satelitales nocturnas para identificar conurbaciones, de manera que, cuando estas se extienden a más de un municipio se agrupan y redefinen en una nueva unidad espacial. Posteriormente se establece un índice de disimilitud a partir de los flujos de conmutación laboral identificados entre las áreas resultantes del primer paso. Finalmente, se aplica un procedimiento de agrupación estándar para delimitar los territorios funcionales definitivos.

[1] Para efectos del Sistema de Ciudades, se consideran como ciudades los núcleos urbanos cuya población supera los 100,000 habitantes. Esto incluye tanto aglomeraciones urbanas (conformadas por más de un municipio cuya población urbana conjunta supera este umbral) como ciudades uninodales (donde el crecimiento y desarrollo se concentra dentro del límite político-administrativo de un solo municipio). Ver DNP (2014).

La **Tabla 2** describe el número de territorios funcionales identificados con esta metodología en Bogotá y Cundinamarca, y el número de municipios que los conforman. Se observa que existe una relación funcional (entendida desde un enfoque de conurbación y/o conmutación laboral) entre Bogotá y 22 municipios de Cundinamarca articulados a Bogotá (ver el listado de municipios que lo conforman en la **Tabla 4**).

También se identificó un territorio funcional conformado por Girardot (como nodo) y cinco municipios articulados a dicha ciudad, dos de ellos del departamento de Tolima (Flandes y Suárez) -ver **Tabla 3** para el listado completo de estos municipios-. Otro territorio funcional de menor tamaño es el de Ubaté con otros tres municipios, y uno de tres municipios en torno a Melgar (Tolima) al cual pertenece un municipio de Cundinamarca (Nilo). Aparte de los anteriores, se identificaron 10 pares de municipios relacionados funcionalmente (en el sentido de conurbaciones y/o conmutación laboral) -ver lista de municipios en la **Tabla 3**.

Los restantes 69 municipios de Cundinamarca no tienen ninguna relación funcional (entendida desde un enfoque de conurbación y/o conmutación laboral) con ningún otro municipio.

Tabla 2 - Territorios funcionales: Bogotá Cundinamarca

Territorios Funcionales		No. de municipios	
No.	Tamaño	Bogotá y Cundinamarca	Otros departamentos
1	23	23	0
1	6	4	2 (Tolima)
1	4	4	0
1	3	1	2 (Tolima)
10	2	16	3 (Tolima y Caldas)
69	1	69	0
<i>Total</i>		117	7

Fuente: Adaptado de (RIMISP, 2017)

Tabla 3 - Territorios funcionales Cundinamarca (seis a dos municipios)

Territorio Funcional 6 municipios	Territorio Funcional 4 municipios	Territorio Funcional 3 municipios	Territorio Funcional 2 municipios
Girardot	Ubaté	Melgar (Tolima)	Fusagasugá, Tibacuy
Ricaurte	Tausa	Carmen de Apicalá (Tolima)	Albán, Sasaima
Agua de Dios	Sutatausa	Nilo	El Colegio, Tena
Nariño	Cucunubá		Guataqui, Piedras
Flandes (Tolima)			Granada, Sylvania
Suárez (Tolima)			Anapoima, Apulo
			Puerto Salgar, La Dorada (Caldas)
			Sesquilé, Suesca
			Simijaca, Caldas (Boyacá)
			Guaduas, Honda (Tolima)

Fuente: Adaptado de (RIMISP, 2017)

Para el caso de la metodología empleada por el BID en la identificación de interdependencias municipales en la Sabana de Bogotá (2018) se puede destacar que el indicador propuesto consistió en la identificación de cuatro Variables relacionadas con las interdependencias, a cada una de las cuales se les asignó una variable para facilitar su medición. Dentro de ellas se destacan las siguientes: movilidad (magnitud de flujos de personas), económica (magnitud de flujos de bienes y servicios), servicios públicos y sociales (magnitud de flujos de personas para acceder a servicios) y ecosistemas compartidos (magnitud de flujos de servicios ambientales y ecosistémicos). Finalmente, el indicador se definió con base en la agregación sobre las cuatro Variables de interdependencia identificadas, este índice toma valores entre cero y uno, donde los mayores valores indican mayores interdependencias.

La **Tabla 4** compara la identificación de la aglomeración urbana de Bogotá a partir de las tres metodologías anteriores: el Sistema de Ciudades; la identificación de territorios funcionales; y la medición de interdependencias municipales del estudio del BID. Se observa la coincidencia de las tres metodologías en la identificación de 20 municipios que conforman la aglomeración (incluyendo a Bogotá), encontrando que el Sistema de Ciudades incluye además a Guatavita y Sesquilé como parte de la aglomeración, municipios que no son incluidos en las otras dos metodologías. La

aproximación de territorios funcionales en cambio incluye a Chipaque, El Rosal y Subachoque como parte de la aglomeración de Bogotá, municipios que no se clasifican como tales en las otras metodologías.

Tabla 4 - Comparación de los ámbitos geográficos por metodología de análisis

Municipio	Sistema de Ciudades	Territorios Funcionales	BID Interdependencias
Bogotá D.C.	✓	✓	✓
Bojacá	✓	✓	✓
Cajicá	✓	✓	✓
Chía	✓	✓	✓
Cogua	✓	✓	✓
Cota	✓	✓	✓
Facatativá	✓	✓	✓
Funza	✓	✓	✓
Gachancipá	✓	✓	✓
La Calera	✓	✓	✓
Madrid	✓	✓	✓
Mosquera	✓	✓	✓
Sibaté	✓	✓	✓
Soacha	✓	✓	✓
Sopó	✓	✓	✓
Tabio	✓	✓	✓
Tenjo	✓	✓	✓
Tocancipá	✓	✓	✓
Zipaquirá	✓	✓	✓
Guatavita	✓		
Sesquilé	✓		
Chipaque		✓	

Municipio	Sistema de Ciudades	Territorios Funcionales	BID Interdependencias
El Rosal		✓	
Subachoque		✓	

Fuente: Elaboración propia

En ese mismo sentido, y tomando como base la construcción de variables del trabajo del BID, la metodología empleada para la identificación de interdependencias en Atlántico, empleada por Fundesarrollo (2019) avanzó en la formalización de un Índice Multidimensional de Interdependencias Municipales (IMIM) en el marco de la metodología de construcción y agregación de Alkire y Foster (2011) (el mismo utilizado para la construcción del Índice de Pobreza Multidimensional -IPM).

El estudio de Fundesarrollo (2019) adapta la lógica de construcción del IPM para capturar la intensidad y diversidad de las relaciones intermunicipales en el departamento del Atlántico. La interdependencia se entiende como el resultado de múltiples vínculos funcionales en diversas áreas como movilidad, economía, servicios públicos y sociales, y ambiente. Cada una de estas áreas se considera una variable, y la metodología se construye en dos niveles para analizar estas relaciones: el primer nivel identifica las interdependencias por variable, estableciendo puntos de corte estadísticos, definidos como la media de los indicadores relativos, para determinar las relaciones significativas (aquellas que superan los puntos de corte) que existen entre los municipios del Atlántico; En el segundo nivel, se construye el indicador agregado utilizando matrices binarias de cada Variable, contabilizando el número de áreas en las que los pares de municipios tienen una relación significativa.

Esta adaptación del método de Alkire & Foster (2011) no solo detecta relaciones relevantes en cada variable, sino que también ofrece una visión integral y diferenciada de las interdependencias, lo cual resulta crucial para la planificación metropolitana y regional, ya que facilita la priorización de nodos y corredores estratégicos. Esta aproximación metodológica es la que se utiliza en la construcción del Índice de Interdependencia de la Región Metropolitana Bogotá–Cundinamarca (IIRMBC), como se explica en detalle en el capítulo 3 de este informe.

Finalmente, el modelo de subregionalización funcional realizado para el DNP por el Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP, 2019) para Colombia, avanzó en diferentes métodos de estimación y cálculo de interdependencias y parte de la base de dos Variables de la subregionalización: i) interdependencia: contiene contigüidad funcional y relaciones funcionales definidas por flujos; y ii) influencia: tiempos de viaje entre los municipios, afectados por la jerarquía de nodos dinamizadores^[2]. De esta forma, se definió una variable para cada tipo de

[2] Los “nodos dinamizadores” en un territorio hacen referencia a un modelo gravitacional, donde la intensidad de los flujos, y por ende la influencia, depende del tamaño del núcleo (importancia de las economías de aglomeración), y de la distancia o tiempo de viaje efectivo a dicho núcleo. En términos generales, una ciudad de mayor tamaño genera una mayor densidad de flujos e intercambios que una ciudad pequeña, y éstos son más fuertes en las áreas más cercanas que en las áreas más alejadas (RIMISP, 2019).

interdependencia. Una vez definido el conjunto de variables se construyó el componente de interdependencias incorporando: i) contigüidad ambiental, ii) contigüidad poblacional, iii) contigüidad económica, iv) conmutación laboral, y, v) conmutación social y de servicios. De esta manera, la interdependencia se calculó con la suma de las disimilaridades entre todos los pares de áreas que están en una misma subregión.

Adicionalmente, conviene mencionar que en portales como el Observatorio de Dinámicas Urbano Regionales de Bogotá D.C. –(ODUR) y el Observatorio del Sistema de Ciudades del DNP se encuentran informes y documentación con ejemplos y casos de estudio pertinentes para ahondar en esta temática. Como es el caso del estudio titulado “Hechos Metropolitanos: Insumos para la Construcción de un Ámbito Territorial Indicativo” (2021), la investigación “Territorios Funcionales e Integradores del Departamento del Atlántico” (2024) o el Diagnóstico sectorial del entorno regional de Bogotá (2024).

Como referencia final, se tienen los hechos metropolitanos adoptados por la RMBC, que contienen información relevante sobre las caracterización de los fenómenos temáticos en los municipios, con la salvedad que no están necesariamente construidos sobre la base de información de flujo origen – destino. A la fecha se encuentran adoptados los siguientes hechos metropolitanos:

- Hecho metropolitano de la temática de movilidad: Acuerdo Regional 008 de 2023
- Hecho metropolitano del área temática de Seguridad Alimentaria y Comercialización: Acuerdo Regional 009 de 2022
- Hecho Metropolitano Gestión para la Seguridad Integral en la Región Metropolitana Bogotá Cundinamarca: Acuerdo Regional 004 de 2024
- Hecho Metropolitano de Ecosistemas Vitales: Acuerdo Regional 004 de 2025
- Hecho Metropolitano Gestión Corresponsable del Agua: Acuerdo Regional 005 de 2025

En síntesis, las metodologías y ejercicios presentados brindan enfoques diversos en la medición de relaciones funcionales e interdependencias municipales, cada uno de ellos se adapta a contextos específicos y cuentan con diferentes técnicas y herramientas, las cuales derivan en una visión y comprensión integral de las dinámicas de interdependencia que son insumo para la propuesta que se presenta en este documento.

1.2. Definición de relaciones funcionales e interdependencias

Para los propósitos de este estudio, las relaciones funcionales se entienden como los vínculos observables, y en este caso medibles, entre dos territorios (una pareja de municipios) que se expresan en forma de flujos e intercambios los cuales revelan dinámicas de conexión más allá de los límites administrativos de sus municipios (Fundesarrollo, 2019). Estas relaciones pueden manifestarse en múltiples variables — mercado laboral, provisión de servicios sociales, gestión ambiental, por ejemplo— y se traducen en una interacción concreta entre los municipios del ámbito de estudio. Si bien se entiende que existen relaciones funcionales que escapan a la lógica de cálculo y medición, este estudio las delimita a aquellas que puedan ser estimadas a través de los flujos que ellas generan.

Esta mirada reconoce que los territorios no se articulan únicamente a partir de relaciones unidimensionales, sino que existen por el contrario vínculos multiescalares y multitemáticos que se expresan de manera diferenciada en los territorios, y que al ser reconocidos y estimados pueden potenciarse desde esquemas de ordenamiento territorial, gobernanza colaborativa e inversiones y estrategias de desarrollo compartido que reconozcan las dinámicas locales como punto de partida para construir visiones comunes de futuro regional.

Para este estudio se seleccionaron siete temáticas sobre las cuales se realizó la identificación y medición de las relaciones funcionales, a partir de las cuales se seleccionaron las fuentes de datos que lograrán explicar de la mejor manera posible, dadas las limitaciones de información existentes, los fenómenos territoriales. Esto se explica con detalle en los siguientes capítulos del documento.

En este contexto, una relación funcional se convierte en una interdependencia cuando alcanza una intensidad, frecuencia o acumulación significativa en la medición de un flujo de interacción (estimado a partir de una o más variables), que permiten inferir una conexión estructural y sostenida entre territorios. Es decir, la interdependencia no es un vínculo aislado ni unidireccional, sino por el contrario da cuenta de la existencia de elementos compartidos en la gestión del desarrollo de los territorios, que no recaen únicamente en las decisiones que de manera aislada pueda tomar una u otra parte.

En este estudio, dicha transición se operacionaliza a partir de la definición de puntos de corte por cada una de las variables, así como uno acumulado para la agregación de las interdependencias, tal como se ejemplifica en el ejercicio para la delimitación de ámbitos de interdependencia metropolitano y regional. Esto se puede ver en detalle en el capítulo del **Índice de Interdependencias RMBC: Metodología de agregación** de este documento.

1.3. Temáticas y ámbito geográfico de la medición

La Ley Orgánica 2199 del 8 de febrero de 2022, que reglamenta el funcionamiento de la RMBC y establece las bases para la gestión coordinada de los fenómenos sociales, económicos y ambientales que afectan a la región, definió en su artículo noveno, siete temáticas^[2] para su ámbito de jurisdicción sobre los cuales asignó algunas competencias, definió los parámetros para la identificación de hechos metropolitanos y el procedimiento para la declaratoria de los mismos.

Estas temáticas fueron tomadas como base para la medición de las relaciones funcionales e interdependencias de la Región Metropolitana Bogotá–Cundinamarca. Para los efectos de la medición, la temática de ordenamiento territorial y hábitat se separó en dos componentes, uno que se denomina Equipamientos sociales del hábitat sobre el cual se miden flujos y relaciones funcionales, y el Ordenamiento territorial que se interpreta como instrumento para gestionar las relaciones funcionales y las interdependencias, tal como lo muestra la **Ilustración 1**.

Ilustración 1 – Temáticas para las interdependencias en la Región Metropolitana



Fuente: Elaboración propia

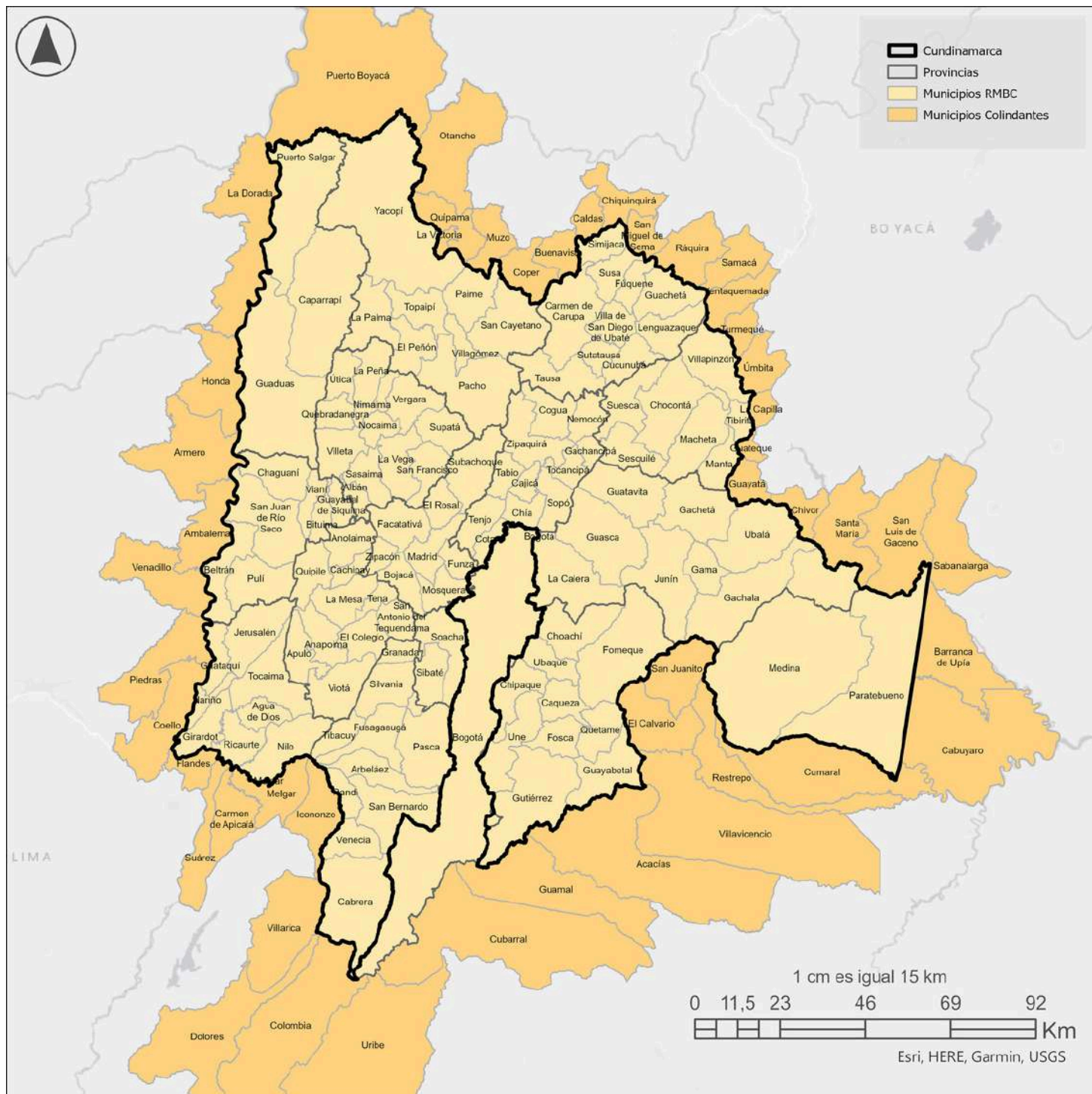
[2] Movilidad; seguridad ciudadana, convivencia y justicia; seguridad alimentaria y comercialización; servicios públicos; desarrollo económico; medio ambiente y ordenamiento territorial

Estas siete (7) temáticas se enmarcan, tal como se muestra en la ilustración, en las decisiones de ordenamiento territorial, inversión y gobernanza que definen escenarios de política territorial de largo plazo para el ámbito de la región, y que pueden en ese sentido facilitar, u obstaculizar, la adecuada gestión de las interdependencias existentes. Por ejemplo, desde el Plan Estratégico y de Ordenamiento de la Región Metropolitana, al ser un “instrumento de planeación de mediano y largo plazo que permite definir el modelo territorial regional, criterios y objetivos e implementar un sistema de coordinación, direccionamiento y programación del desarrollo regional sostenible” (Artículo 14, Ley 2199 de 2022), se pueden tomar decisiones para gestionar corredores funcionales de mayor intensidad, priorizar la infraestructura de transporte regional, y establecer estrategias coordinadas de desarrollo de equipamientos, entre otros, que estén basados en el reconocimiento de interdependencias regionales y metropolitanas.

De manera paralela al análisis de información para las siete temáticas definidas, se estableció el ámbito territorial para el estudio de relaciones funcionales e interdependencias de la Región Metropolitana Bogotá-Cundinamarca (RMBC). Si bien el objetivo fundamental es identificar las relaciones entre los 116 municipios de Cundinamarca y Bogotá, dado que el esfuerzo de recolección y organización de información adicional no era significativo, solo para efectos de la medición se amplía el ámbito de estudio. Este ámbito comprende, además de la matriz completa de los 116 municipios de Cundinamarca y Bogotá, un total de 48 municipios adicionales que tienen colindancia y relación de borde con el departamento, con el propósito de identificar y estimar posibles relaciones funcionales externas que inciden en el equilibrio regional (**Anexo 1.1 - Listado de municipios**). El **Mapa 1** permite ver en detalle el ámbito geográfico utilizado para el análisis.

En términos de la participación departamental de los municipios incluidos, después de los 116 de Cundinamarca, la mayor participación la tiene Boyacá con 21 municipios, seguido por Tolima con 13, y Meta en tercer lugar con 11, tal como lo muestra la Tabla 5.

Mapa 1 – Municipios que componen el estudio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 - Municipios incluidos en el estudio por departamento

Departamento	Cantidad municipios
Cundinamarca	116
Boyacá	21
Tolima	13
Meta	11
Caldas	1
Casanare	1
Huila	1
Bogotá D.C.	1
Total	165

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, junto con la definición del ámbito espacial del estudio se realizó una selección específica de variables y fuentes de información, orientada a la construcción de indicadores de flujos origen-destino a escala municipal. Estos indicadores abarcan la totalidad de los 165 municipios seleccionados y permiten explicar las relaciones funcionales e interdependencias regionales en las siete temáticas establecidas. Sin embargo, el análisis y definición del ámbito de actuación de la RMBC se concentrará en las relaciones entre Bogotá y los municipios de Cundinamarca. Sin embargo, la medición de las relaciones funcionales e interdependencias identificadas en este estudio pueden ser de utilidad para diversos propósitos de parte de la RMBC o de sus asociados.

La **Tabla 6** presenta un resumen de las variables consideradas en el estudio, junto con sus respectivas fuentes de información. Cabe destacar que la selección de estas variables y fuentes estuvo orientada específicamente a posibilitar la construcción de indicadores de flujo origen-destino que reflejaran relaciones funcionales. Lo anterior, teniendo en cuenta que el estudio se centra en los vínculos entre pares y grupos de municipios, razón por la cual indicadores de tipo stock —que describen cantidades internas a cada municipio y no relaciones intermunicipales— no resultan pertinentes, salvo que puedan adaptarse adecuadamente para este propósito.

Tabla 6 - Municipios incluidos en el estudio por departamento

Temática	Variable	Fuentes
Movilidad	Conmutación laboral	Encuesta de movilidad 2023 Bogotá – Región (2023)
		Matriz de conmutación laboral censo 2005 (2005)
	Tiempos de viaje	Matriz de tiempos de viaje Google Maps (2025)
	Migración	Migración último 12 meses del CNPV 2018 (2018)
		Población total por municipio CNPV 2018 (2018)
Equipamientos sociales y del hábitat	Salud	Registro de nacimientos por municipio - Estadísticas vitales DANE (2024)
	Educación	Tasa de tránsito de educación superior del DNP (2018)
		Registro de bachilleres graduados por municipio del MEN (2018)
Seguridad alimentaria	Transporte de alimentos	Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario -SIPSA (2023)
		Registro nacional de carga por carretera (2024)
	Transporte de carnes	Registro ICA de transporte de animales (2020)
		Censo nacional de bovinos, porcinos, bufalinos, caprinos, ovinos - año 2024 ICA (2020)

Temática	Variable	Fuentes
Desarrollo económico	Transporte de mercancías de manufacturas	Registro nacional de carga por carretera (2024)
		Valor agregado municipal manufacturas (2024)
	Turismo	Registro Único Empresarial -RUES (2024)
		Proyecciones y retroproyecciones de población por municipio (2020 – 2035)
	Internacionalización	Registro de empresas exportadoras DIAN (2024)
		Registro Único Empresarial -RUES enero (2025)
Servicios públicos domiciliarios	Distribución de agua por servicio público de acueducto	Reporte SUI de consumo de agua por municipio
		Reporte SUI listado de prestadores de servicio de acueducto por municipio
		Municipios con contrato de venta de agua en bloque – EAAB
		Registro administrativo de concesiones de agua de la Empresa De Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB (2024)
	Disposición final de residuos	Reporte SUI de sitios de disposición final
		Reporte SUI de generación de residuos por municipio

Temática	Variable	Fuentes
Ambiental	Hidrología	Imagen Satelital USGS con 30m de definición para Cundinamarca
		Datos sobre la cantidad de lluvia registrada cada 10 minutos en diferentes estaciones meteorológicas ubicadas sobre el territorio colombiano. Los cuales han sido verificados mediante un control de calidad básico, de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
	Registro Único Nacional de Áreas Protegidas - Páramo	
	Contigüidad ambiental de áreas protegidas	Shape del Registro único nacional de áreas protegidas - RUNAP (2025)
Seguridad ciudadana	Modelo gravitacional de hurto	Base de datos de denuncias de hurtos de la Fiscalía General de la Nación (2021 - 2023)
		Registro de homicidio intencional por municipio Policía Nacional (2022 - 2024)
	Modelo gravitacional homicidio	Matriz de tiempos de viaje Google Maps (2025)

Fuente: Elaboración propia

Además de las 26 fuentes de información consideradas para la estimación de los flujos y relaciones funcionales en los municipios tomados para el estudio, se realizó una revisión de más de 15 fuentes adicionales para las variables de conmutación laboral, transporte de alimentos, transmisión de energía, turismo y contigüidad ambiental de cuencas, que no pudieron ser incorporadas en el análisis a raíz de la dificultad para ser adaptadas en términos de indicadores de origen-destino, o porque no lograban explicar las dinámicas territoriales buscadas.^[4]

Estas se listan en la **Tabla 7**.

[4] Con el fin de detallar la revisión de las fuentes que no pudieron ser usadas en el análisis final, se elaboró un anexo (**Anexo 1.2 - Fuentes Desestimadas**) a este documento que contiene la identificación de cada una, el tratamiento realizado y la razón por la cual se descarta como variable para el estudio. Consultar además el **Anexo 1.4 - Fuentes Finales**.

Tabla 7 - Fuentes de información que no cumplen criterios de usabilidad por variable

Temática	Variable	Fuentes
Movilidad	Conmutación laboral	Intensidad lumínica núcleos funcionales Sensor VIIRS - 2014 y 2025
Equipamientos sociales y del hábitat	Educación	Registro pruebas ICFES
	Migración	Encuesta Multipropósito 2021
Seguridad alimentaria	Transporte de alimentos	Valor agregado municipal sector primario
		Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA
	Transporte de cárnicos	FENAVI
Desarrollo económico	Turismo	Registro de rutas y pasajeros de las terminales de transporte - 2024
		Encuesta FONTUR 2024
		Estadísticas territoriales del MINCIT
		DANE - Encuesta de Gasto Interno en Turismo (EGIT)
		IDECUT - Inventario de atractivos turísticos de 65 municipios de Cundinamarca.
		ACOLAP- Asociación Colombiana de Atracciones y Parques de Diversiones
		AirDNA
Servicios públicos domiciliarios	Transmisión de energía eléctrica	Base de datos de capacidad efectiva por tipo de generador
		Base de datos de líneas de transmisión de energía a las subestaciones
		Base de datos de las subestaciones con el voltaje nominal que recibe.
		Diagrama unifilar eléctrico del sistema de transmisión para la Subárea Bogotá
Ambiental	Contigüidad ambiental de cuencas	Shape cuencas nacionales IGAC

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, esta definición de fuentes por cada temática y variable permitieron acotar 3 caminos metodológicos generales para la estimación de flujos e interdependencias entre los municipios contemplados. El primero de estos corresponde al cálculo de indicadores de flujo a partir de registros que permitan identificar el origen-destino de la relación; el segundo son los flujos estimados a partir de la construcción de un modelo gravitacional que contempla la fuerza de atracción que puede tener una pareja de municipio según la variable analizada; por último, la estimación por modelo de contigüidad usada, por ejemplo, en la temática ambiental. Para la medición de las relaciones hidrográficas, por su complejidad, se utilizó una metodología adicional, tal como se detallará en el siguiente capítulo.

Estimación a partir de información origen – destino

Este camino metodológico se utilizó en aquellas dimensiones donde se contaba con información directa de origen y destino, lo que permitió estimar flujos entre municipios. Aplica a las temáticas de movilidad, seguridad alimentaria, servicios públicos domiciliarios, desarrollo económico (excluyendo turismo) y equipamientos sociales del hábitat. En estos casos, los registros administrativos, encuestas o bases especializadas permitieron construir matrices de flujos y calcular indicadores tanto absolutos como relativos. Vale la pena mencionar que para las dimensiones de conmutación laboral, transporte de alimentos, acueducto, internacionalización y transporte de manufacturas, se combinaron registros y bases de datos para la estimación del flujo.

Estimación por modelo de gravitacional

Este modelo se empleó en dimensiones donde no existían datos directos de flujos, pero era posible estimar interacciones funcionales a partir de variables que capturan la “atracción” entre municipios. El modelo gravitacional (Berdegué et al. 2019) parte del supuesto de que la interacción entre dos territorios es directamente proporcional al tamaño de sus masas (por ejemplo, población, número de homicidios o empresas) e inversamente proporcional a la distancia que los separa. Esta aproximación fue clave para estimar relaciones en temáticas como seguridad ciudadana y desarrollo económico en la variable de turismo.

Estimación por modelo de contigüidad

Este modelo fue empleado para identificar relaciones funcionales ambientales a partir de condición de vecindad o contigüidad entre los elementos observados, como un Parque Nacional Natura, por ejemplo. El modelo parte de la premisa de que los territorios vecinos tienden a compartir dinámicas ecosistémicas o ambientales, por lo que se construyó una matriz de contigüidad espacial que permite estimar el grado de dependencia funcional entre áreas protegidas. Esta metodología fue aplicada a la temática ambiental, con base en los lineamientos metodológicos del Departamento Nacional de Planeación y RIMISP (2019), quienes proponen la contigüidad como criterio clave para la definición de subregiones funcionales.

1.4. Método general utilizado

En términos metodológicos, el cálculo de las relaciones funcionales e interdependencias de la RMBC se estructuró en cinco etapas sucesivas, aplicadas de manera transversal a las siete temáticas analizadas, lo cual permitió construir indicadores origen–destino a nivel municipal, basados en relaciones funcionales cuantificables y comparables entre municipios. El primer paso consistió en la exploración y selección de fuentes de información, identificando para cada temática y variable aquellas fuentes con capacidad de representar relaciones entre municipios en términos de volumen, priorizando registros que permitieran construir flujos efectivos entre pares de territorios. Esta fase fue clave para asegurar que las variables consideradas respondieran al objetivo del estudio: caracterizar interdependencias territoriales y no únicamente fenómenos internos de cada municipio.

Posteriormente, se llevó a cabo el tratamiento de datos y la verificación de la idoneidad de las fuentes seleccionadas. En esta etapa se revisó la calidad, la desagregación geográfica y temporal, así como la completitud de cada base de datos. Se realizaron procesos de limpieza y transformación de los datos, garantizando que estos fueran coherentes y comparables, y que respondieran a los requisitos del análisis de relaciones funcionales intermunicipales.

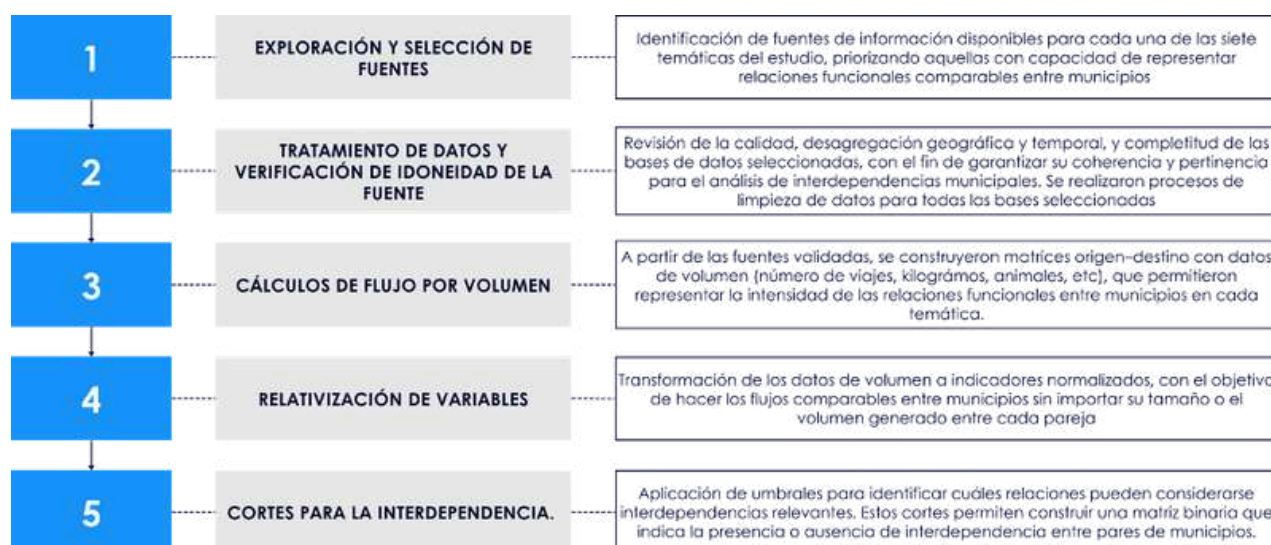
Una vez validadas las fuentes, se procedió con los cálculos de flujos por volumen, obteniendo para cada variable matrices de 165 filas por 165 columnas con origen–destino a escala municipal, a partir de conteos o unidades físicas como número de viajes, toneladas, animales u homicidios reportados, por ejemplo. Estas matrices reflejan la intensidad del vínculo funcional entre territorios, permitiendo cuantificar los movimientos o relaciones en cada temática.

Con el objetivo de hacer estos flujos comparables entre municipios de distinto tamaño, se desarrolló un paso posterior de relativización de las variables. Esto implicó transformar los datos absolutos en indicadores normalizados que se presentan en números entre 0 y 1, tomando como referencia diferentes parámetros que se explican con detalle en cada variable. De este modo, fue posible identificar relaciones relevantes que no dependen únicamente del volumen absoluto del flujo, sino de su peso relativo dentro de la dinámica territorial de cada municipio.

Finalmente, se definieron umbrales de cortes para determinar cuándo una relación funcional es lo suficientemente significativa para considerarse una interdependencia. Estos umbrales permitieron binarizar los indicadores, estableciendo un punto a partir del cual se interpreta que una relación funcional se convierte en interdependencia relevante entre dos municipios. El resultado fue una matriz de interdependencias que identifica la presencia o ausencia de vínculos significativos entre pares de territorios, constituyendo la base para el análisis metropolitano y regional agregado.

La **Ilustración 2** presenta el resumen de la metodología seguida para el cálculo de las relaciones funcionales e interdependencias por temática en la RMBC.

Ilustración 2- Proceso metodológico para las interdependencias por temática



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados del análisis de relaciones funcionales organizados por temática, encontrando para cada una de las variables consideradas en el estudio una estructura homogénea que permite describir el enfoque metodológico aplicado, los productos derivados del análisis y algunos hallazgos relevantes.

Cada temática se organiza en cuatro componentes: en primer lugar, se describe la metodología aplicada para el cálculo, incluyendo el tratamiento específico desarrollado con las variables correspondientes, así como las decisiones tomadas para garantizar su pertinencia en el marco del enfoque de relaciones funcionales. En segundo lugar, se presentan los resultados de las matrices construidas, las cuales se entregan como anexo y están estandarizadas para todas las variables, incluyendo: i) una matriz de volumen (165 x 165), que refleja el número absoluto de casos u ocurrencias por par de municipios, ii) una matriz relativizada (165 x 165), calculada con el indicador de proporcionalidad más adecuado para cada temática, con el fin de hacer comparables los flujos entre municipios de distinto tamaño. Es importante mencionar que para todas las variables se incluye como anexo una matriz de interdependencia 165 x 165, la cual tiene valores de 1 y 0, identificando así las parejas de municipios que superan el punto de corte establecido por variable, el cual se explica en el **Capítulo 3 - Índice de Interdependencias RMBC: Metodología de agregación y resultados** de este documento.

En tercer lugar, se presentan los mapas temáticos que visualizan los flujos entre los municipios y las interdependencias identificadas, lo cual permite interpretar espacialmente los resultados del análisis, los cuales muestran en algunos casos el flujo en volumen y también en el indicador relativo, visualizando como regla máximo 30 relaciones para garantizar la lectura de las imágenes. Finalmente, en algunas variables se incluyen algunos ejemplos específicos que ilustran casos representativos de las interdependencias, seleccionados para destacar dinámicas territoriales particulares relevantes para la planificación regional.

2. Medición de las relaciones funcionales e interdependencias

En este capítulo se presenta la metodología para la medición de las 7 temáticas y 16 variables mencionadas. Se expone el método empleado para calcular los flujos entre los municipios del Departamento y Bogotá, se presentan los resultados de la estimación de los flujos de relaciones funcionales, así como la cartografía que muestra el top 30 de las relaciones encontradas, decisión que obedece a criterios de visualización de la planimetría únicamente.

2.1. Temática: Movilidad

La infraestructura de transporte es la vía a través de la cual se movilizan buena parte de los flujos en el territorio, tanto de personas, como de bienes, por lo tanto, acotar las relaciones de movilidad tiene algún nivel de complejidad o de diferencias de criterios en su organización. Dada las 7 temáticas de la RMBC (entre las cuales se encuentran los equipamientos sociales que implican flujos de personas para servicios sociales, o los flujos de mercancías), la propuesta de variables de la dinámica de movilidad se concentra en las relaciones más diarias y cotidianas, como es la conmutación laboral, o las más estructurales como las dinámicas más permanentes de migración, y que no se encuentran recogidas en las otras temáticas seleccionadas.

Por lo tanto, para la temática de movilidad se realizó la estimación de las relaciones funcionales de las variables de conmutación laboral, tiempos de viaje (como una variable reflejo de la estructura de transporte y movilidad y una determinante clave para las interdependencias) y la migración, que buscan abarcar los diferentes fenómenos que ocasionan la movilidad regional, los viajes más cotidianos y aquellos que se dan en un plazo más largo.

2.1.1 Conmutación Laboral

La conmutación laboral es una variable que permite determinar el número de personas que viajan entre municipios por motivos laborales y refleja adecuadamente la intensidad de flujos de personas que se realiza entre los municipios. Esta base permite entender los flujos económicos producto de la confluencia de mercados laborales y relaciones funcionales y es la variable que más consenso internacional genera para la definición de relaciones funcionales. Sin embargo, para la totalidad de municipios de Colombia existen limitaciones de información por lo que la variable fue construida utilizando diferentes fuentes.

Para el análisis se tomó como base la Encuesta de Movilidad de 2023, escogiendo exclusivamente aquellas personas que realizan viajes intermunicipales por motivos laborales (conmutación laboral). Es decir, aquellos que van de un municipio a otro por trabajo (viven en un municipio y trabajan en otro). A partir de esto, se originó una matriz de origen - destino, en la cual se refleja el número de personas que viajan entre municipios por cuestiones de trabajo.

Como complemento, para un número significativo de municipios, que están por fuera del ámbito metropolitano y que si bien no reflejan un gran volumen de viajes, es importante considerar sus dinámicas, se tuvo en cuenta que para muchos de ellos la encuesta de movilidad no tiene representatividad estadística. Por lo tanto, se optó por

tomar la información de los microdatos del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) de 2005, realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). El censo pregunta por la conmutación laboral de las personas, estableciendo si trabajan en su municipio de residencia o en otro (identificándolo de ser el caso), posibilitando así la construcción de una matriz de conmutación laboral con el detalle del operativo censal. Vale la pena aclarar que el CNPV 2018 no contó con esta pregunta, por lo que no es posible usar los microdatos de dicha operación.

Para estos, y para intentar parcialmente actualizar los volúmenes de los flujos, se tomó el valor del Censo 2005 y se hizo una extrapolación del crecimiento poblacional entre 2005 y 2023. Una vez determinado el nivel de crecimiento o decrecimiento demográfico se aplicó la misma proporción al número de personas que hacen viajes de conmutación laboral para dimensionar el volumen de este flujo en 2023. Esta proyección parte del supuesto de que el crecimiento del número de personas que conmutan por motivos laborales guarda la misma proporción del crecimiento o decrecimiento demográfico de un municipio. La limitación más significativa es suponer que la estructura de viajes se mantiene.

Si bien este supuesto presenta algunas falencias, como la pérdida de algunas dinámicas del mercado laboral que cambian en los municipios y los cambios estructurales en las dinámicas económicas, que escapan del modelo, se decide que constituye la mejor aproximación metodológica, dado que no existe ninguna otra operación estadística de la envergadura del Censo 2005 con ese nivel de detalle para todos los municipios del departamento. Además, es importante resaltar que esta fuente complementaria tiene menor representatividad frente al número total de personas que viaja. La Encuesta de Movilidad de 2023, como fuente principal, reúne el 85% de todas las observaciones analizadas para construir la matriz. El Censo como fuente complementaria reúne el 15% restante en un intento por abordar territorios que no están representados por la Encuesta, pero que son relevantes para el entendimiento del mercado laboral y de conmutación de la Región.

Con estas dos fuentes se construyó la matriz de origen – destino por conmutación laboral, en la que se define cuántas personas van de un municipio a otro por motivos laborales (ver **Anexo 2.1.1A - Matriz de volumen de conmutación laboral**). Después, con el fin de normalizar la variable, se definió un indicador relativo de dependencia de conmutación laboral para cada par de municipios *i* y *j*, calculado de la siguiente forma^[5], el cual utiliza como fuente del denominador el cálculo de ocupados del CNPV 2018:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Suma de personas que viajan por conmutación laboral entre municipios } i \text{ y } j}{\min(\text{Población ocupada de los municipios } i \text{ y } j)}$$

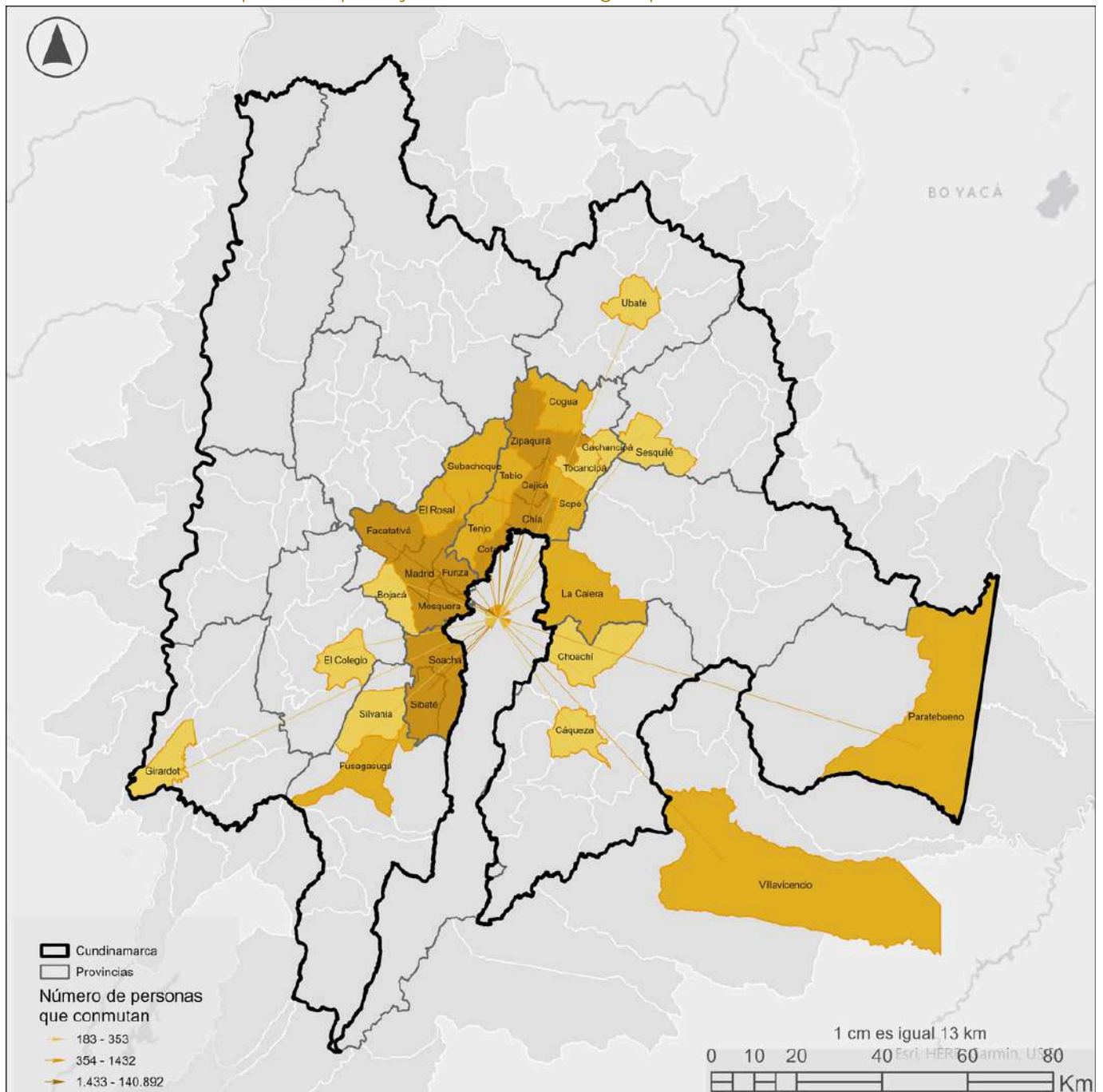
[5] El uso del mínimo, en lugar del promedio o el máximo, es un criterio óptimo porque:

- Evita sobreestimaciones: si se usa el promedio o el máximo, el indicador podría inflar artificialmente la intensidad de la relación, especialmente cuando uno de los dos municipios es mucho más grande que el otro.
- Garantiza simetría y comparabilidad: al tomar el menor de los dos tamaños el indicador siempre se interpreta como la proporción máxima posible de dependencia desde la perspectiva del municipio más pequeño. Esto permite que los indicadores sean comparables entre diferentes pares de municipios.

La matriz refleja para cada par de municipios la fuerza de su relación funcional por conmutación laboral (ver **Anexo 2.1.1B - Matriz simétrica de conmutación laboral**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. Los mapas concentran las 30 relaciones funcionales de conmutación laboral de mayor intensidad con destino a Bogotá, aclarando que esta selección para la visualización se realizó con el fin de mostrar de manera comprensible el top 30 de las relaciones en 3 categorías: alta, media y baja. El **Mapa 2.1** muestra los valores del volumen, mientras que el **Mapa 2.2** presenta los 30 mayores flujos del indicador normalizado.

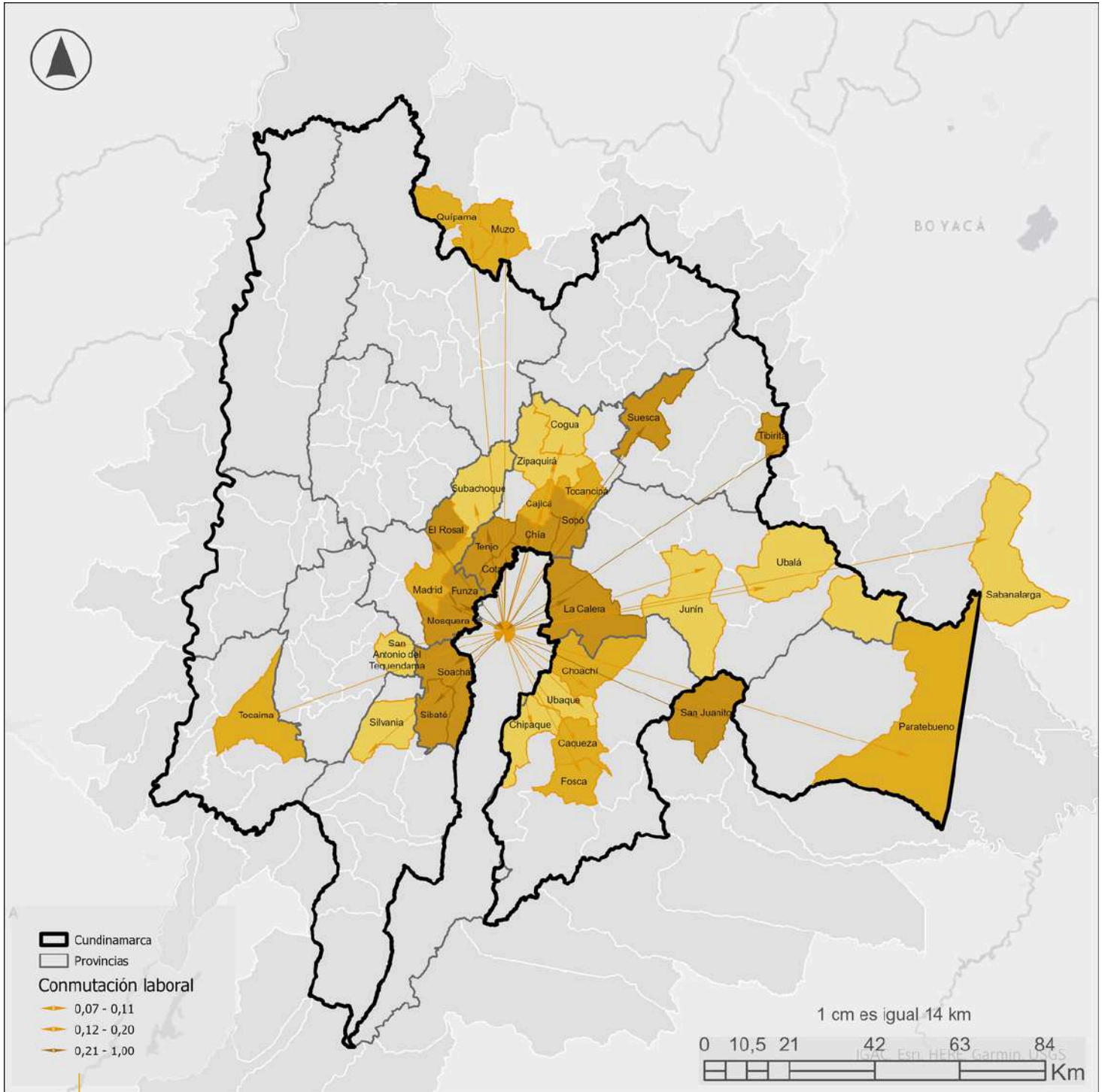
Mapa 2.1 – Relaciones funcionales conmutación laboral con Bogotá
 Número de personas que viajan diariamente a Bogotá para realizar sus actividades laborales



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Censo (DNP, 2005) y Encuesta de Movilidad (Secretaría Distrital de Movilidad, 2023)

► Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 2.2 – Relaciones funcionales conmutación laboral con Bogotá
Conmutación laboral hacia Bogotá



El indicador muestra qué tan interdependientes son dos municipios en términos de viajes diarios por trabajo según el tamaño de su mercado laboral. Un valor más alto significa que hay una relación laboral muy fuerte entre los dos municipios.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Censo (DNP, 2005) y Encuesta de Movilidad (Secretaría Distrital de Movilidad, 2023)

La variable de conmutación laboral revela la alta interdependencia funcional de los municipios analizados con Bogotá, tanto como lugar de destino como de origen de los desplazamientos por razones laborales, destacando a Soacha como el nodo metropolitano con mayor carga de movilidad bidireccional. Esta condición refuerza su papel estructurante en la Región Metropolitana, lo cual debe ser reconocido para efectos de planeación, ordenamiento y gestión de las interdependencias conforme a las competencias legales.

Al analizar el indicador normalizado, que considera la proporción del flujo frente a la población de ocupados de cada municipio, se destacan las relaciones Cota–Bogotá, Soacha–Bogotá y Bogotá–Mosquera. Por fuera de la capital, las conexiones más fuertes se dan entre municipios del occidente como Mosquera–Funza, Chía–Cajicá y Madrid–Funza, mientras que el indicador relativizado señala la relevancia de vínculos como Facatativá–Zipacón, Funza–Mosquera y Cogua–Zipaquirá. Estos hallazgos permiten evidenciar un sistema regional de movilidad laboral centrado en Bogotá, pero con nodos secundarios consolidados en el occidente y norte de Cundinamarca.

2.1.2 Migración

Para la estimación de los flujos intermunicipales de migración, se construyó un indicador relativo de movilidad residencial entre municipios, que permite capturar la intensidad de los intercambios poblacionales y las dependencias funcionales de los municipios en términos demográficos. Esta variable representa una medida clave para entender la dinámica espacial de los movimientos poblacionales y las relaciones de atracción o expulsión entre municipios de la Región Metropolitana Bogotá – Cundinamarca.

Para su estimación se tomaron en cuenta las siguientes fuentes de información^[6]:

- **Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018 – DANE:** Esta fuente permite identificar a las personas que, al momento del censo, residían en un municipio diferente al que habitaban 12 meses antes. El censo captura esta información mediante la pregunta directa sobre lugar de residencia habitual hace un año, lo cual permite construir una matriz de origen-destino de migrantes recientes a nivel municipal.
- **Proyecciones de población municipal – DANE 2018:** Se utilizó la estimación oficial de población municipal al año del censo como referencia para estandarizar los flujos migratorios en términos proporcionales. Esta fuente permite corregir posibles sesgos derivados de las diferencias de tamaño poblacional entre municipios.

A partir de las dos fuentes anteriores, se elaboró una matriz de volumen absoluto que presenta el número de personas que migran entre los 165 municipios de interés, sin realizar acciones de estandarización (ver **Anexo 2.1.2A - Matriz de volumen de migración**).

[6] Los datos poblacionales utilizados en este análisis provienen del Censo Nacional de Población y Vivienda 2018, entregados por la autoridad estadística del país (DANE) a través de su sitio web de consulta pública. Este censo permitió obtener información detallada sobre las características sociodemográficas de las personas que habitan los municipios del estudio.

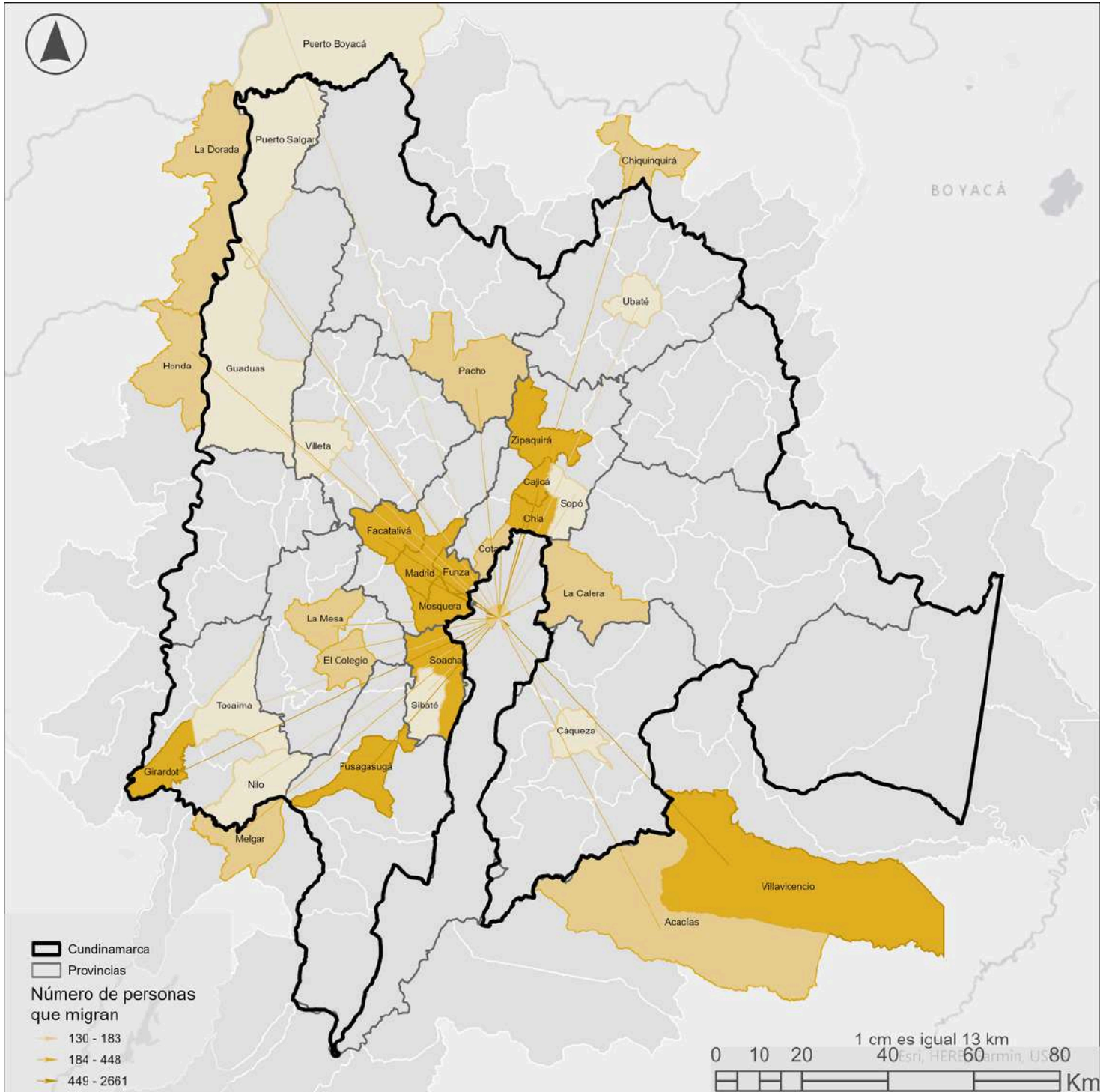
Posteriormente, se definió un indicador de interdependencia migratoria entre municipios i y j , calculado de la siguiente forma:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Número de personas que residen en } i \text{ y vivían hace 12 meses en } j}{\min(\text{Población total de } i, \text{ Población total en } j)}$$

El denominador común permite la construcción de una matriz simétrica de flujos migratorios relativos, que facilita la comparación estandarizada de flujos intermunicipales, independientemente del tamaño poblacional de los municipios involucrados. A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos (ver **Anexo 2.1.2B - Matriz simétrica de migración**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. El **Mapa 3.1** y el **Mapa 3.2** concentran las 30 relaciones funcionales de migraciones de mayor intensidad con destino a Bogotá, aclarando que esta selección para la visualización se realizó con el fin de mostrar de manera comprensible el top 30 de las relaciones en 3 categorías: alta, media y baja para los dos indicadores.

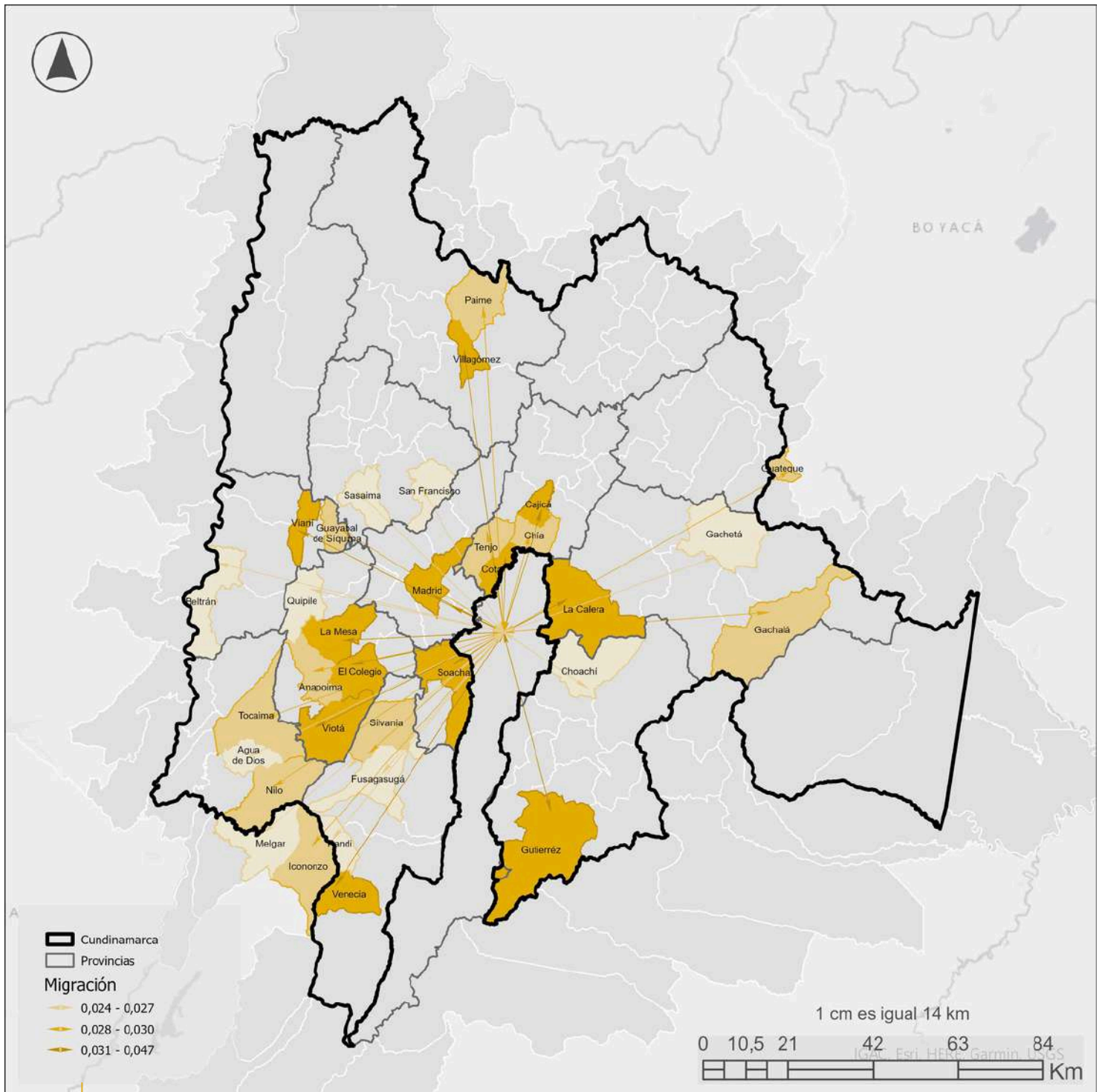
Mapa 3.1- Relaciones funcionales de migración con Bogotá
 Número de personas que migran hacia Bogotá



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2018).

► Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 3.2 – Relaciones funcionales de migración con Bogotá
Migración



El indicador muestra qué tan interdependiente es un municipio de otro en términos de migración de su población. Un valor más alto significa que existe una relación más fuerte entre una pareja de municipios.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2018).

Como puntos relevantes, se resalta que, del total de municipios analizados, 164 presentan flujos hacia Bogotá, lo que representa el 100% de las interacciones, confirmando el papel central de la capital como nodo articulador de los intercambios regionales. Desde una perspectiva de volumen absoluto, los mayores flujos de origen hacia la ciudad provienen de Villavicencio, Soacha y Fusagasugá. A su vez, los destinos más frecuentes desde Bogotá corresponden a Soacha, Madrid y Mosquera, lo cual evidencia una fuerte integración metropolitana caracterizada por intercambios de alta intensidad en ambos sentidos.

Por su parte, el indicador simétrico —que pondera tanto el volumen como la relevancia relativa del flujo para cada municipio involucrado— resalta las relaciones más significativas entre Cota y Bogotá, La Calera y Bogotá, así como entre Madrid y Bogotá, dando cuenta de vínculos funcionales particularmente estrechos con municipios de proximidad inmediata.

2.1.3 Tiempos de viaje

La variable de tiempos de viaje se incluye como forma de aproximación complementaria a la conmutación laboral, entendiendo que los tiempos de viaje condensan o sintetizan las condiciones no solo geográficas, sino de la infraestructura de transporte entre los municipios que conforman la RMBC. Además, podría permitir hacer proyecciones de modificación con relación a nuevas inversiones, el supuesto es que, a menores tiempos de viaje, mayor será la intensidad de las relaciones funcionales, en el marco de lo que han realizado otras investigaciones anteriores (DNP-Rimisp 2019), a partir de las dinámicas gravitacionales. Dicha aproximación permite establecer medición de los trayectos de origen-destino en minutos a través de la red de carreteras de diferente jerarquía, logrando así establecer controles si se quiere a partir de los puntos de corte.

La información que se toma de base para construir el flujo de relación funcional con Bogotá en términos de la distancia proviene de la API de Google Maps, que es reconocida por su robustez y la actualización constante de su información geoespacial, cubriendo casi la totalidad de la red vial de la región.

Se seleccionó esta fuente por varias ventajas metodológicas clave:

- ▶ **Cálculo dinámico de rutas:** A diferencia de una medición de distancia euclidiana (en línea recta), la API calcula el tiempo de viaje a través de la red vial existente, considerando la topología, la jerarquía de las vías y las restricciones de circulación, así como los datos de los usuarios reales.
- ▶ **Escalabilidad y sistematización:** El uso de la API permite realizar consultas masivas y sistemáticas para construir una matriz completa de tiempos de viaje entre todos los pares de municipios que conforman el área de estudio. El resultado es una matriz O-D (Origen-Destino) donde cada celda (i, j) contiene el tiempo en minutos para desplazarse del municipio i al municipio j.

La adquisición de esta matriz de datos, mediante la compra de consultas a la API, constituye la base para cuantificar las relaciones funcionales entre municipios los 165 x 165 municipios, permitiendo así mismo establecer ciertos umbrales de tiempo respecto a Bogotá y otros nodos de importancia regional para definir las interdependencias.

2.2 Temática: Equipamientos sociales y del hábitat

En el caso de la temática denominada Equipamientos sociales del hábitat se realizó el análisis en torno a dos variables que representan las relaciones funcionales generadas en torno al acceso a equipamientos sociales, particularmente, dada la importancia y disponibilidad de datos, salud y educación posmedia, que explican no solamente motivos de viaje – o flujo origen – destino, si no que permiten una aproximación sobre la demanda de servicios sociales de acceso a infraestructura regional a partir de las fuente específicas de medición que se detallan a continuación.

2.2.1 Salud

Para la estimación de los flujos intermunicipales vinculados al acceso a servicios de salud de mayor complejidad, se utilizó como proxy, dada la disponibilidad de información y la existencia del registro administrativo, el lugar donde ocurren los nacimientos registrados oficialmente, en contraste con el municipio de residencia de la madre. Esta aproximación permite identificar patrones de relación funcional en el acceso a servicios de salud materno-perinatal entre los municipios de la Región Metropolitana Bogotá – Cundinamarca.

Para esto, se tuvieron en cuenta las siguientes fuentes de información:

- ▶ **Estadísticas Vitales – Registro de Nacimientos del DANE 2023:** Esta fuente proporciona información detallada sobre todos los nacimientos ocurridos en el país, incluyendo datos clave como:
 - Municipio de ocurrencia del parto (lugar de nacimiento del bebé).
 - Municipio de residencia habitual de la madre.
 - Total de nacimientos ocurridos en cada municipio.

A partir de esta información, fue posible identificar los casos en los que el lugar de nacimiento difiere del lugar de residencia de la madre, lo que indica un desplazamiento intermunicipal por razones plausiblemente relacionadas con la atención médica. Con base en este análisis, se elaboró una matriz de volumen absoluto que presenta el número de nacimientos entre municipios sin estandarización, la cual puede ser consultada en el **Anexo 2.2.1A - Matriz de volumen de salud**.

Posteriormente, se definió un indicador relativo de flujos de nacimientos entre municipios i y j , calculado de la siguiente forma:

Indicador relativo

$$= \frac{\text{Número de nacimientos ocurridos en el municipio } j \text{ de madres residentes en el municipio } i}{\min(\text{Total nacimientos registrados en } i, \text{Total nacimientos registrados en } j)}$$

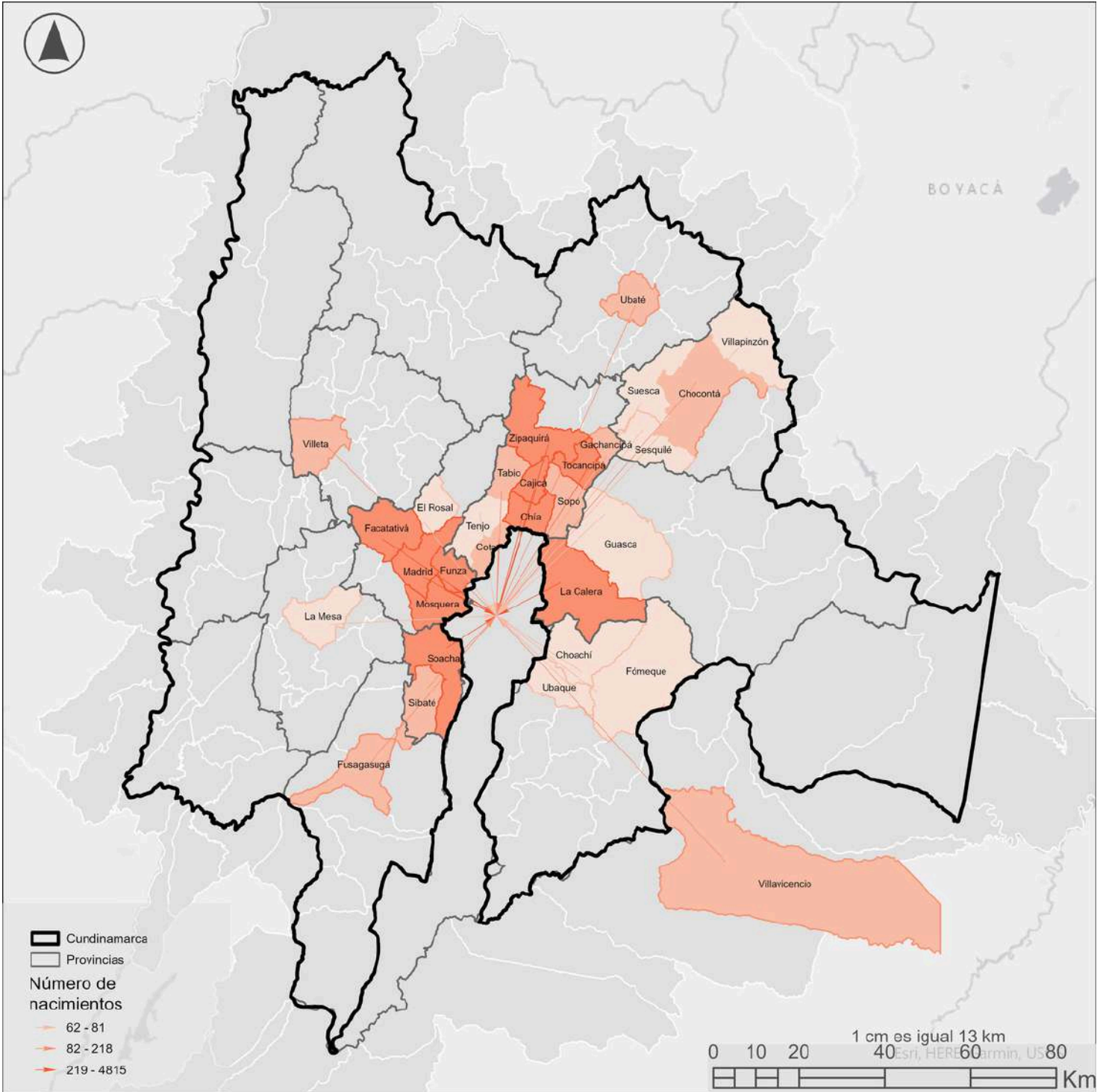
Este indicador busca capturar la interdependencia entre municipios en términos del acceso a servicios de salud materna, teniendo en cuenta que el nacimiento es un evento que suele estar vinculado a la necesidad de atención médica especializada, por lo cual la decisión, o necesidad de trasladarse a otro municipio para la atención refleja, en la mayoría de los casos:

- ▶ Deficiencias en la oferta de servicios de salud en el lugar de residencia.
- ▶ Preferencias por centros médicos con mayor capacidad, calidad o especialización.
- ▶ Redes regionales de atención que articulan municipios con diferentes niveles de infraestructura hospitalaria.

El uso del mínimo entre los totales de nacimientos como denominador permite relativizar los flujos observados respecto a la magnitud demográfica de cada municipio, evitando que los valores absolutos no permitan identificar relaciones relevantes entre territorios más pequeños o con menor volumen de nacimientos. Esta normalización también permite interpretar el indicador como una medida proporcional de dependencia, que facilita su comparación entre distintos pares de municipios. A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos (ver **Anexo 2.2.1B - Matriz simétrica de salud**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. Los mapas concentran las 30 relaciones funcionales de nacimientos de mayor intensidad con destino a Bogotá, aclarando que esta selección para la visualización se realizó con el fin de mostrar de manera comprensible el top 30 de las relaciones en 3 categorías: alta, media y baja. El **Mapa 5.1** muestra los valores del volumen, mientras que el **Mapa 5.2** presenta los 30 mayores flujos del indicador normalizado.

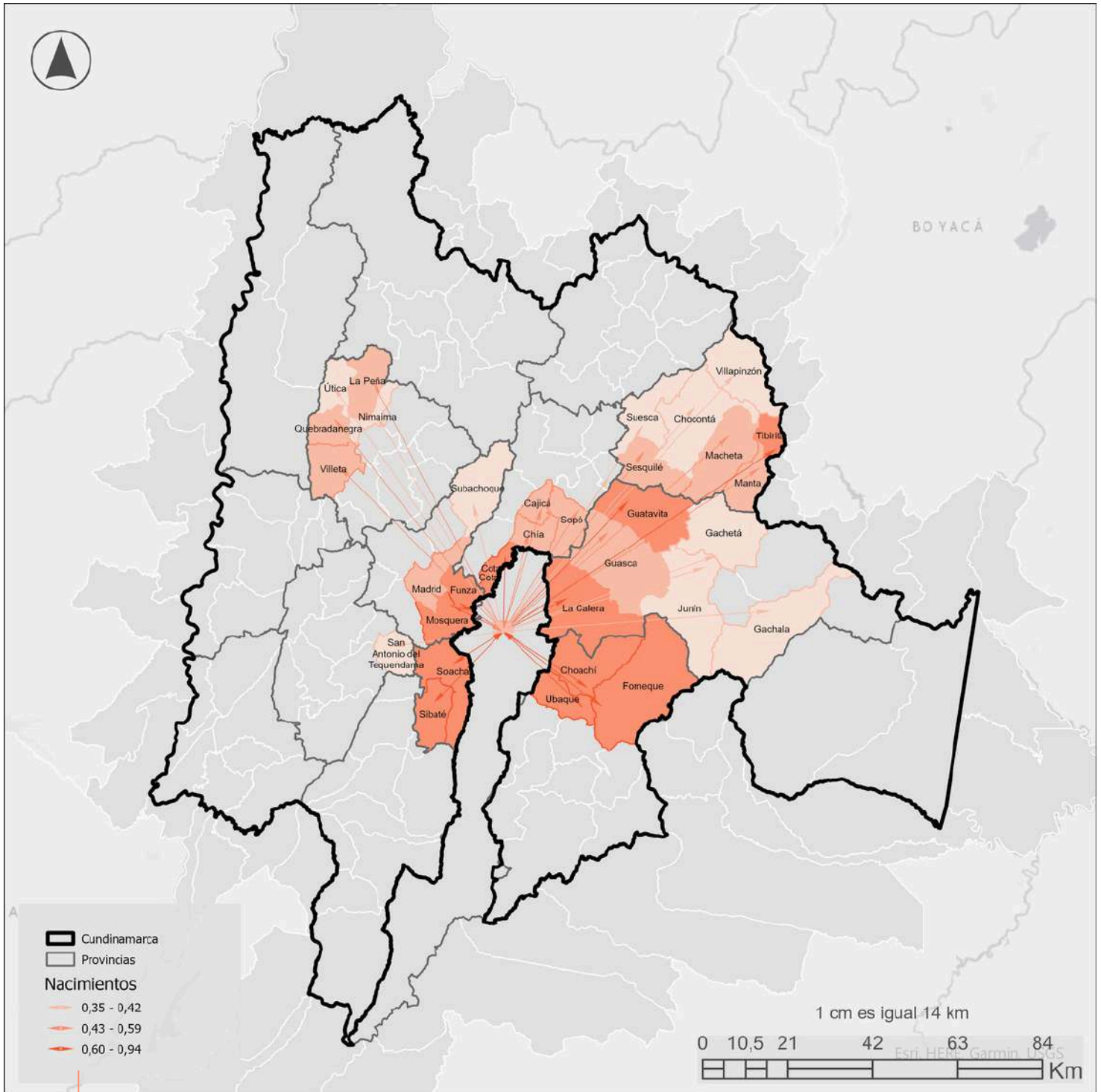
Mapa 5.1 – Relaciones funcionales de salud con Bogotá
 Número de mujeres que se desplazaron hacia Bogotá para dar a luz



Fuente: Elaboración propia basada en datos de Estadísticas Vitales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2023).

▶ Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 5.2- Relaciones funcionales de salud con Bogotá
Número de nacimientos



El indicador relativo muestra qué tan interdependiente es un municipio de otro en términos de desplazamientos realizados por mujeres para recibir atención en el parto. Un valor más alto significa que hay una relación de nacimientos muy fuerte entre una pareja de municipios.

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Estadísticas Vitales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2023).

El análisis de los flujos de salud por nacimientos revela una fuerte concentración hacia Bogotá, donde se registra el 86,7% del total de casos provenientes de 143 municipios. Los municipios de Soacha, Mosquera y Madrid presentan los mayores volúmenes absolutos de nacimientos ocurridos en la ciudad. No obstante, al relativizar la información con respecto a los nacimientos totales de los municipios, las relaciones funcionales más intensas se dan entre La Calera y Bogotá, Choachí y Bogotá, y Soacha y Bogotá, evidenciando patrones de dependencia en el acceso a servicios hospitalarios especializados.

2.2.2 Educación

Para la estimación de los flujos intermunicipales vinculados al acceso a educación superior, se construyó un indicador relativo del número de estudiantes que acceden a una universidad ubicada en un municipio distinto al de su institución educativa del cual se recibieron como bachiller (a partir de los datos derivados del indicador de la tasa de tránsito a la educación posmedia)^[7]. Esta variable permite identificar patrones de relación funcional entre municipios en términos de provisión y acceso a servicios educativos de nivel superior en la Región Metropolitana Bogotá – Cundinamarca.

Para esto se tomaron en cuenta las siguientes fuentes de información:

- ▶ **Tasa de tránsito inmediato a educación superior – SNIES / DNP / Ministerio de Educación Nacional:** Esta fuente de datos consolida la información de los estudiantes que, tras culminar la educación media, se matriculan en una institución de educación superior. La base permite identificar:
 - Municipio donde cursaron la educación media (municipio de origen).
 - Municipio donde se matricularon en la educación superior (municipio de destino).
 - Año de graduación y año de matrícula en la universidad.
- ▶ **Número de bachilleres graduados - Ministerio de Educación Nacional:** este registro contiene los datos del total de estudiantes graduados por municipio.

A partir de esta información, se reconstruyeron los flujos intermunicipales de tránsito educativo, identificando los estudiantes que accedieron a universidades fuera de su municipio de origen, obteniendo así una matriz de volumen absoluto que presenta el número de estudiantes entre municipios sin estandarización (ver **Anexo 2.2.2A - Matriz de volumen de educación**).

De manera posterior, se definió un indicador relativo de dependencia educativa para cada par de municipios i y j , calculado de la siguiente forma:

Indicador relativo

$$= \frac{\text{Número de estudiantes residentes o egresados de media en } i \text{ matriculados en educación superior en } j}{\min(\text{Total de estudiantes graduados en } i, \text{ Total de estudiantes graduados en } j)}$$

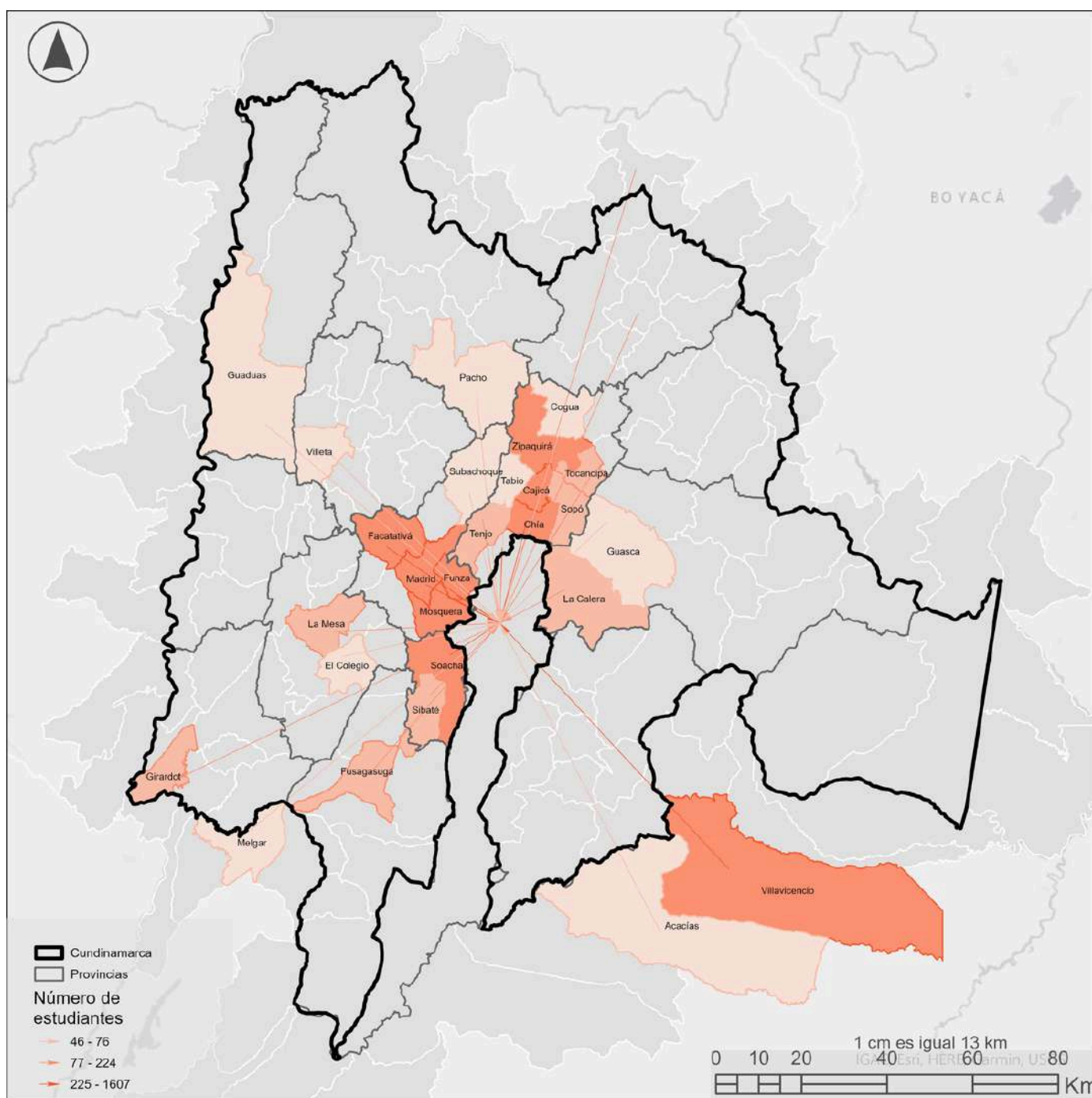
Este indicador busca capturar los patrones de movilidad funcional asociados al acceso a la educación superior. En regiones con concentración institucional o limitaciones de oferta académica en ciertos municipios, es común que los estudiantes se desplacen hacia otros territorios donde existen universidades, programas específicos o mayor

[7] Este indicador fue generado por el Observatorio del Sistema de Ciudades del DNP con información del año 2018, no se ha vuelto a producir el flujo de información, lo que sería relevante para capturar los cambios en las dinámicas espaciales generados a partir de la pandemia del Covid-19.

capacidad educativa. A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos (ver **Anexo 2.2.2B - Matriz simétrica de educación**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. El **Mapa 6.1** y el **Mapa 6.2** concentran las 30 relaciones funcionales de flujos de educación superior de mayor intensidad con destino a Bogotá, aclarando que esta selección para la visualización se realizó con el fin de mostrar de manera comprensible el top 30 de las relaciones en 3 categorías: alta, media y baja.

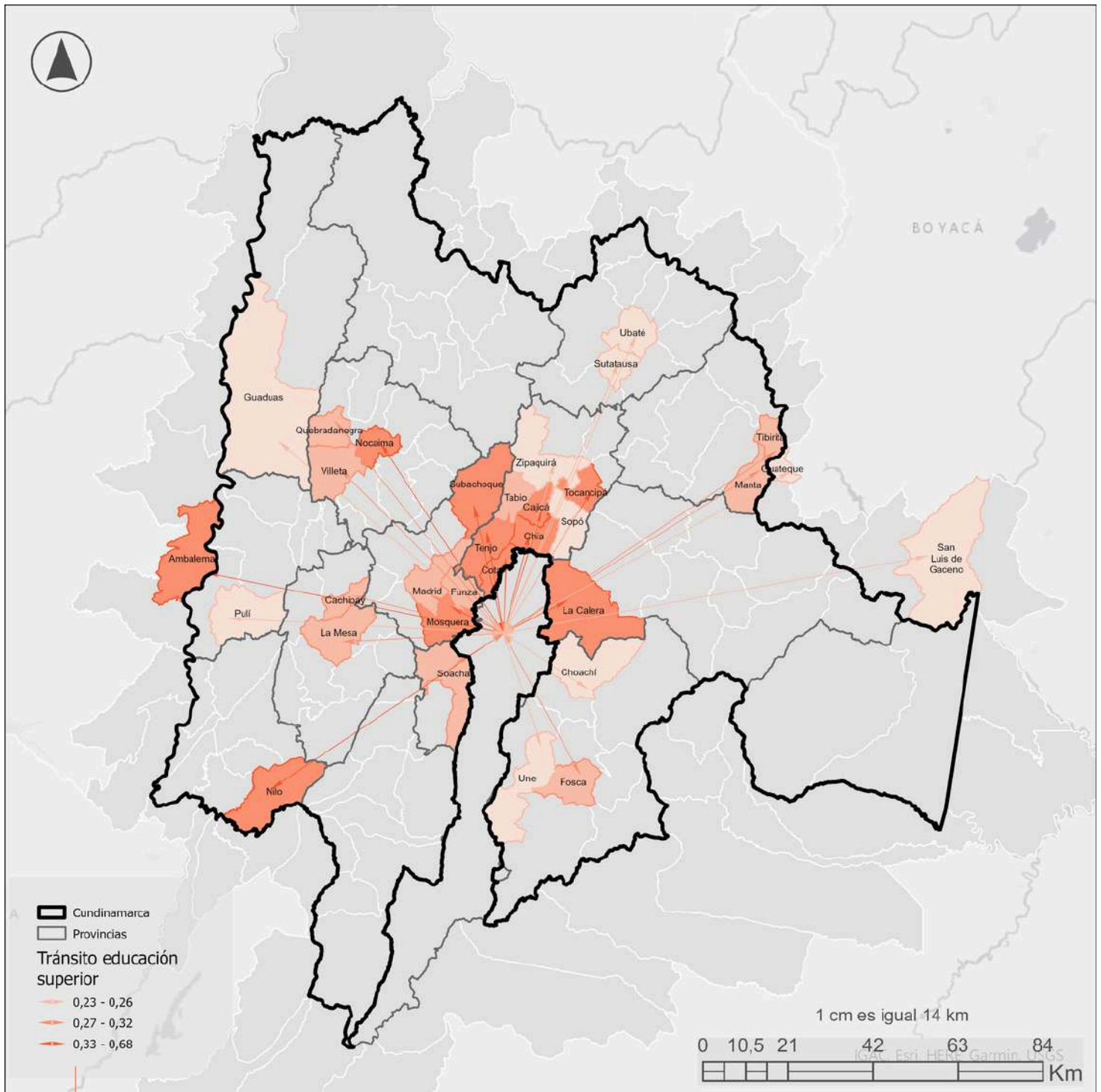
Mapa 6.1 – Relaciones funcionales educación con Bogotá
 Número de personas que viajan diariamente a Bogotá para realizar sus actividades laborales



Elaboración propia con base en datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2018)

► Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 6.2- Relaciones funcionales de educación con Bogotá
Tránsito a Educación Superior



El indicador muestra qué tan interdependiente es una pareja de municipios en términos de desplazamientos realizados para acceder a educación superior. Un valor más alto significa que hay una relación educativa muy fuerte entre los dos municipios.

Elaboración propia con base en datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2018)

De lo anterior se resalta que un total de 161 municipios presentan flujos hacia Bogotá, lo que equivale al 98% del total analizado y refleja de manera contundente la centralidad de la capital en las dinámicas territoriales de educación y formación de talento humano especializado. En términos absolutos, los mayores volúmenes de relación se originan en municipios con alta proximidad geográfica como Soacha, Chía y Mosquera, que concentran la mayor intensidad de desplazamientos hacia la ciudad. Sin embargo, al considerar el indicador relativo —que pondera tanto el volumen del flujo como su relevancia proporcional respecto a Bogotá y al municipio de origen— las relaciones más fuertes se registran entre Bogotá y Chía, Cajicá y Nilo, revelando una jerarquía funcional que no depende únicamente del tamaño del flujo, sino de su peso relativo en cada territorio.

2.3 Temática: Seguridad alimentaria

En el análisis de la temática de seguridad alimentaria se tuvieron en cuenta las variables de transporte de alimentos y transporte de cárnicos. Los resultados obtenidos se exponen a continuación.

2.3.1 Transporte de alimentos

Para la construcción de las relaciones funcionales de transporte de alimentos entre municipios, se integraron y depuraron distintas fuentes de datos con el objetivo de captar la interdependencia existente en el transporte de productos alimentarios en la Región Metropolitana de Bogotá - Cundinamarca. Se construyó una variable que estima el volumen relativo de alimentos transportados entre municipios, a partir de los siguientes registros:

- ▶ **Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA):** registra los productos que ingresan a las centrales de abasto, tanto del transporte público como del privado. Contiene información detallada sobre el grupo alimentario, peso, origen y destino, siendo el destino siempre una central de abastos. La fortaleza de este registro radica en que permite capturar el total del abastecimiento registrado en los principales centros de consumo del país, sin distinción del modo de transporte.
- ▶ **Registro Nacional de Despacho de Carga por Carretera (RNDC) – 2023:** Este registro permite identificar los movimientos de carga entre municipios para el transporte público terrestre de carga. La base contiene información sobre el origen y destino del viaje, la clase de producto transportado y el peso bruto de la carga. Se filtraron los registros relacionados con productos alimentarios.
- ▶ **Instituto Colombiano Agropecuario (ICA):** La Encuesta de Evaluación Agropecuaria Municipal (EVA) proporciona información sobre el área sembrada, el área cosechada, la producción y el rendimiento de los principales productos agropecuarios del país. Asimismo, incluye datos sobre el inventario pecuario de las principales especies, el número de animales sacrificados y la producción resultante. Si bien esta fuente brinda información de la producción agropecuaria total para cada municipio, a partir de la recolección de datos de gremios, instituciones públicas y/o privadas, se identificaron diferencias entre el volumen de producción que registra la EVA y las fuentes principales que registran el volumen de transporte de alimentos (SIPSA y RNDC), por lo cual se desestimó para el análisis.

► **Censo Nacional Agropecuario - 2014:** Con el objetivo de evitar la sobreestimación de flujos en municipios con funciones de acopio o reexpedición (es decir, donde los productos no se producen, sino que pasan por el municipio), se utilizó como referencia la información del Censo Nacional Agropecuario (CNA). A partir de esta fuente, se buscó proyectar la producción agropecuaria municipal e identificar los municipios productores. Sin embargo, debido a que el CNA no cuenta con actualizaciones recientes y no es posible aislar adecuadamente los cambios temporales que han afectado la dinámica productiva local, se consideró que no ofrece una base suficientemente robusta para el análisis, por lo que fue descartado como fuente principal. Este registro permite identificar los movimientos de carga entre municipios para el transporte público terrestre de carga. La base contiene información sobre el origen y destino del viaje, la clase de producto transportado y el peso bruto de la carga. Se filtraron los registros relacionados con productos alimentarios.

Criterios de integración de fuentes

Dado que cada fuente tiene una cobertura parcial del fenómeno, se aplicaron los siguientes supuestos para evitar doble contabilización y optimizar la calidad del dato:

- **Municipios con central de abasto en el destino:** Se tomó únicamente la información del SIPSA, asumiendo que este registro captura de forma más completa y representativa los flujos hacia dichos municipios, al incluir transporte público y privado.
- **Municipios sin central de abasto:** Se tomó únicamente la información del RNDC, ya que es la única fuente disponible con cobertura en estos casos. Para identificar los municipios con central de abasto, se elaboró una base de datos a partir de registros del DANE con el SIPSA.

Con el fin de eliminar la duplicidad por doble fuente, se realizó un cruce de origen-destino entre ambas bases para eliminar registros del RNDC que coincidieran con flujos ya registrados en SIPSA, siguiendo los criterios del punto anterior. Como resultado, se elaboró una matriz de volumen absoluto que presenta los kilogramos transportados entre municipios sin estandarización (ver **Anexo 2.3.1A - Matriz de volumen de transporte de alimentos**).

Como siguiente paso, se construyó un indicador relativo de origen de transporte de alimentos entre municipios, definido como:

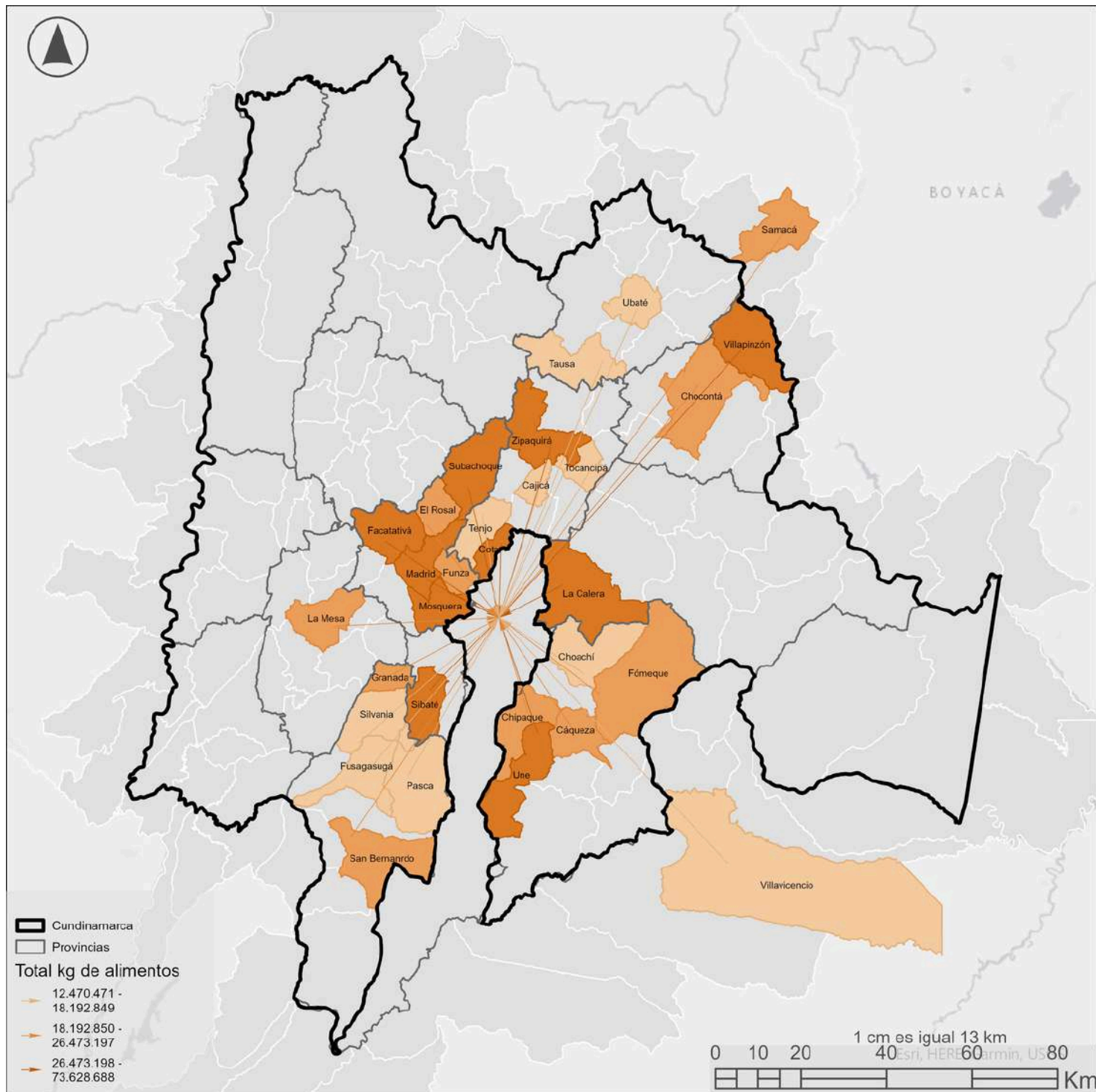
$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Transporte de alimentos enviados de un municipio a otro (kg)}(\text{Origen} - \text{Destino})}{\text{Total de alimentos transportados por el municipio de origen (kg)}}$$

Una vez se calcularon los indicadores para cada flujo de municipios, se tomaron los indicadores de cada pareja de flujos de municipios y se promediaron. A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos de transporte de alimentos (ver **Anexo 2.3.1B - Matriz simétrica de transporte de alimentos**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. Los mapas concentran las 30 relaciones funcionales de transporte de

alimentos de mayor intensidad con destino a Bogotá, aclarando que esta selección para la visualización se realizó con el fin de mostrar de manera comprensible el top 30 de las relaciones en 3 categorías: alta, media y baja, tanto para el indicador de volumen como el relativo (Ver **Mapa 7.1** y **Mapa 7.2**).

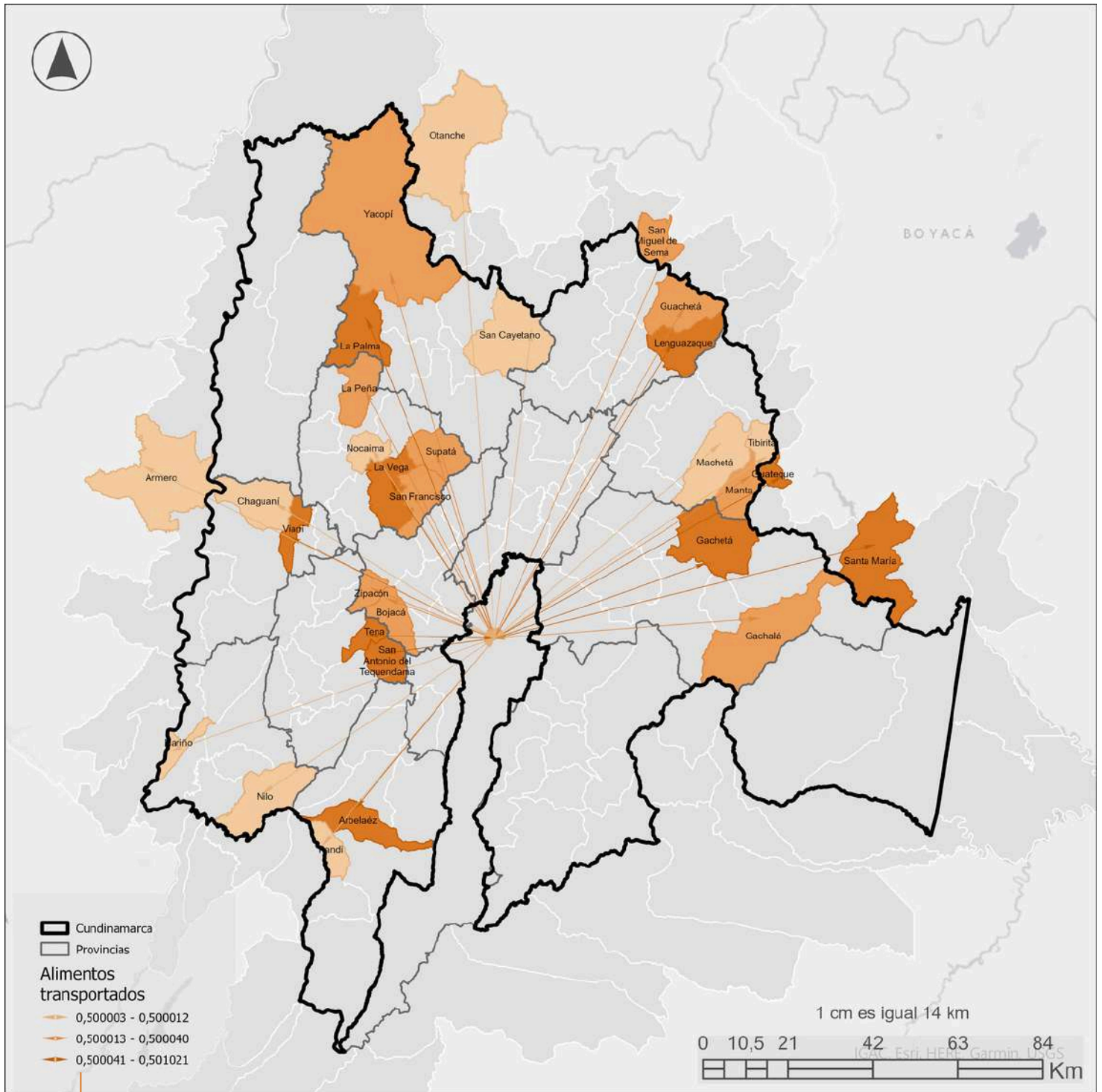
Mapa 7.1- Relaciones funcionales de transporte de alimentos con Bogotá
Total de alimentos transportados (kg) hacia Bogotá



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA, 2025) y del Registro Nacional de Despacho de Carga por Carretera (RNDC, 2023).

► Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 7.2- Relaciones funcionales de transporte de alimentos con Bogotá
Alimentos transportados



El indicador relativo señala qué tan interdependiente es un municipio de otro en términos de transporte de alimentos. En este caso, un valor más alto significa una relación fuerte de transporte de alimentos entre una pareja de municipios.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA, 2025) y del Registro Nacional de Despacho de Carga por Carretera (RNDC, 2023).

Como se observa en el mapa de relaciones funcionales de alimentos con Bogotá, al analizar el volumen absoluto del transporte de alimentos, se identifica que el 95,7% de los municipios presentan flujos hacia Bogotá.

Al analizar el indicador simétrico relativo de interdependencia, que pondera los flujos relativos respecto al total transportado por cada municipio, se observa que las relaciones más fuertes se dan con municipios más alejados y por fuera de las provincias que concentran mayor población como sabana centro y sabana occidente, lo que muestra que las dinámicas de flujos alimentarios son de carácter regional y rompen la contigüidad espacial con relación a Bogotá.

2.3.2 Transporte de cárnicos

Para la estimación de los flujos intermunicipales en el transporte de productos cárnicos sin procesar, se construyó un indicador relativo del volumen transportado de carne entre municipios, a partir de los datos reportados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), entidad que consolida la información sobre la movilización de productos pecuarios en el territorio nacional.

- ▶ **Registro de movilización animal – ICA:** corresponde al registro de animales movilizados entre municipios del país, reportado a través de la Guía Sanitaria de Movilización Interna (GSMI). Este sistema consigna datos sobre especie, cantidad, municipio de origen y de destino, lo que permite trazar los circuitos de transporte de animales vivos, en su mayoría con destino a mataderos. Esta fuente se utilizó para construir el numerador del indicador: el número de animales enviados desde un municipio de origen a otro municipio de destino.
- ▶ **Censo Pecuario Nacional – ICA:** consolidado anualmente, este registro contiene el censo de animales por municipio y especie (bovinos, porcinos, bufalinos, caprinos y ovinos), con base en los registros de vacunación y aportes de los gremios del sector. Esta fuente se utilizó para construir el denominador del indicador: el total de animales registrados en el municipio de origen, es decir, la cantidad total de animales disponibles como población base de producción cárnica.

Es preciso mencionar que no fue posible estimar otros flujos de transporte relevantes, por ejemplo los asociados al sector avícola, a pesar de su importancia en el departamento de Cundinamarca, por razones técnicas y metodológicas. En primer lugar, la base de datos de movilización animal del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), utilizada como fuente principal para la estimación de flujos intermunicipales, no incluye registros sobre pollos ni otras aves de corral. Esta base únicamente contiene información de especies como bovinos, porcinos, caprinos, ovinos y, en menor medida, avestruces. En consecuencia, no se cuenta con datos oficiales, georreferenciados ni trazables que permitan construir flujos confiables de transporte de aves entre municipios.

Adicionalmente, el modelo productivo del sector avícola presenta características particulares que dificultan la aplicación de la misma lógica utilizada para otras cadenas cárnicas. A diferencia de los bovinos o porcinos, las aves suelen ser sacrificadas en plantas de carácter privado localizadas muy cerca del lugar de producción, lo que reduce considerablemente la necesidad de movilización intermunicipal de animales vivos.

Por otra parte, si bien la información de FENAVI permite caracterizar la importancia productiva del sector avícola, esta no contiene datos de tránsito intermunicipal ni registros de origen-destino que permitan estimar flujos de transporte. Se trata de estadísticas agregadas de producción que no permiten construir matrices de relaciones funcionales o interdependencia regional. En el **Anexo 1.3 - Fuentes desestimadas** se presenta un análisis más detallado sobre la inviabilidad de incorporar datos de FENAVI como fuente para estimar flujos intermunicipales del sector avícola.

A partir los registros expuestos, se elaboró una matriz de volumen absoluto que presenta el número de animales transportados entre municipios sin estandarización (ver **Anexo 2.3.2A - Matriz de volumen de transporte de cárnicos**). Posteriormente, se construyó el siguiente indicador relativo:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Número de animales movilizados entre } i \text{ y } j}{\min(\text{Inventario pecuario en } i, \text{Inventario pecuario en } j)}$$

Donde:

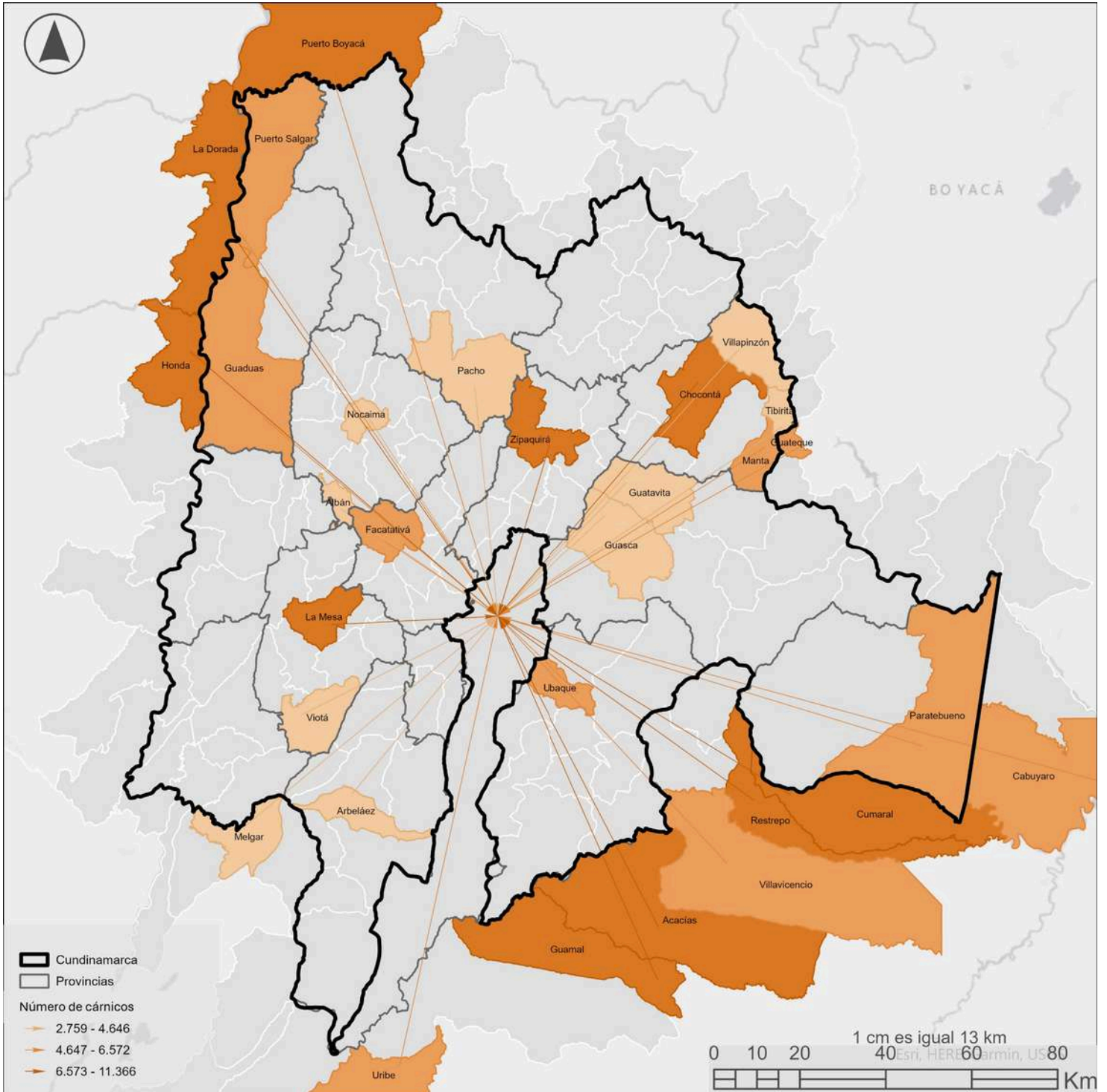
- El numerador representa la suma de animales movilizados en ambas direcciones entre los municipios *i* y *j*.
- El denominador toma el valor mínimo del inventario pecuario total entre los dos municipios, lo que garantiza que el valor del indicador esté acotado y permite construir una matriz simétrica de interdependencias.

Este indicador busca capturar la intensidad relativa del flujo de transporte de animales entre dos territorios, ajustando por su capacidad productiva pecuaria. El uso del valor mínimo del inventario entre ambos municipios como denominador permite una comparación proporcional que no favorece a los municipios con grandes volúmenes absolutos, y permite construir una matriz de flujos simétrica, útil para identificar vínculos bilaterales significativos.

A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos de transporte de carnes (ver **Anexo 2.3.2B - Matriz simétrica de transporte de cárnicos**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. Los mapas concentran las 30 relaciones funcionales de transporte cárnicos de mayor intensidad con Bogotá, aclarando que esta selección para la visualización se realizó con el fin de mostrar de manera comprensible el top 30 de las relaciones en 3 categorías: alta, media y baja, tanto para el indicador de volumen como relativo (ver **Mapa 8.1** y **Mapa 8.2**).

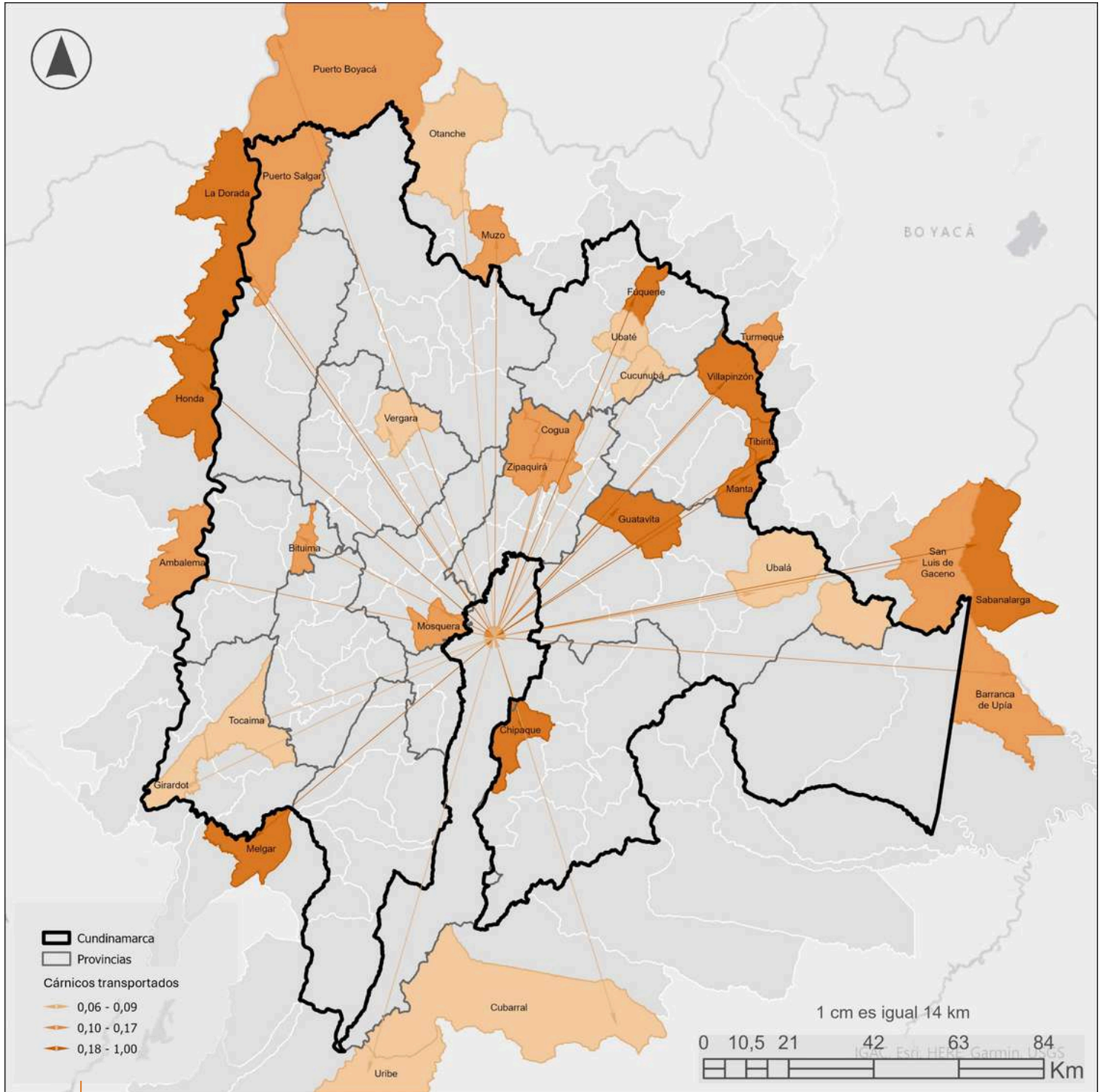
Mapa 8.1- Relaciones funcionales de transporte de cárnicos con Bogotá
 Número de cárnicos transportados hacia Bogotá



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo Pecuario Nacional del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2024).

► Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 8.2- Relaciones funcionales de transporte de cárnicos con Bogotá
Cárnicos transportados



El indicador relativo señala qué tan interdependiente es un municipio de otro en términos de transporte de animales para sacrificio. En este caso, un valor más alto significa una relación fuerte de transporte de cárnicos entre una pareja de municipios.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo Pecuario Nacional del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2024).

En los flujos de carnes se puede apreciar como los municipios de frontera del departamento adquieren importancia en el indicador de volumen y relativo con importancia en los flujos de municipios del Meta, Caldas o Tolima y en diferentes provincias del departamento de Cundinamarca.

2.4 Temática: Desarrollo Económico

Para la temática de Desarrollo Económico se realizó el análisis en torno a tres variables: transporte de manufacturas, turismo e internacionalización, éstas se explican a continuación.

2.4.1 Transporte de manufacturas

Para la estimación de los flujos intermunicipales en el transporte de mercancías de manufactura, se realizó la estimación del volumen y valor de las mercancías transportadas, así como un indicador relativo entre municipios, a partir de los siguientes registros.

- ▶ **Registro Nacional de Despacho de Carga por Carretera (RNDC) – 2023:** Este registro, administrado por el Ministerio de Transporte, contiene los manifiestos de carga del transporte público terrestre por carretera. Incluye datos clave como el municipio de origen y destino del despacho, tipo de mercancía, peso transportado, valor del flete y clase de vehículo. Para el presente análisis, se filtraron los registros que corresponden a productos manufacturados, excluyendo cargas asociadas a materias primas agrícolas o minerales.
- ▶ **Cuentas Nacionales – DANE (Valor agregado municipal):** Esta fuente estadística proporciona el valor agregado municipal para las diferentes ramas de actividad económica. En este caso, se utilizó el valor agregado de las actividades secundarias, que agrupan la producción industrial y manufacturera. El valor agregado, medido a precios corrientes, se usó como un proxy de la capacidad económica de cada municipio en términos de manufactura.

Con el propósito de estimar correctamente los flujos entre municipios, se usó un factor de ajuste en el cálculo que permitió trazar los flujos únicamente desde los municipios considerados manufactureros. En este sentido, se descartaron los flujos de manufactura en donde el municipio de origen no estaba entre los municipios seleccionados como municipios manufactureros (13 municipios) se creó un indicador de importancia relativa que mide la relevancia de un sector económico (en este caso el de las industrias manufactureras) en un municipio en comparación con Cundinamarca. Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Participación de las industrias manufactureras en el municipio}}{\text{Participación de las industrias manufactureras en Cundinamarca}}$$

En dónde, participación de las industrias manufactureras en el municipio es la participación de las empresas que son categorizadas como industrias manufactureras sobre el total de empresas de manufactura en el municipio y participación de las industrias manufactureras en Cundinamarca es la participación de las empresas de manufactura en Cundinamarca sobre el total de empresas en Cundinamarca.

Ahora bien, para definir los municipios manufactureros, se determinó como se dijo un ajuste por importancia relativa de las empresas industriales de los municipios de acuerdo con sus tamaños. Esto se hizo entendiendo la diferencia en la concentración

en un municipio de 3 empresas pequeñas de manufactura o 3 empresas grandes del mismo sector, en términos de capacidad territorial, demanda de empleo e infraestructuras especializadas, por ejemplo. Para esto, se tomó un rango estimador de número de empleados de acuerdo con los rangos definidos por el DANE en sus operaciones estadísticas, teniendo así que cada microempresa se multiplica por 5.5, las pequeñas por 30.5, las medianas por 125.5 y las grandes por 300.5. Así, Por ejemplo, a pesar de que Choachí y Chía puedan tener la misma cantidad de empresas de manera hipotética, como sus tamaños son distintos el número que se usa al final en el cálculo no es el mismo.

$$\text{Empresas Choachí} = (2 \cdot 5.5) + (4 \cdot 125.5) + (1 \cdot 300.5) = 813.5$$

$$\text{Empresas Chía} = (1 \cdot 5.5) + (4 \cdot 125.5) + (2 \cdot 300.5) = 1108.5$$

Es importante señalar que este rango es de utilidad para estimar el peso o importancia relativa, por lo que de considerarse sustituirse por un factor multiplicador monetario, no se esperan cambios estructurales.

Ahora bien, para determinar si una empresa pertenece a la industria manufacturera, se tomaron aquellas registradas en el RUES bajo los siguientes códigos CIIU a dos dígitos:

Tabla 8- Códigos CIIU Manufacturas

CIIU V4	Actividad económica	CIIU V4	Actividad económica
10	Elaboración de productos alimenticios	11	Elaboración de bebidas
12	Elaboración de productos de tabaco	13	Fabricación de productos textiles
14	Confección de prendas de vestir	15	Curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y artículos similares, y fabricación de artículos de talabartería y guarnicionería; adobo y teñido de pieles
16	Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería	17	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón

CIU V4	Actividad económica	CIU V4	Actividad económica
18	Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales	19	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles
20	Fabricación de sustancias y productos químicos	21	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico
22	Fabricación de productos de caucho y de plástico	23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
24	Fabricación de productos metalúrgicos básicos	25	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo
26	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	27	Fabricación de aparatos y equipo eléctrico
28	Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.	29	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques
30	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte	31	Fabricación de muebles, colchones y somieres
32	Otras industrias manufactureras	33	Instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, entre más grande el indicador significa que el municipio se especializa, en términos relativos más en las manufacturas que el promedio de Cundinamarca y se toma como un posible origen de carga industrial^[8]. Con este ejercicio, de los 165 municipios, se obtuvo que 13 son municipios manufactureros^[9] y, por lo tanto, el valor del flete toma el valor de cero cuando el municipio de origen no es manufacturero.

Posteriormente, se definió un indicador relativo para cada par de municipios *i* y *j*, calculado de la siguiente manera:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Valor del flete de las mercancías transportadas entre } i \text{ y } j}{\min(\text{Valor agregado de manufacturas en } i, \text{Valor agregado de manufacturas en } j)}$$

Este indicador tiene como objetivo identificar y cuantificar la interdependencia relativa entre dos municipios, teniendo en cuenta los flujos de transporte registrados para los municipios considerados como origen en el corte. De esta manera, hay una relación potencial de 13 municipios con los 165, que al transformar el indicador en simétrico, la relación se ve bidireccional.

El uso del valor mínimo del valor agregado manufacturero como denominador permite que el indicador refleje la relevancia proporcional del flujo de transporte respecto al tamaño de la economía local más pequeña. Esta normalización es útil para evitar que los valores absolutos de flete dominen la interpretación del flujo, lo que podría invisibilizar relaciones logísticas intensas entre municipios más pequeños.

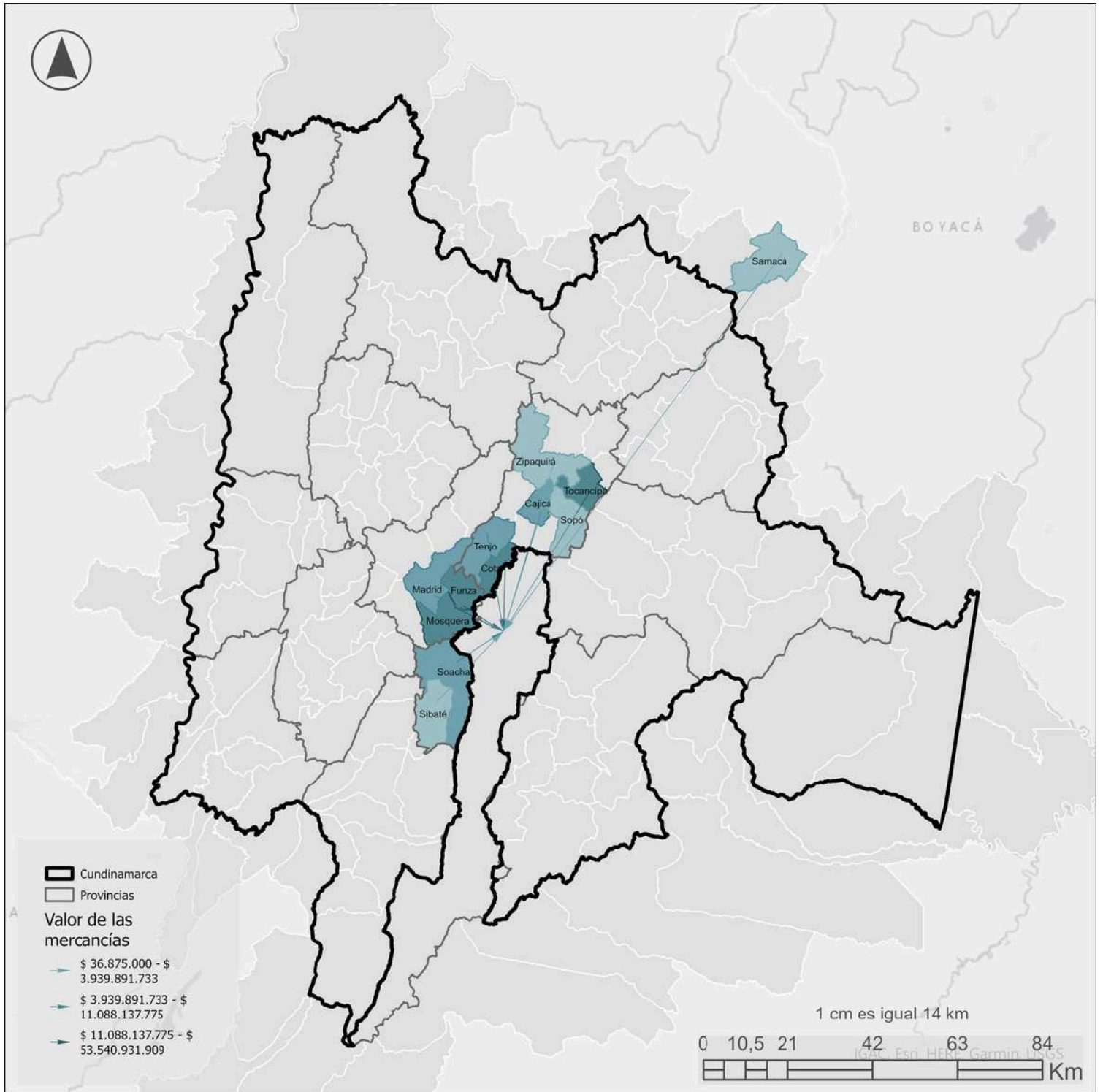
A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos de transporte de mercancías de manufacturas (ver **Anexo 2.4.1B - Matriz simétrica de transporte de mercancías**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. Los mapas concentran las relaciones funcionales de transporte de manufacturas de mayor intensidad con Bogotá. Los mapas muestran el top 30 de las relaciones, el primero a partir del indicador de volumen, mientras que el segundo presenta el indicador relativizado (ver **Mapa 9.1** y **Mapa 9.2**).

[8] En la definición del corte para establecer un municipio como manufacturero, se tomaron en cuenta los municipios con un indicador mayor a 0.7, tomando a Bogotá como el umbral más bajo.

[9] Para ver el listado de los 13 municipios con su respectivo indicador relativo ver el **Anexo 2.4.1D - Municipios manufactureros** en la carpeta de anexos de esta variable.

Mapa 9.1- Relaciones funcionales de transporte de manufactura con Bogotá
 Valor total de las mercancías transportadas

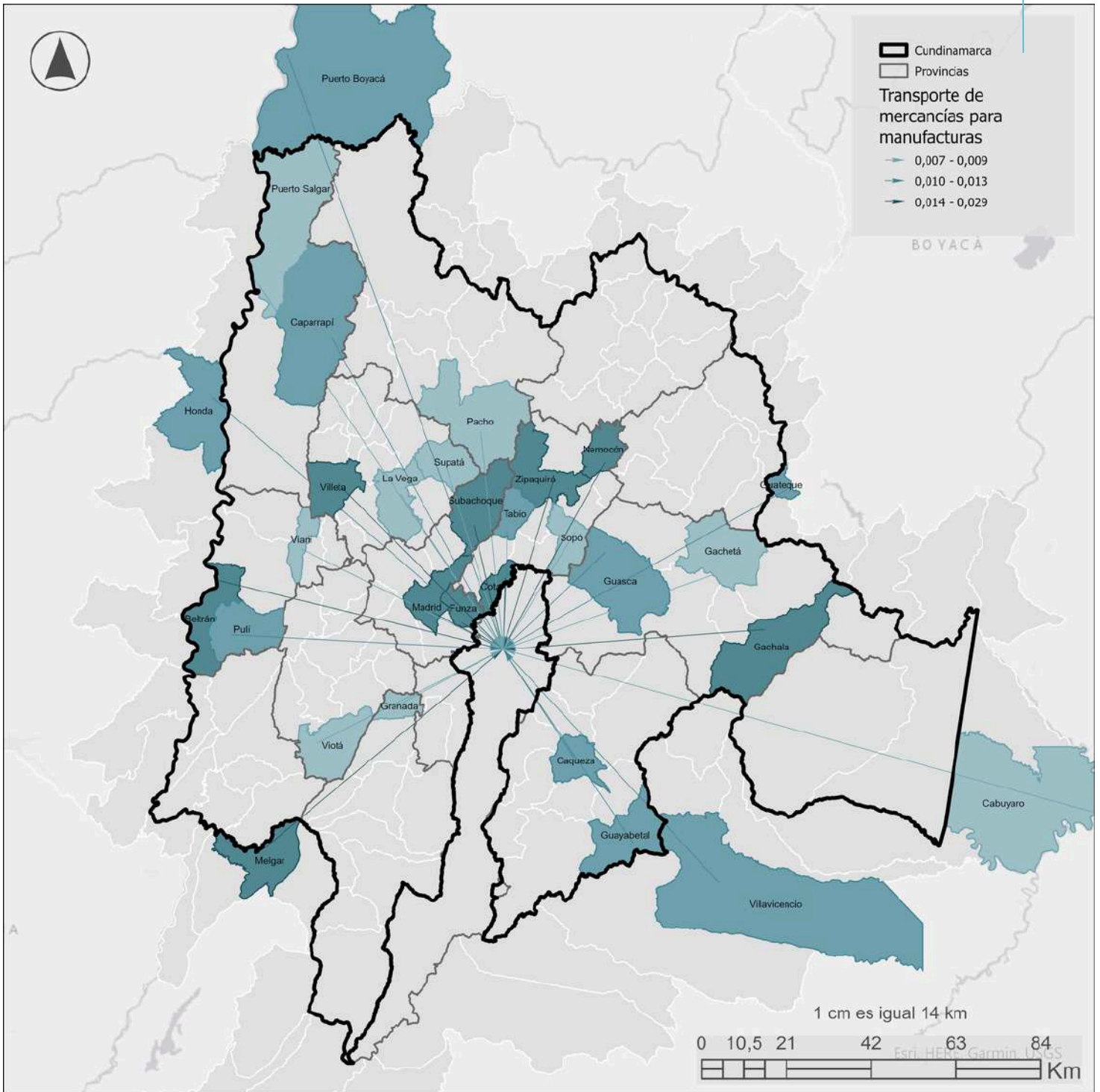


Fuente: Elaboración propia con base en datos del Registro Nacional de Despacho de Carga por Carretera (RNDC, 2024)

▶ Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 9.2- Relaciones funcionales de transporte de manufacturas con Bogotá Transporte de mercancías para manufacturas

El indicador relativo señala qué tan interdependiente es un municipio de otro en términos de transporte de mercancías empleadas en la elaboración de manufacturas. En este caso, un valor más alto significa una relación fuerte entre una pareja de municipios.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo Pecuario Nacional del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2024).

En el análisis de las relaciones funcionales del transporte de manufacturas, se identificó que 12 municipios presentan flujos con destino a Bogotá, y flujos que suelen ir en doble vía, muy concentrados en sabana centro, sabana occidente y Soacha, siendo Funza, Cota y Tocancipá los que concentran los mayores valores de mercancías transportadas. No obstante, al aplicar el indicador relativizado, se destacan relaciones en un rango más amplio de municipios como los casos de los municipios de Sopó o Cajicá, debido principalmente a que Bogotá por ser origen manufacturero, tiene relación con casi todos los municipios de la muestra al transformar la relación en simétrica.

2.4.2 Turismo

Para la construcción de la matriz de flujos de turismo entre municipios, se construyó un modelo gravitacional tomando distintas fuentes de datos con el objetivo de captar la interdependencia existente en el turismo de la Región Metropolitana de Bogotá - Cundinamarca. La propuesta supone que los flujos turísticos en la Región pueden estimarse a partir de: i) los tamaños de la oferta y la demanda de turismo (empresas de los sectores asociados y población respectivamente), y ii) la distancia en tiempos de viaje entre los municipios. Para construir el modelo gravitacional se usaron las siguientes bases de datos:

- ▶ **Proyecciones de población municipal post COVID-19 para el año 2024:** Esta base de datos tiene las cifras de las proyecciones poblacionales realizadas por el DANE y corregidas después del COVID-19. Se encuentra la información desagregada por municipio y para las tres áreas geográficas (Cabecera Municipal, Centros Poblados y Rural Disperso y el Total). Para este caso se tomó la información del total del municipio.
- ▶ **Registro Único Empresarial (RUES) – 2024:** La base tiene datos de las matrículas de empresas activas renovadas en el 2023 y lo corrido hasta febrero del 2024. Están desagregadas por municipio, tamaño de empresa y por código CIIU rev 4.0 a cuatro dígitos, lo que permitió identificar el número de empresas con matrículas activas en actividades económicas relacionadas al turismo.

Identificación de destinos turísticos

Con el propósito de ajustar el modelo gravitacional, se calcularon únicamente los flujos con destino a los municipios considerados como lugares turísticos, para lo cual se creó un indicador de importancia relativa^[10] que mide la relevancia de un sector económico (en este caso del turismo) en un municipio en comparación con Cundinamarca. Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Participación del turismo en el municipio}}{\text{Participación del turismo en Cundinamarca}}$$

Donde participación del turismo en el municipio corresponde a la proporción de empresas del sector turismo frente al total de empresas registradas en ese municipio. Por su parte, participación del turismo en Cundinamarca hace referencia a la proporción de empresas turísticas frente al total de empresas en todo el departamento.

[10] Se usó el mismo factor de ajuste en el cálculo de importancia relativa implementado en la sección de manufacturas.

Se tomaron como empresas del sector turismo^[11] aquellas que en el registro del RUES se clasificaron bajo las siguientes actividades económicas:

Tabla 9- Actividades económicas de turismo

Código CIU rev 4.0	Actividad económica
55	Alojamiento
79	Actividades de las agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reserva y actividades relacionadas

Fuente: Adaptado de (RUES, 2025)

Por lo tanto, entre más grande el indicador significa que el municipio se especializa, en términos relativos, más en el turismo que el promedio de Cundinamarca y se toma como un destino turístico. Se decidió escoger todos los municipios con un indicador mayor a 1.5, estableciendo este punto de corte a partir del promedio geométrico del indicador de importancia relativa. A diferencia del promedio aritmético, que puede verse afectado por valores atípicos, el promedio geométrico proporciona una medida más robusta del comportamiento central cuando se trabaja con razones o proporciones como es en nuestro caso, lo cual permite establecer un umbral más representativo, evitando que pocos municipios con valores extremos distorsionen la interpretación general. El uso de esta medida indica cuántas veces la proporción municipal supera la departamental (el valor de 1.5 indica que la proporción es 50% mayor), materializando así un enfoque de comparación relativa. Con este ejercicio, de los 165 municipios, obtenemos que 29 son destinos turísticos^[12].

Construcción del modelo gravitacional

Con el fin de obtener el volumen potencial de los flujos de turismo entre los diferentes municipios se construyó el siguiente modelo gravitacional:

$$F_{od} = \frac{P_o \times E_d}{D_{od}}$$

En este modelo, la interacción se determina por el producto de la población total del municipio de origen (P_o) y el número empresas de turismo del destino (E_d). Esto sugiere que la "fuerza" de interacción entre los municipios está directamente relacionada con que tan atractivo es un lugar para visitar, medido por empresas de turismo. Por otro lado, este resultado se divide por la distancia en tiempo (D_{od}) entre el par de municipios, lo que representa el costo de la interacción. Así, la fórmula implica que una mayor "interacción" (entendida como una relación potencial entre municipios por turismo) se producirá cuando el municipio de origen tiene una

[11] Se revisó la alternativa de incluir potencialmente otros códigos CIU relacionados con transporte, alimentación y/o entretenimiento; sin embargo, se encuentra que esta aproximación puede generar distorsión tanto en la definición del destino turístico (importancia relativa), así como en el modelo gravitacional por la incidencia en el "tamaño" del cuerpo - municipio.

[12] Para ver el listado de los 29 municipios con su respectivo indicador relativo ver el **Anexo 2.4.2D - Destinos turísticos** localizado en la carpeta de esta Variable

población grande y el destino tiene una oferta amplia de turismo, mientras que esta relación disminuirá a medida que el tiempo de viaje entre ellos aumente.

A partir de este ejercicio, se construyeron los flujos intermunicipales de turismo usando un modelo gravitacional, que arroja en primera medida una matriz 165 x 165 de volumen absoluto de dichos flujos, mostrando las relaciones entre todos los municipios (ver **Anexo 2.4.2A - Matriz de volumen de turismo**).

Posteriormente, con base en esta fuente, se definió un indicador relativo de dependencia turística para cada par de municipios *i* y *j*, calculado de la siguiente forma:

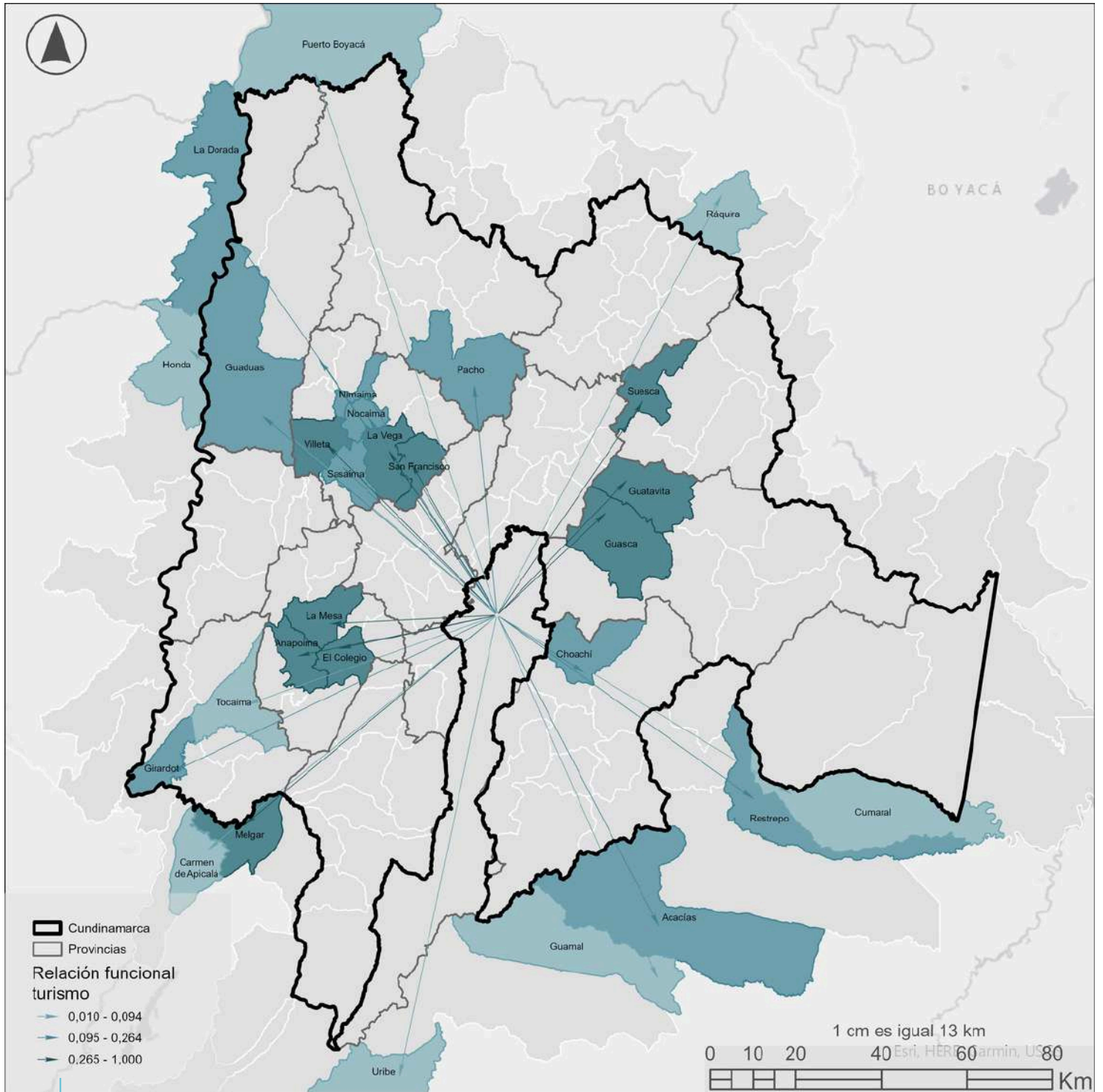
$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Flujo entre municipio obtenido entre } i \text{ y } j}{\max (\text{Todos los flujos del modelo gravitacional})}$$

Este indicador busca capturar los patrones de movilidad funcional asociados al turismo que en este caso específico están asociados a lugares considerados destinos turísticos y la población de un municipio. A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos (ver **Anexo 2.4.2B - Matriz simétrica de turismo**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. Los mapas concentran las 30 relaciones funcionales de viajes de turismo de mayor intensidad con origen en Bogotá, aclarando que esta selección para la visualización se realizó con el fin de mostrar de manera comprensible el top 30 de las relaciones en 3 categorías: alta, media y baja para los dos indicadores (ver **Mapa 10**).

▶ Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 10 – Relaciones funcionales turismo con Bogotá
Relación funcional de turismo con Bogotá



El indicador relativo indica qué tan fuerte es la relación de turismo entre una pareja de municipios en comparación con las los flujos más intensas de toda la región.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Registro Único Empresarial y Social (RUES, 2024) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2023).

El modelo muestra que el único municipio de Cundinamarca que tiene una relación de contigüidad con Bogotá para esta variable es Choachí. Por otro lado, los municipios de Villeta, La Vega y Melgar son los principales destinos del turismo y representan el 20,5% del flujo total potencial de turismo que sale de Bogotá^[13].

La metodología seleccionada, dadas las limitaciones de información de flujos de viajes por motivos de turismo para todos los municipios del departamento, puede omitir algunas dinámicas del sector. Por ejemplo, el uso de la base de registro mercantil como insumo principal para la definición de los municipios de intensidad turística, puede subestimar los flujos de atractivos como la Catedral de Sal en Zipaquirá o algunos atractivos naturales que no tienen registro empresarial. El Departamento de Cundinamarca está construyendo un inventario patrimonial que podría ser un buen complemento, pero se encuentra disponible solo para un subconjunto de municipios, en el momento que se tenga para todos los municipios podría hacerse una actualización del modelo. En todo caso, la estimación realizada captura buena parte de los flujos y dinámicas esperadas.

2.4.3 Internacionalización

Para el análisis de los flujos de internacionalización se revisaron dos fuentes principales, las cuales permitieron identificar los municipios con mayor participación en las exportaciones realizadas a través del Aeropuerto Internacional El Dorado durante el año 2024:

- ▶ **Base de Exportaciones DIAN 2024:** este registro contiene el detalle de todas las operaciones de exportación efectuadas a través del Aeropuerto Internacional El Dorado en Bogotá, incluyendo información como el NIT de la empresa exportadora, el país de destino y las fechas de la operación. Esta base fue esencial para identificar qué empresas estuvieron vinculadas con procesos de exportación en dicho periodo.
- ▶ **Registro Único Empresarial y Social (RUES) corte enero 2025:** esta base permitió identificar el domicilio municipal registrado de cada empresa exportadora mediante su NIT. De esta manera, fue posible asociar cada operación de exportación al municipio de origen empresarial.

Para estimar el flujo de relaciones de exportación entre los municipios de interés y Bogotá —considerado el único destino posible en la región por su rol como puerto internacional— se tomó como base el volumen de empresas que realizaron exportaciones durante el año 2024 desde alguno de los 164 municipios analizados. A partir de esta información, se construyó una matriz de valor absoluto que presenta el número de empresas exportadoras por municipio (ver **Anexo 2.4.3 - Matriz de volumen de internacionalización**).

[13] La metodología seleccionada, dadas las limitaciones de información de flujos de viajes por motivos de turismo para todos los municipios del departamento, puede omitir algunas dinámicas del sector. Por ejemplo, el uso de la base de registro mercantil como insumo principal para la definición de los municipios de intensidad turística, puede subestimar los flujos de atractivos como la Catedral de Sal en Zipaquirá o algunos atractivos naturales que no tienen registro empresarial. El Departamento de Cundinamarca está construyendo un inventario patrimonial que podría ser un buen complemento, pero se encuentra disponible solo para un subconjunto de municipios, en el momento que se tenga para todos los municipios podría hacerse una actualización del modelo. En todo caso, la estimación realizada captura buena parte de los flujos y dinámicas esperadas.

Con el fin de obtener un indicador relativo de internacionalización que permitiera medir el grado de inserción internacional del tejido empresarial de cada municipio, no solo en términos absolutos (cuántas empresas exportan), sino también en términos relativos (cuánto representa el grupo exportador dentro del conjunto empresarial municipal), se definió la siguiente fórmula:

Indicador relativo

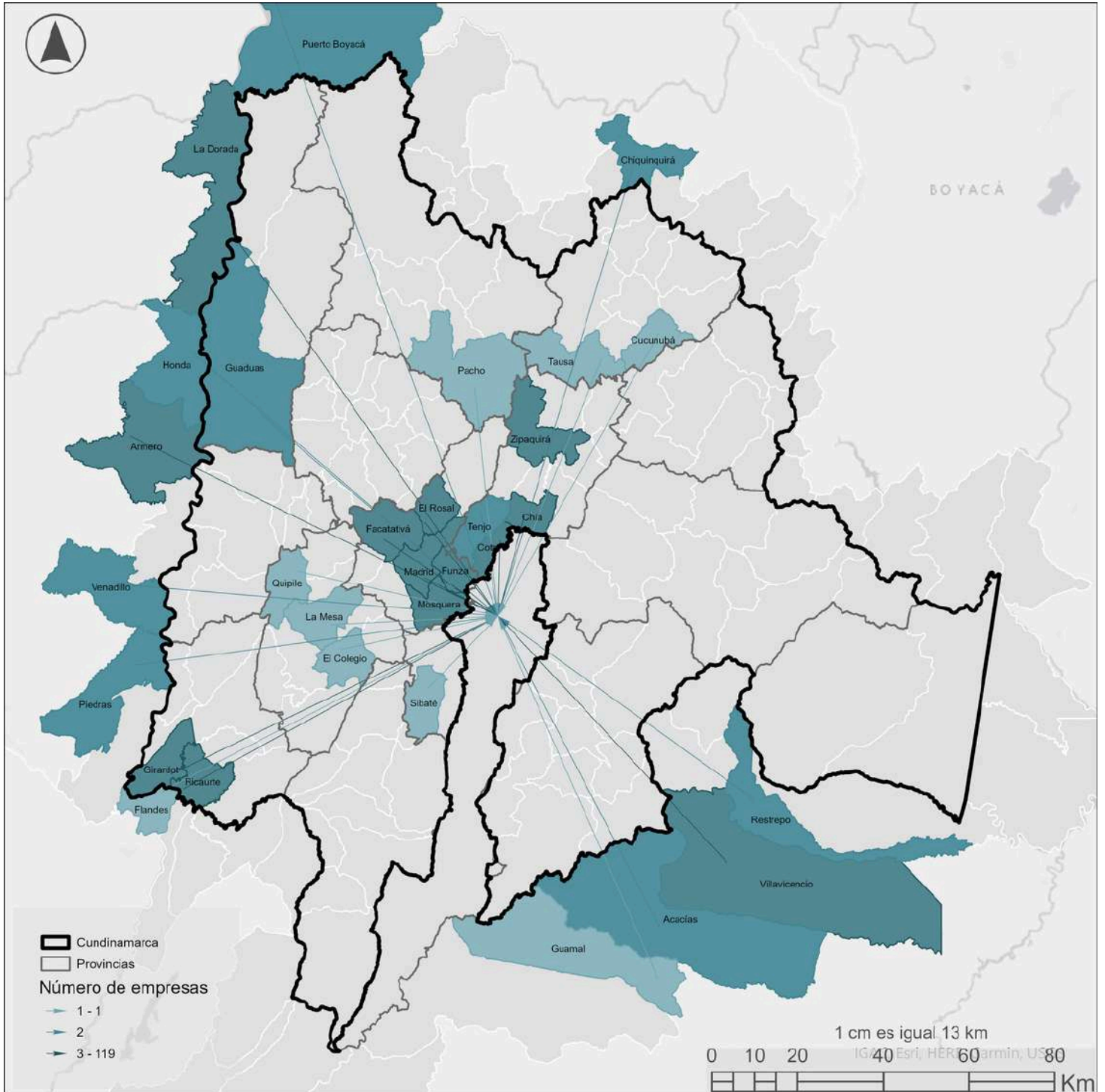
$$= \frac{\text{Número de empresas exportadoras con domicilio en un municipio (a través de El Dorado)}}{\text{Total de empresas registradas en ese municipio}}$$

El uso de este indicador responde a la necesidad de hacer comparables los niveles de internacionalización entre municipios con tamaños empresariales diversos. Por ejemplo, aunque Bogotá concentra el mayor número absoluto de empresas exportadoras, este volumen debe ser puesto en contexto con la base empresarial total del distrito para no sobreestimar su peso relativo. De esta manera, un municipio más pequeño podría tener un menor número absoluto de empresas exportadoras, pero una proporción mayor respecto a su universo empresarial, revelando una especialización o vocación exportadora que vale la pena considerar.

Este enfoque facilita la identificación de municipios con mayor dinamismo internacional en relación con su tamaño y estructura económica, y permite construir una matriz de internacionalización simétrica entre pares de municipios (ver **Anexo 2.4.3 - Matriz simétrica de internacionalización**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. Los mapas concentran las 30 relaciones funcionales de exportaciones con destino a Bogotá, considerando que este es el único puerto internacional de la región. El **Mapa 11.1** muestra los valores del volumen, y el **Mapa 11.2** presenta los 30 mayores flujos del indicador normalizado.

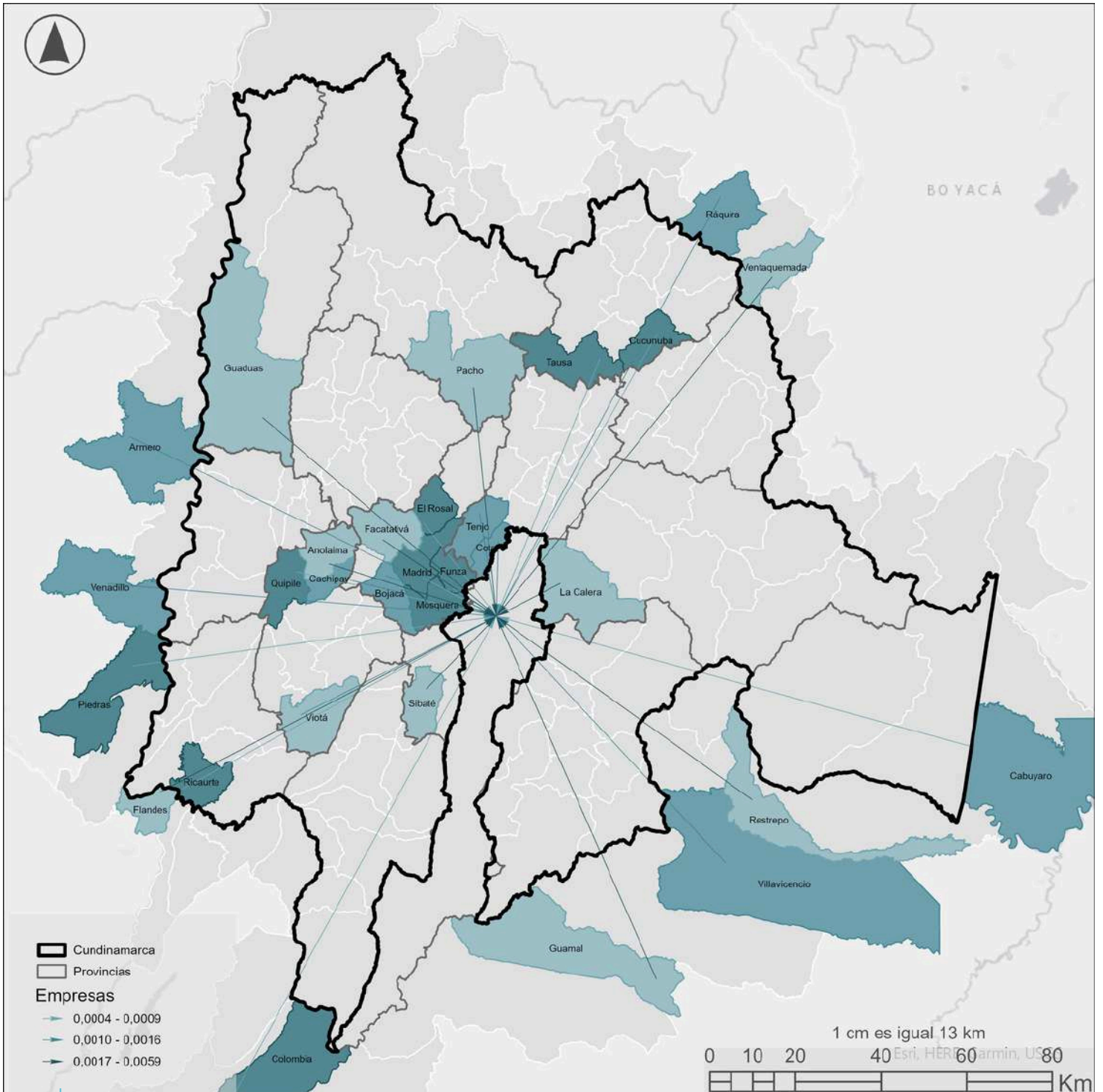
Mapa 11.1– Relaciones funcionales de exportaciones con Bogotá
Número de empresas



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA, 2025) y del Registro Nacional de Despacho de Carga por Carretera (RNDC, 2023).

▶ Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 11.2 – Relaciones funcionales exportaciones con Bogotá
Empresas



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN, 2024).

Se identificó que 42 municipios registran flujos comerciales de exportación hacia Bogotá^[14], lo que significa que, de acuerdo con los datos del Registro Único Empresarial y Social (RUES), en estos municipios existen empresas que realizan actividades de exportación. Entre ellos, Villavicencio destaca como el municipio con el mayor número de empresas exportadoras, seguido por Funza y, en tercer lugar, Mosquera.

Vale la pena resaltar el papel que tiene el Aeropuerto Internacional El Dorado para la competitividad de Bogotá-Región, debido principalmente a las condiciones de conectividad con los núcleos urbanos de Bogotá y los municipios vecinos, el liderazgo en carga y pasajeros, y su articulación con la vocación exportadora de la ciudad^[15]. Según datos de la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá (2025), El Dorado es el primer aeropuerto de América Latina en carga aérea movilizada (776 mil toneladas anuales, el 70% del total nacional) y en número de pasajeros (45 millones al año). Esto, así como su relación contextual con Bogotá y Funza^[16], principalmente, hacen de esta infraestructura aeroportuaria un factor clave en el desempeño económico de la RMBC.

2.5 Temática: Servicios Públicos

El análisis de relaciones funcionales de la temática de servicios públicos se construye a partir de las dinámicas en las que se puede estimar una relación de origen-destino claro entre municipios con el objetivo de prestar servicios públicos domiciliarios, centrados en dos componentes: acueducto y disposición final de residuos sólidos. En el **Anexo 1.2 - Fuentes desestimadas**, se hace el recuento de la exploración para el cálculo de los flujos de energía eléctrica, principalmente con datos públicos de XM, siendo imposible su adaptación para los propósitos del estudio.

[14] Es importante tener en cuenta que estos resultados no se pueden comparar con los resultados de transporte de manufacturas. La diferencia en los resultados se debe a la fuente y naturaleza de las variables utilizadas en cada modelo. Para el indicador de internacionalización se usó como base el RUES, a partir del cual se identificaron las empresas registradas como exportadoras, tomando el municipio del domicilio asociado al NIT de cada empresa, lo cual permitió estimar la capacidad exportadora relativa por municipio, según su localización formal.

En contraste, el modelo de transporte de manufacturas se construyó a partir de los datos del RNDC del Ministerio de Transporte, que recopila los manifiestos de carga del transporte público terrestre por carretera. Esta fuente registra directamente los municipios de origen y destino de los despachos reales de mercancías. Por tanto, mientras el indicador de internacionalización refleja el potencial exportador según la ubicación administrativa de las empresas, el indicador de transporte de manufacturas captura los flujos efectivos de carga, lo cual explica que los resultados difieran en cobertura y número de municipios identificados.

[15] De acuerdo con información reportada por la Secretaría Distrital de Planeación en los boletines del programa Bogotá Ciudad Portuaria (2025), Bogotá exporta el 8% de su PIB, una proporción similar a la de Nueva York (9%) y considerablemente superior a la de otras metrópolis latinoamericanas como Ciudad de México (2,5%) y Santiago (1,5%), lo que refleja su especialización logística y su vocación de plataforma internacional.

[16] A partir de información consultada sobre las áreas concesionadas del Aeropuerto Internacional El Dorado (OPAIN, 2016), es decir, el área que ocupa el equipamiento, el 76.1% está dentro de Bogotá y el 23.9% restante en el municipio de Funza; lo cual se toma como indicativo de una relación funcional dada por la operación actual y futura del aeropuerto, y que será explorada con detalle en el producto 3 del estudio.

2.5.1 Servicio público de acueducto

La estimación de las interdependencias por la prestación del servicio público de acueducto parte del estudio del consumo de agua potable en los municipios, teniendo en cuenta el volumen que se consume en cada lugar con su respectivo origen, logrando construir un rastreo de la distribución del agua para la prestación del servicio que se usa en el ámbito estudiado.

La estimación de interrelaciones hídricas entre municipios en materia de acueducto se fundamenta en datos de consumo y transferencias de agua reportadas entre municipios, que además se complementa con una comprensión integral del sistema al incorporar datos de captación y de venta de agua en bloque. Esta decisión metodológica responde a la intención de comprender la prestación del servicio de acueducto en su totalidad, incluyendo el origen del recurso y sumando a eso otras formas de distribución relevantes para los municipios como el agua en bloque.

Además, la relación administrativa y operativa del servicio de acueducto suele desvincularse del origen del agua, priorizando el flujo efectivo de suministro entre entidades prestadoras y usuarios finales. Por ejemplo, Bogotá a través de su Empresa de Acueducto y Alcantarillado obtiene recurso hídrico de 3 Subsistemas: Agregado Norte (Embalses Neusa, Sisga y Tominé), Chingaza (Embalses Chuza, San Rafael y subsistema Río Blanco) y Agregado Sur (Embalse La Regadera y Chisacá) (EEAB, 2021). En otras secciones se profundiza en los flujos de las relaciones funcionales del ecosistema productor de agua y de los municipios que cuentan con fuentes hídricas. Sin embargo, al enfocarse en el servicio público esta sección opta por una metodología centrada en los vínculos funcionales derivados del intercambio de agua entre municipios, así como en la captación o en las transacciones existentes para la distribución del recurso. A través de las distintas etapas existe trazabilidad disponible y verificable en aspectos tales como los contadores de consumo de las personas que habitan los territorios, los caudales concesionados o los metros cúbicos de agua vendidos.

Ahora bien, con respecto al alcantarillado, si bien se reconoce de entrada que este es un componente esencial en la gestión del agua y en la salud pública, resulta muy difícil analizar su comportamiento territorial por la ausencia de información detallada y sistemática. No existen registros consistentes para al menos la totalidad de los municipios de Cundinamarca que permitan saber, por ejemplo, si un municipio vierte sus aguas residuales en otro, si hay plantas de tratamiento compartidas, o cuánta carga contaminante se genera, capturado en registros similares a los de precipitación, por ejemplo. Además, a diferencia del acueducto, donde suele haber datos claros sobre cuánta agua se consume y qué municipio le suministra a otro, en el caso del alcantarillado no hay trazabilidad sobre el flujo de las aguas residuales ni sobre la infraestructura compartida.

Por esta razón, las interrelaciones derivadas del vertimiento se abordan parcialmente en el capítulo de análisis de cuencas hidrográficas, ya que estas permiten identificar territorios que comparten un mismo sistema hídrico y, por tanto, podrían estar expuestos a impactos ambientales cruzados derivados del manejo inadecuado de

aguas residuales, que serán tenidos en cuenta en el análisis de recomendaciones para la gobernanza de las relaciones funcionales e interdependencias.

Dado lo anterior, como fuente principal, se cuenta con la base de los consumos históricos de agua potable entre 2014 y 2023 publicada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, donde se encuentran registrados los consumos municipales, asociados a cada uno de los estratos. Además, para cada municipio, se establece la empresa proveedora de agua potable, con lo cual, se cuenta con la información de origen-destino entre empresas prestadoras de servicios públicos y los municipios donde realizan la prestación.

Luego, con el fin de entender el origen municipal de las empresas prestadoras del servicio, se anexó al estudio el municipio de origen del prestador a través del Registro Único de Prestadores de Servicios Públicos. A partir de esta fuente se pudo completar la información para entender qué municipios prestan servicios de acueducto o de distribución de agua potable a otros municipios, entendiendo que hay lógicas de provisión como los acueductos veredales, que quedan por fuera de la medición pues no configuran flujos de origen – destino que son el centro del estudio.

Por último, esta sección se complementó con el listado de municipios de captación, estableciendo 23 puntos en 6 municipios: Bogotá, Tocancipá, La Calera, Sopó, Fómeque y Guasca; con sus correspondientes caudales concesionados y con los municipios del esquema de Suministro de Agua Potable e Interconexión -SAPEI. Se debe aclarar que, a pesar de que unidades de medida como consumo del hogar, caudal concesionado o metros cúbicos vendidos no son equiparables entre sí, para efectos de la interdependencia se marcan como interdependientes todos aquellos municipios que hacen parte del sistema.

A partir de este análisis, se construyeron los flujos intermunicipales de acueducto, identificando el valor del flujo de metros cúbicos de agua que un municipio consume y que son llevados a este a través de un operador de servicios públicos de otro municipio.

Como se mencionó anteriormente, se incorporaron los municipios de Suministro de agua potable e interconexión (SAPEI), los cuales constituyen flujos a partir del suministro de agua en bloque, la cual es recibida y transportada de un municipio a otro por parte, en este caso, de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Vale aclarar que, dado que la venta de agua en bloque constituye un hito de la distribución y no del consumo, los municipios son incorporados como interdependientes en términos absolutos de 1 y 0, sin estimar los volúmenes de las transacciones. Lo anterior debido a que los datos de distribución no son comparables con los del consumo al no existir indicadores municipales claros sobre las pérdidas que existen entre estos dos momentos de la prestación del servicio de acueducto.

Se debe aclarar que, para los municipios que cuentan con un origen propio del consumo del agua o que basan su sistema en acueductos veredales o de otro tipo el flujo toma un valor de 0. Esto debido a que los acueductos veredales tienen como

origen el mismo municipio donde se presta el servicio, por lo tanto, no se constituye una relación funcional con otros municipios.

Estos flujos fueron insumo para construir la matriz 165 x 165 de volumen absoluto, mostrando las relaciones entre todos los municipios (ver **Anexo 2.5.1A - Matriz de volumen de acueducto**).

Una vez se obtuvo el volumen de metros cúbicos de agua que cada municipio entrega a otro para consumo residencial, se puede obtener el valor relativo del volumen, entendiendo así la importancia o grado de interdependencia. El valor relativo de acueducto se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Consumo de agua en } m_i^3 + \text{Consumo de agua en } m_j^3}{\text{Min}(\text{Consumo de agua en } m_{ij}^3)}$$

De esta forma, se observa qué tanto consumo de un municipio depende de otro municipio. En caso de obtener un indicador de 1 se muestra que todo el consumo de agua del municipio depende de la prestación que hace un operador de servicios públicos en otro municipio.

Una vez se calcularon los indicadores para cada flujo de municipios, se tomaron los resultados de cada pareja de flujos de municipios y se promediaron. A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos de acueducto (ver **Anexo 2.5.1B - Matriz simétrica de acueducto**). Para el caso de las relaciones de captación y distribución SAPEI, estas se convierten en interdependencia directa como se ha descrito anteriormente.

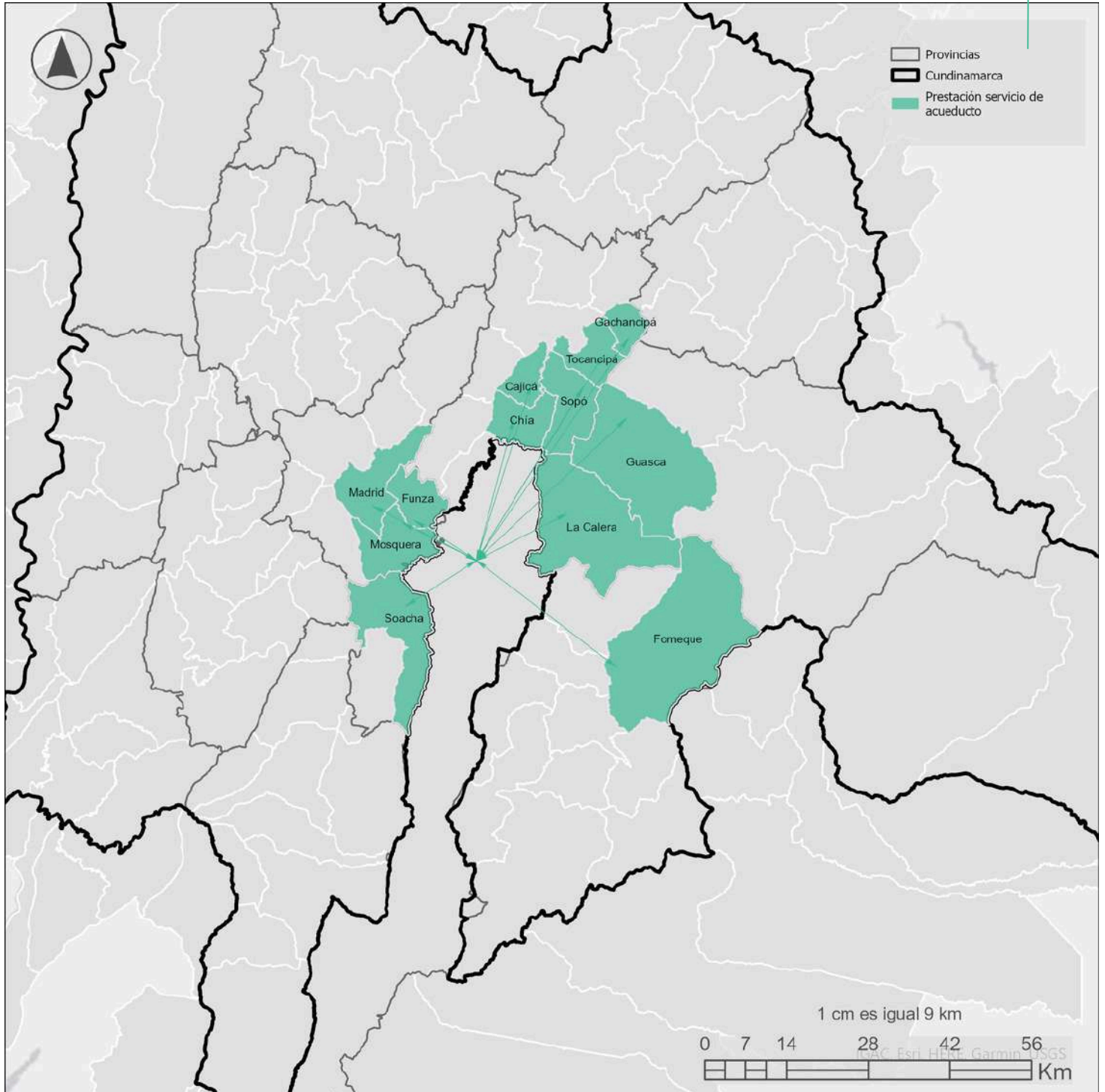
A continuación, en el **Mapa 12**, presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable, encontrando las relaciones funcionales de mayor intensidad en la provisión del servicio de acueducto con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

► Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 12- Relaciones funcionales de prestación del servicio de acueducto con Bogotá

Prestación de servicio de acueducto

Se señalan los municipios que entran en el corte de los municipios interdependientes con Bogotá por la prestación de servicio de acueducto.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema Único de Información de la Superintendencia de Servicios Públicos (SUI, 2016 - 2023).

Como caso relevante, Bogotá destaca como el principal nodo de origen, al proveer el servicio a once municipios del departamento a través de su Empresa de Acueducto y Alcantarillado^[17]. Vale aclarar que, pese a que la empresa es de Bogotá, la captación no ocurre en esta entidad territorial, sino en municipios del margen oriental de Bogotá a través de los embalses del sistema Chingaza como San Rafael y Chuza, específicamente en 5 que se encuentran en el mapa: Fómeque, Guasca, Tocancipá, La Calera y Sopó. En ese sentido, es importante complementar el análisis con la información presentada en el estudio de cuenca y de áreas protegidas de ecosistemas, aspectos que explican la relación funcional del agua desde la comprensión de la topografía, las escorrentías y pluviosidad.

2.5.2 Servicio público de disposición final de residuos

La disposición final de residuos sólidos permite entender dónde son dispuestos los residuos que se generan en un lugar. En ese sentido, el flujo estudiado corresponde a la relación entre el municipio donde se origina un residuo y el municipio donde se hace la disposición final^[18].

La Superintendencia de Servicios Públicos cuenta con la serie histórica del informe nacional de disposición final^[19], en el que se describe por cada municipio cuál fue su generación de residuos sólidos por tonelada y por año y en qué municipio dispuso ese residuo. A través de este registro, se puede establecer las relaciones entre municipios, teniendo claridad incluso del nombre del sitio específico donde se dispone.

Para aquellos municipios que cuentan con un lugar propio de disposición final de residuos sólidos se toma un valor de 0. A partir de estos flujos se construye la matriz 165 x 165 de volumen absoluto, mostrando las relaciones entre todos los municipios (ver **Anexo 2.5.2A - Matriz de volumen de disposición final de residuos**).

Una vez se obtuvo el volumen de toneladas de residuos sólidos que cada municipio dispone en un lugar de otro municipio, se obtiene el valor relativo del volumen a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Toneladas de residuos generados}_i + \text{Toneladas de residuos generados}_j}{\text{Min}(\text{Toneladas de residuos generados}_i, \text{Toneladas de residuos generados}_j)}$$

El indicador muestra si toda la disposición de residuos de un municipio depende exclusivamente del municipio destino de esos residuos, caso en el que el indicador es 1. Una vez se calcularon los indicadores para cada flujo de municipios, se tomaron los indicadores de cada pareja de flujos de municipios y se promediaron.

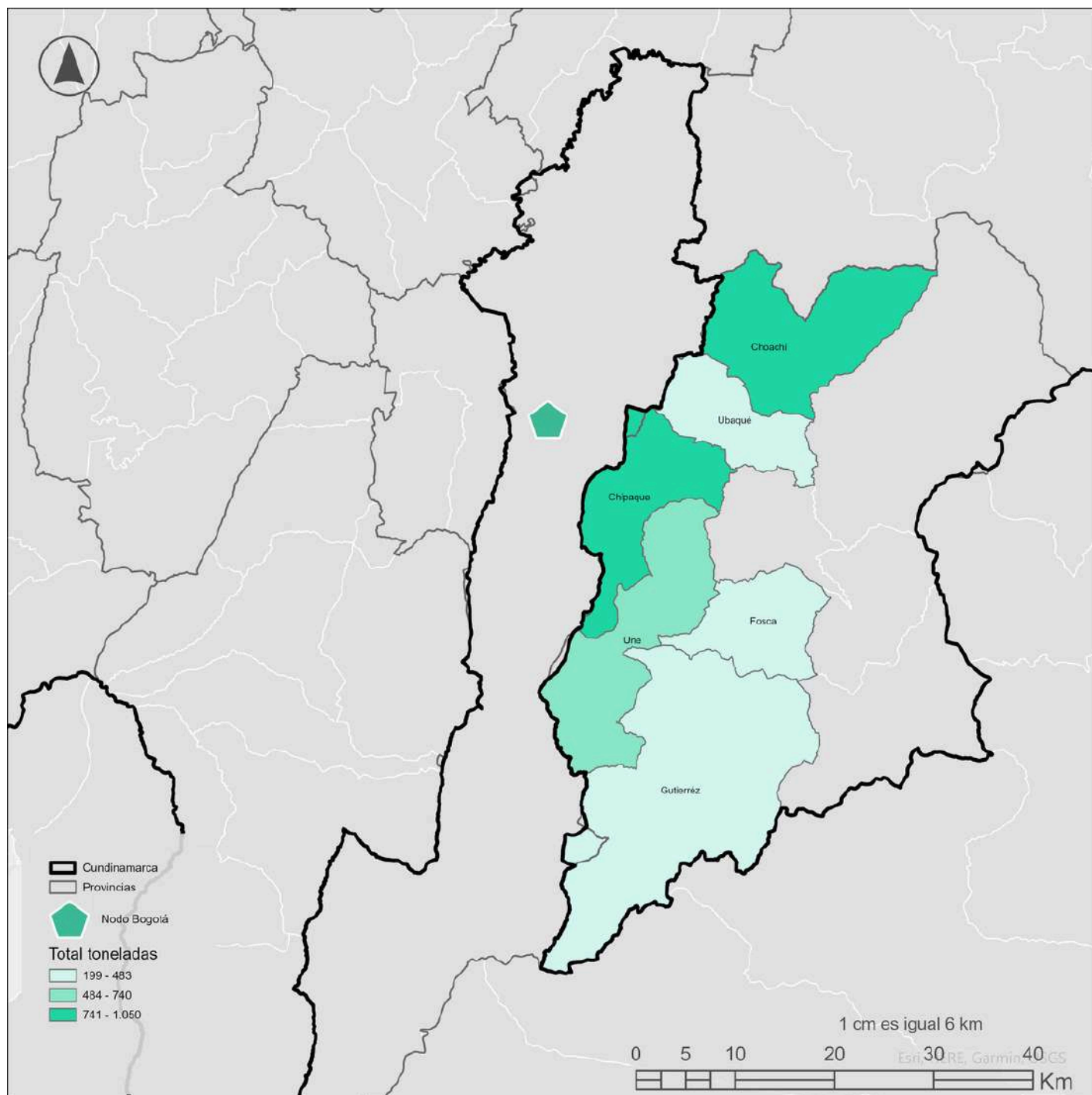
[17] Se señala que a los municipios de Tabio y Cota se les suministra el servicio de acueducto por la empresa Aguas de la Sabana de Bogotá.

[18] Vale la pena resaltar el desafío logístico que implica transportar residuos sólidos desde lugares como Villeta (850 msnm) hasta Mondoñedo (2.700 msnm), lo que profundiza aún más los vínculos funcionales entre los territorios y deben ser tenidos en cuenta en las recomendaciones de gestión de esta variable.

[19] Se reconoce la importancia de las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento de residuos sólidos en la operación de los modelos de aseo de los municipios. Sin embargo, desde la perspectiva de la estimación de flujos origen – destino para determinar relaciones funcionales entre municipios, no se encontró información sobre el tránsito de residuos aprovechables por parte de ninguna autoridad en la materia, u otros registros administrativos recopilados por la RMBC.

AA partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos de acueducto (ver **Anexo 2.5.2B - Matriz simétrica de disposición final de residuos**). continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. Los mapas concentran las relaciones funcionales de los municipios que disponen sus residuos en Bogotá, tanto para el indicador absoluto como relativo antes explicados (Ver **Mapa 13.1** y **Mapa 13.2**).

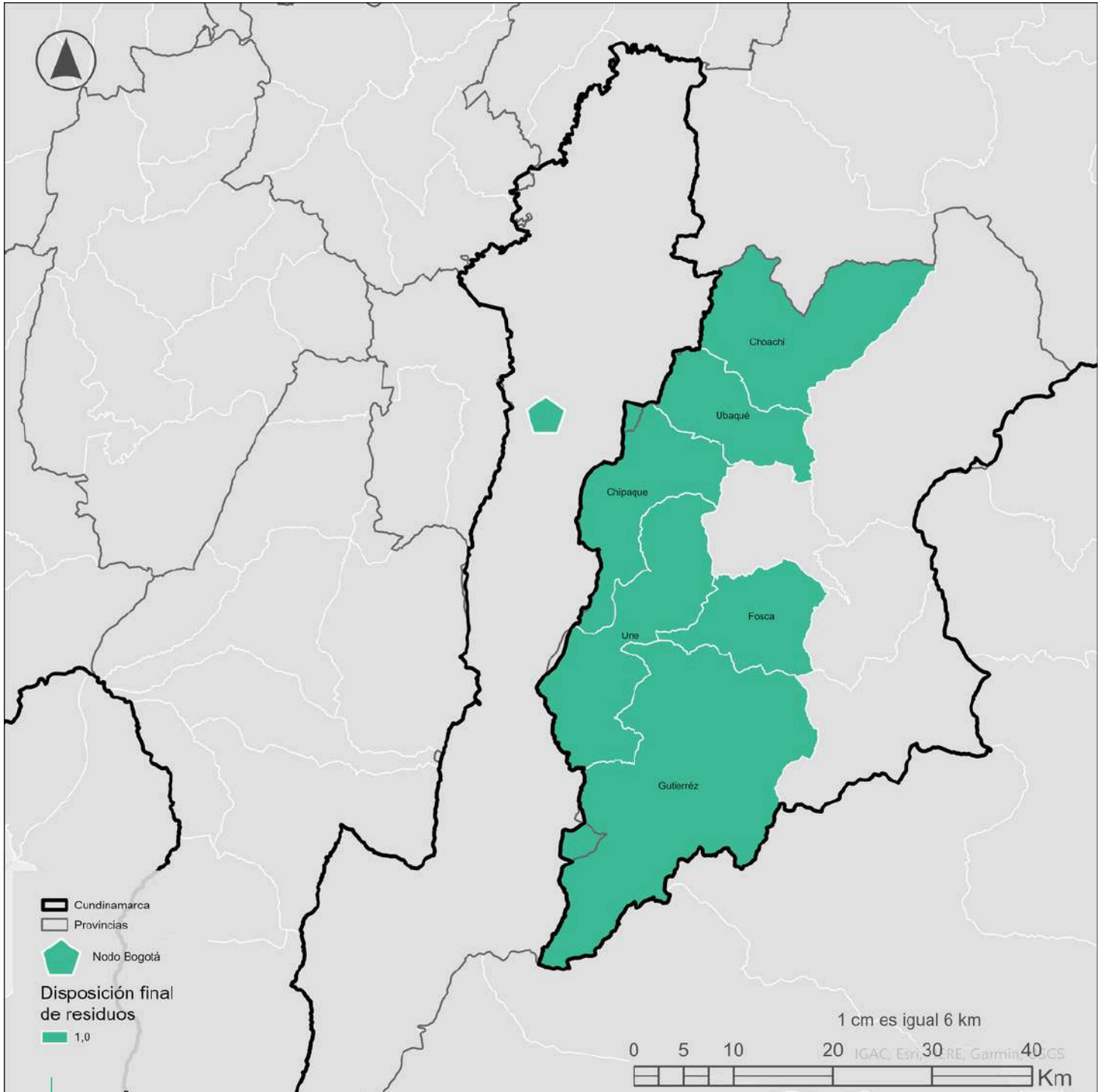
Mapa 13.1 - Relaciones funcionales de disposición final de residuos con Bogotá
Total toneladas disposición de residuos



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema Único de Información [SUI] de la Superintendencia de Servicios Públicos (2016 - 2023).

▶ Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 13.2 - Relaciones funcionales de disposición final de residuos con Bogotá
Disposición final del residuos



Se señalan los municipios que entran en el corte de los municipios interdependientes con Bogotá por la prestación de servicio de aseo.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Sistema Único de Información [SUI] de la Superintendencia de Servicios Públicos (2016 - 2023)

En cuanto a la disposición de residuos, se identifican seis municipios que realizan esta actividad en Bogotá, mostrando una dependencia total del acuerdo de prestación del servicio existente. Fuera del área de influencia directa de Bogotá, Bojacá, Girardot y La Dorada emergen como nodos regionales de disposición final, siendo Bojacá el de mayor concentración de relaciones. En conjunto, estos patrones reflejan un entramado de interdependencias territoriales en los servicios públicos, en donde si bien Bogotá cumple un rol importante en el modelo del servicio regional, coexiste con otros nodos supramunicipales que sostienen la funcionalidad del sistema a escalas más amplias.

2.6. Temática: Ambiental

La temática se aborda a partir de los flujos observables y/o estimados de dos variables: Hidrología y flujos ecosistémicos asociados a las áreas protegidas. La primera, como se explicará en detalle, se basa en un modelo de elevación digital que incorpora el volumen de las precipitaciones y la producción de agua en los páramos para estimar los flujos hídricos; y la segunda en un modelo de contigüidad propuesto por RIMISP (2019) basado en las proporciones de áreas compartida de elementos ambientales que se definan de interés, donde la contigüidad de ecosistemas estratégicos se considera una buena proxy de los flujos ecosistémicos existentes entre ellas.

2.6.1 Hidrología

La metodología empleada para estimar interdependencias hidrometeorológicas entre municipios se fundamenta en el uso combinado de un modelo digital de elevación y series temporales de precipitación observada por un periodo de 10 años, aprovechando los registros que tiene Colombia, que cuentan con detalle de minutos. Esta aproximación, aunque indirecta, ofrece una alternativa técnica robusta para identificar relaciones funcionales hídricas. A través del análisis del relieve y los patrones de lluvia, se logra representar de manera consistente el flujo potencial de agua entre territorios y su contribución relativa dentro del sistema hidrológico regional.

Metodología de cálculo

El proceso comienza con la reproyección y recorte del Modelo de Elevación Digital (DEM), adaptándolo al sistema de coordenadas EPSG:3116 y restringiéndolo a los límites administrativos del área de estudio. Posteriormente, el modelo es procesado para eliminar inconsistencias y habilitar su análisis con algoritmos hidrológicos especializados. A partir de este insumo, se calcula la dirección de flujo mediante el método D8, el cual define la trayectoria del agua en función del gradiente de pendiente. Con esta base se construye una matriz de acumulación de flujo que indica, para cada celda, la cantidad de superficie que drena hacia ella.

Este análisis topográfico es fundamental, pues permite inferir una red de escorrentía superficial basada en las características reales del terreno, sin necesidad de delimitar cuencas explícitas ni recurrir a modelos teóricos de red fluvial. A diferencia de los enfoques que dependen de unidades hidrográficas administrativas o de registros fragmentarios de infraestructura hidráulica, este método se apoya en información

primaria y replicable, con cobertura continua y resolución suficiente para captar relaciones espaciales de detalle.

En paralelo, se procesan registros de precipitación provenientes de estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio, integrando millones de observaciones con técnicas optimizadas de lectura y agregación. Cada estación es georreferenciada y asignada al municipio correspondiente, donde, a partir de esta ubicación, y utilizando el modelo de dirección de flujo previamente calculado, se identifica aguas abajo qué otros municipios podrían estar recibiendo los aportes superficiales generados por las lluvias medidas en cada punto.

El cruce entre las rutas de escorrentía y los volúmenes de lluvia observados permite construir una matriz de aportes intermunicipales, que vale la pena resaltar, no refleja transferencias físicas directas como en un sistema de acueducto, sino una interdependencia funcional basada en el comportamiento natural del agua sobre el relieve^[20]. Es decir, muestra cuánto de la precipitación que cae en un municipio tiene el potencial de afectar hidrológicamente a otro, en términos de escorrentía superficial. Esta estimación se realiza para cada año disponible, permitiendo además identificar patrones temporales de dependencia.

De manera complementaria, se toma la capa de páramos del Registro único de Áreas Protegidas RUNAP del Ministerio de Ambiente (2025), y con base en ella se incorpora al cálculo un supuesto de producción de 8.000 metros cúbicos^[21] de agua por hectárea de páramo en 1 año, el cual busca incorporar en el modelo las formas complejas de producción y gestión del agua (Guhl, 2013). Para operacionalizar esta variable, se fragmentó la capa de páramos en polígonos de Thiessen con el fin de asignar a cada unidad el cuerpo de agua más próximo con base en el modelo de elevación. A cada polígono de Thiessen se le imputó el valor de producción de agua, y de esta manera se asignó el municipio de destino según la dirección del cuerpo de agua, y en caso de que no hubiera una dirección clara, se imputó el valor al municipio vecino, bajo un principio de contigüidad espacial.

Este enfoque metodológico es especialmente valioso por su capacidad de representar relaciones ocultas o no evidentes entre territorios. En escenarios donde no existen datos de captación, distribución o uso del agua, esta técnica ofrece una aproximación replicable, objetiva y basada en datos medidos directamente en el territorio. Además, la combinación de información topográfica y pluviométrica permite vincular oferta hídrica natural con estructuras de dependencia espacial, generando insumos estratégicos para la planificación regional, la gestión de riesgos y la gobernanza intermunicipal de los recursos hídricos. Adicionalmente, la incorporación del supuesto de producción de agua en los páramos de la región sobre el modelo de elevación

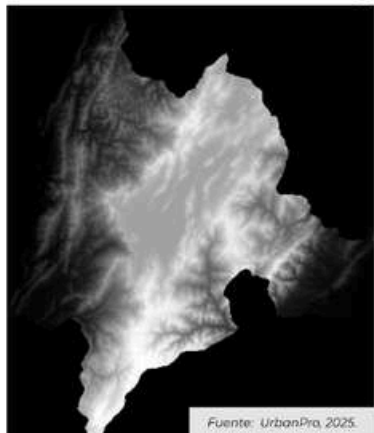
[20] Vale la pena precisar que este indicador establece el potencial hidrológico de la relación funcional, fundamentado en variables físicas como el relieve y la precipitación como se ha explicado. Si bien este cálculo no incorpora variables sobre el estado de conservación de los ecosistemas, sí delimita la base física sobre la cual se manifiestan los servicios ecosistémicos de regulación hídrica. En efecto, es el buen estado de las áreas de importancia ambiental en los municipios lo que asegura que este potencial hidrológico se traduzca en una provisión efectiva y de calidad para el ciclo del agua regional.

[21] Derivado de un análisis de datos de precipitación para los complejos de páramo de Cundinamarca y coeficientes de escorrentía establecidos para el sistema Chingaza (Torres, 2025)

digital, permite complementar el abordaje sobre el ciclo del agua que se capturaba con las mediciones de lluvia. La ilustración a continuación resume el proceso seguido.

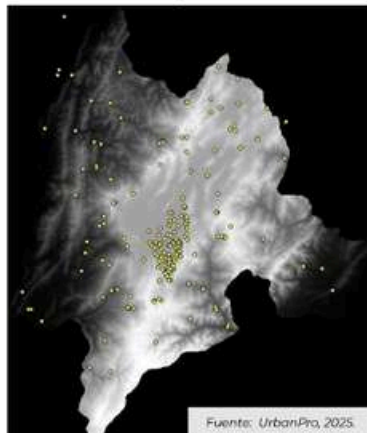
Ilustración 3 - Proceso metodológico hidrología

Construcción modelo de elevación digital



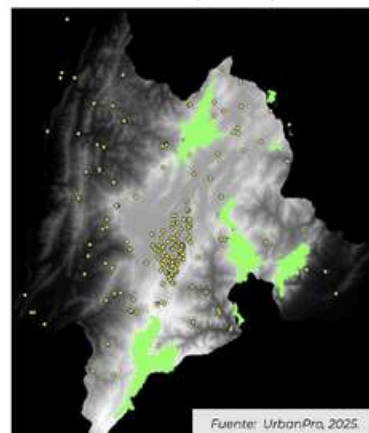
Se calcula la trayectoria del agua en función del gradiente de pendiente. Con esta base se construye una matriz de acumulación de flujo que indica, para cada celda, la cantidad de superficie que drena hacia ella, infiriendo una red de escorrentía superficial basada en las características reales del terreno

DEM + Registros IDEAM



El cruce entre las rutas de escorrentía y los volúmenes de lluvia observados en millones de registros permite construir una matriz de aportes intermunicipales, que muestra cuánto de la precipitación que cae en un municipio tiene el potencial de afectar hidrológicamente a otro, en términos de escorrentía superficial

Producción de agua en páramos



Se fragmentó la capa de páramos en polígonos de Thiessen con el fin de asignar a cada unidad el cuerpo de agua más próximo con el DEM y de esta manera definir el municipio de destino según la dirección del cuerpo de agua. A partir de revisión de literatura sobre precipitación y escorrentía en páramos se asignó el supuesto de 8.000m³/ha/año

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para estimar las interdependencias siguiendo la metodología de incluir los valores observados por encima de la media estadística de las relaciones con Bogotá, se aplicaron las siguientes reglas:

- ▷ Se aplicaron cortes diferenciados según la relación de los municipios con el Río Bogotá: se segmenta entre los municipios cuyas fuentes hídricas son afluentes del río antes de su ingreso a Bogotá (aguas arriba), y aquellos que se ubican aguas abajo y reciben el caudal luego del paso del río por el núcleo urbano. Esta diferenciación permite un análisis más preciso de las interdependencias hídricas, controlando las distorsiones que puedan tener los datos por la cantidad de estaciones de medición de lluvia en los municipios.
- ▷ Se incluyeron municipios con presencia de páramos que hacen parte del sistema de abastecimiento de agua, si bien la relación física corresponde a cuencas distintas, se entiende la importancia estratégica y las relaciones existentes gracias a la acción antrópica con infraestructura como el sistema de trasvase de cuencas^[22].
- ▷ El modelo considera municipios si cumplen con al menos un criterio de inclusión: presencia de páramo o de alta precipitación. En caso de cumplir con alguno, se incorporan automáticamente^[23].

[22] Fómeque, por ejemplo, se reconoce como un municipio clave en el ciclo y flujo del agua en la Región. Sin embargo, debido a las limitaciones explicadas en el modelo, derivadas de la relación con Bogotá y la proximidad de la red de escorrentía para el cálculo de la relación funcional, Fómeque no resulta como interdependiente. En la variable de acueducto se incluye este municipio por su relevancia en la captación.

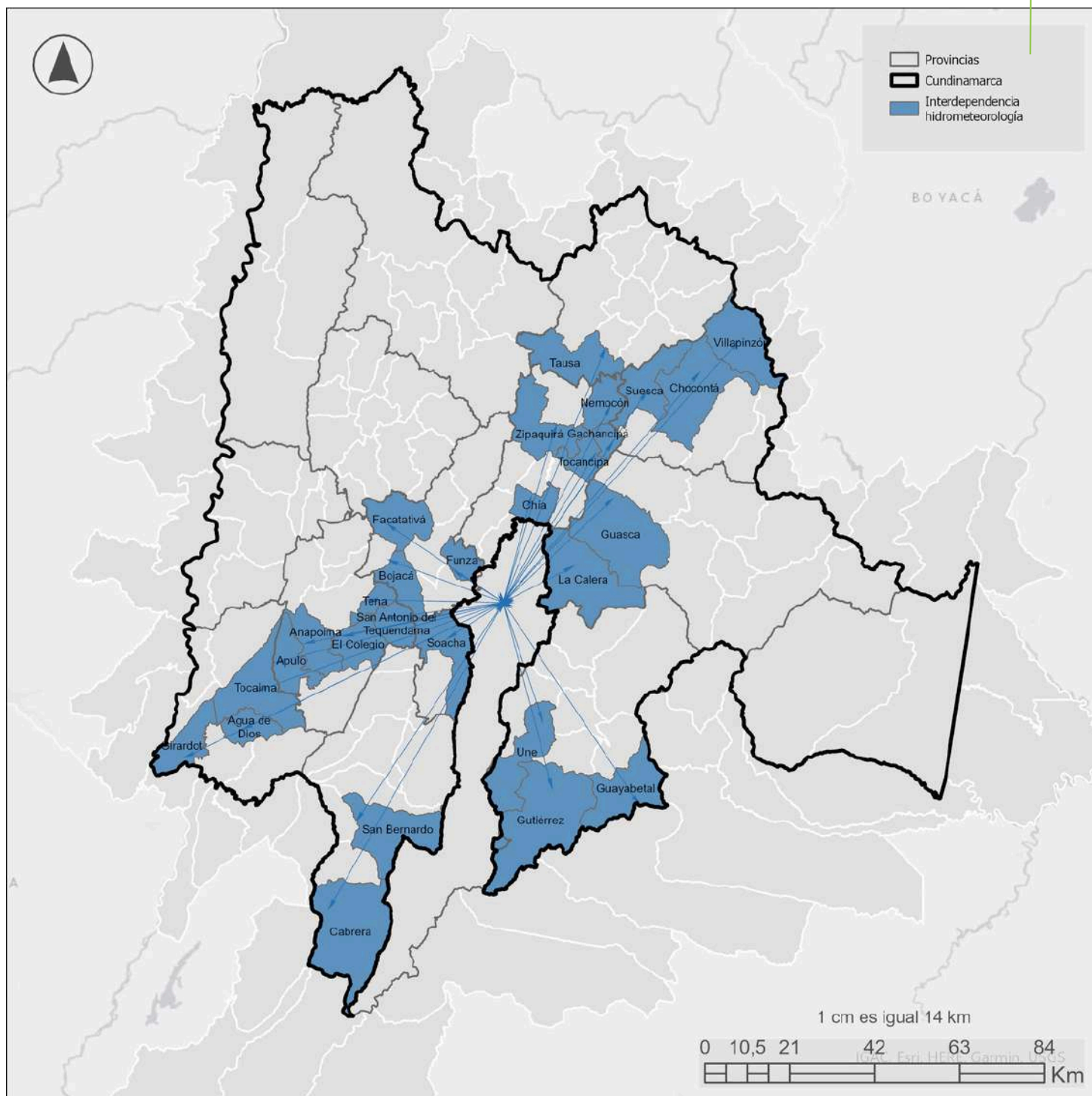
[23] Aunque Bojacá no evidencia valor de relación funcional con Bogotá, el modelo de elevación digital muestra que las aguas que caen allí desembocan en el río Bogotá a través del municipio de Soacha. Sin embargo, debido a la falta de estaciones de medición de lluvia y a que sus afluentes desembocan por el río Balsillas, su análisis presenta limitaciones de observación y debido a esto se considera necesaria su inclusión como interdependencia.

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta Variable. El mapa permite visualizar las 28 relaciones de interdependencias con Bogotá de acuerdo con la metodología de cálculo seguida.

► **Nota: ¿Cómo leer el mapa?**

Mapa 14 - Relaciones funcionales de hidrografía con Bogotá
Interdependencia hidrometeorológica

Se señalan los municipios que entran en el corte de los municipios interdependientes por flujos hidrometeorológicos con Bogotá.



Fuente: UrbanPro, 2025. Con base en CAR (2024).

Los resultados de esta variable permiten una aproximación a partir de la estimación de flujos observables y medibles al ciclo del agua y los conceptos que se plasman en el Hecho metropolitano de ecosistemas vitales de la RMBC, con las limitaciones que se han evidenciado previamente. Permite una aproximación escalable y replicable, a la que se le pueden aplicar nuevos parámetros si existiera información nueva.

2.6.2 Contigüidad ambiental de áreas protegidas

La variable de interdependencia por contigüidad de áreas protegidas evalúa el grado de relación funcional entre pares de municipios con base en la existencia de áreas protegidas compartidas. Se considera que dos municipios presentan un mayor nivel de contigüidad ambiental si ambos participan territorialmente en una misma unidad de conservación, como parques naturales, reservas forestales o santuarios de flora y fauna. Este indicador permite dimensionar la interdependencia ecológica entre territorios a partir de su vinculación a sistemas naturales protegidos.

Metodología de cálculo

- 1 Se utilizó el shapefile correspondiente al Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP), el cual contiene la delimitación espacial de unidades de conservación de carácter nacional y regional.
- 2 Se intersectó esta capa con la capa de municipios a través de un análisis espacial tipo intersection, identificando para cada municipio las áreas protegidas en las que tiene participación territorial. Este procedimiento permitió asociar a cada municipio una o más unidades ecológicas de conservación.
- 3 Para cada unidad ecológica compartida por dos o más municipios, se calculó el área de intersección correspondiente a cada uno. Posteriormente, se generaron todas las combinaciones posibles de pares de municipios que participan en una misma área protegida.
- 4 Para cada par de municipios i y j , se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Resultado}_{ij} = \sum_g \frac{4 \cdot a_i^g \cdot a_j^g}{(a_i + a_j)(a_i^g + a_j^g)}$$

Donde:

- i y j son dos municipios.
 - a_i y a_j : área total de los municipios i y j , respectivamente.
 - a_i^g y a_j^g : área de la unidad ecológica g correspondiente a los municipios i y j , respectivamente.
 - g : identifica una unidad ecológica compartida (en este caso, un área protegida RUNAP).
- 5 El valor final del indicador para cada par de municipios es la suma de todas las fracciones calculadas con la fórmula anterior para cada unidad ecológica compartida. Así, se captura la intensidad de la relación ecológica entre territorios según su vínculo con áreas protegidas, de acuerdo con el marco conceptual y metodológico planteado por DNP y RIMISP (2019).

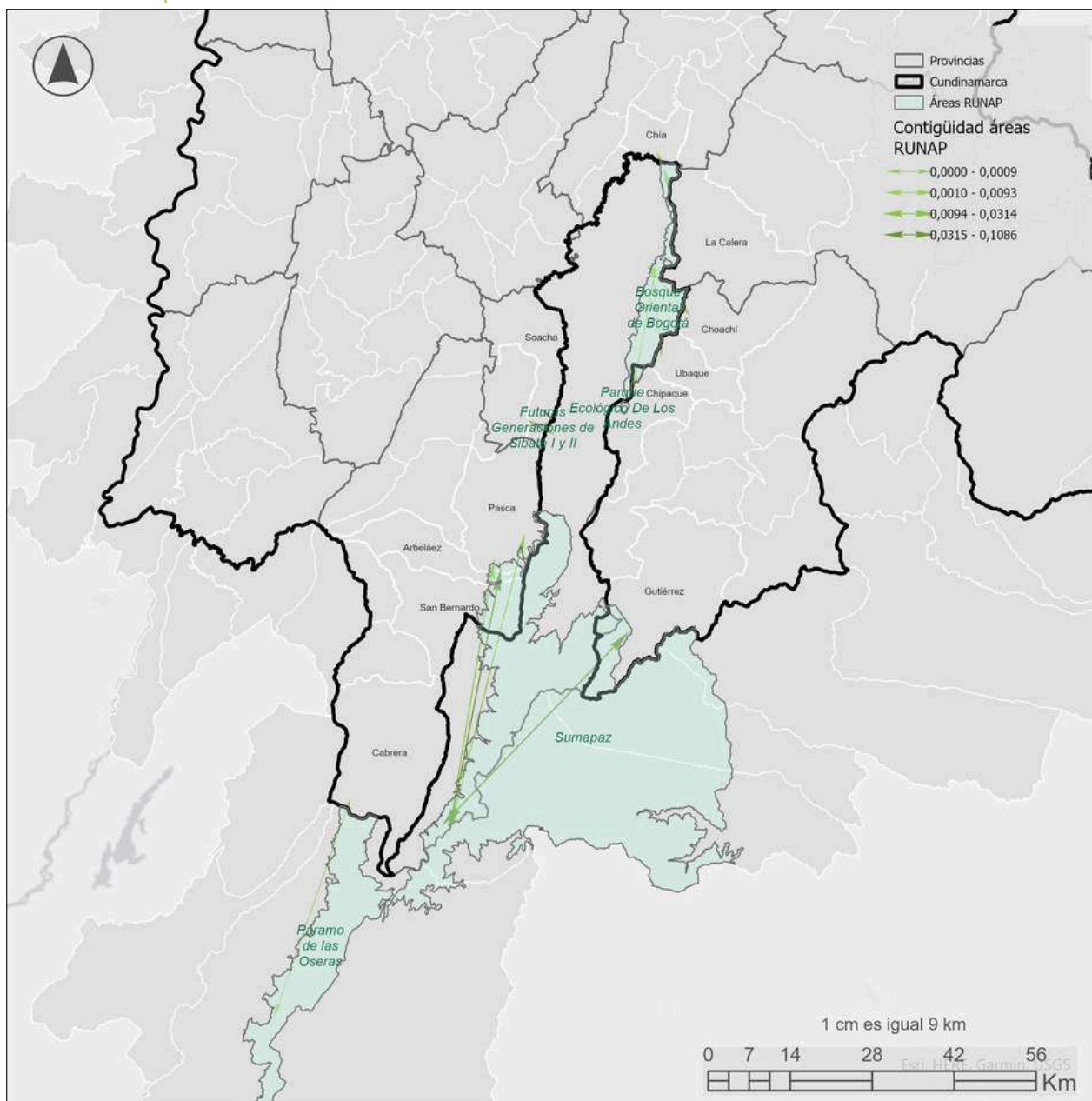
La matriz resultante contiene un valor por cada par de municipios que comparten al menos una unidad de conservación. Valores cercanos a 1 indican una fuerte relación funcional por áreas protegidas; valores cercanos a 0 reflejan un débil o inexistente vínculo en este sentido (ver **Anexo 2.6.2B - Matriz simétrica de áreas protegidas**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable. El **Mapa 15** concentra todas las relaciones funcionales de contigüidad de áreas ambientales protegidas con Bogotá.

► **Nota: ¿Cómo leer el mapa?**

Mapa 15- Relaciones funcionales RUNAP con Bogotá
Contigüidad de áreas protegidas

El indicador relativo señala qué tan fuerte es la relación de contigüidad según la presencia de áreas protegidas en el ámbito de una pareja de municipios.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP, 2025).

El análisis de relaciones funcionales con base en la contigüidad de áreas protegidas del RUNAP^[24] revela una fuerte interdependencia ambiental entre Bogotá y municipios del Meta, particularmente a través del Parque Nacional Natural Sumapaz, donde Guamal y Cubarral presentan los vínculos más intensos. Al excluir a Bogotá, las relaciones más destacadas se concentran en el occidente del territorio, especialmente entre Beltrán y Guataquí, conectados por el Bosque Seco del Río Magdalena, y entre Fómeque y San Juanito (que no tienen contigüidad con Bogotá) en torno al Ecosistema de páramo ubicado en PNN Chingaza, evidenciando así la relevancia ecológica de los corredores estratégicos que trascienden los límites municipales.

2.7. Temática: Seguridad ciudadana

Para el desarrollo del análisis de la temática de seguridad ciudadana se revisaron las variables de hurtos y de homicidios, a partir de una aproximación con modelo gravitacional debido principalmente a las limitaciones en la consecución de información pública y actualizable de la temática. a continuación se presentan los hallazgos.

2.7.1 Hurtos

Para la construcción de la matriz de flujos de hurtos entre municipios no se tuvo acceso a información que permitiera realizar la trazabilidad del origen de quien comete el delito con el lugar del hurto, razón por la cual, se definió una aproximación a este flujo a partir de la construcción de un modelo gravitacional que capturara este fenómeno.

Se tomó como punto de referencia el artículo de Bates, J (2014) en donde se explica cómo se usan los modelos gravitacionales para determinar flujos de crimen. Adicionalmente, fue clave entender que los flujos de hurtos entre municipios, en su mayoría, no son reflejados en una persona moviéndose a otro municipio a cometer el delito, si no que se entiende más como la configuración de territorios donde ocurre más el crimen y el hurto se mueve entre estas unidades espaciales por conveniencia (Blattman, Duncan, Lessing, & Tobón, 2022). Por ejemplo, esto es estudiado en el artículo de Zhanjun et al (2020) donde los autores buscan comprender cómo la ocurrencia de un delito en una ubicación específica puede influir en la probabilidad de delitos posteriores en otras ubicaciones creando una red de transmisión del crimen a partir de nodos donde el crimen es más alto.

Para construir el modelo gravitacional se usaron las siguientes fuentes de datos:

- ▶ **Registros base de datos SPOA - Fiscalía:** La base contiene los registros de denuncias de hurto desde el 2013 al 2023. Estas denuncias tienen la fecha de la denuncia y el tipo de delito. Se tomaron los registros de denuncias de hurto por municipio para los años 2020 - 2023.

[24] El Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP) contiene las capas declaradas de manera oficial para: Distritos Nacionales de Manejo Integrado, Distritos Regionales de Manejo Integrado, Distritos de Conservación de Suelos, Parque Nacional Natural, Parques Naturales Regionales, Reserva Natural, Reserva Natural de la Sociedad Civil, Reservas Forestales Protectoras Nacionales, Reservas Forestales Protectoras Regionales, Santuario de Fauna y Flora, Área Natural Única y Áreas de Recreación.

- ▶ **Matriz de Distancia de Google Maps API - 2025:** A partir de la información adquirida a través de la API de Google Maps, se construyó una matriz de 165 x 165 con las distancias y minutos para todas las combinaciones posibles de los municipios.
- ▶ **Proyecciones de población municipal post COVID-19 para el año 2024:** Esta base de datos tiene las cifras de las proyecciones poblacionales realizadas por el DANE y corregidas después del COVID-19, que contiene la información desagregada por municipio y para las tres áreas geográficas (Cabecera Municipal, Centros Poblados y Rural Disperso y el Total). Para este caso se tomó la información del total del municipio.

Identificación de zonas de alta exposición al hurto

Como se mencionó anteriormente, el primer paso consistió en identificar los municipios en donde se concentraba el hurto para categorizarlos como zonas de alta exposición. Para esto se tomó el promedio de denuncias por municipio entre los años 2020 a 2023 y a partir de ese dato se calculó la tasa de denuncia de hurtos por cada 100.000 habitantes. Posteriormente, se analizaron las estadísticas descriptivas de la tasa de hurtos, y a partir de esto se decidió que dichas zonas se componen por aquellos municipios que tuvieran una tasa superior a la del promedio (407 hurtos por 100.000 habitantes)^[25]. Adicionalmente, vale la pena mencionar que antes de determinar la media estadística se cortó la cola derecha de la distribución para eliminar los datos atípicos de la muestra.

Por lo tanto, los municipios que fueron considerados como zonas de alta exposición fueron finalmente los que tienen una tasa de denuncia entre 407 hurtos por 100.000 habitantes y 2.000 hurtos por 100.000 habitantes. El resultado de este filtro fue la obtención de 58 municipios clasificados como zonas de alta exposición al hurto y por lo tanto son municipios donde pueden presentarse relaciones intermunicipales en torno a este delito. Con este dato restringimos el modelo gravitacional.

Construcción del modelo gravitacional

Con el fin de obtener el volumen potencial de los flujos de hurto entre los diferentes municipios se construyó el siguiente modelo gravitacional:

$$F_{od} = \frac{Hu_d \times Hu_o}{D_{od}}$$

En este modelo, la interacción se determina por el producto del número de denuncias de hurto del municipio de origen (Hu_o) y el número de denuncias de hurto del municipio de destino (Hu_d)^[26]. Esto sugiere que la "fuerza" de interacción entre los

[25] La selección del corte en la media estadística responde a la revisión de la literatura, que indica que los hotspots pueden definirse como zonas con concentraciones de crimen mayores al promedio (Eck et al., 2005).

[26] Para calcular el número de denuncias en los municipios de origen y destino, se utilizó el promedio del número de denuncias reportadas entre 2021 y 2023. Esta decisión se tomó con el objetivo de contar con datos más estables, ya que a partir de 2021 se espera que las cifras se hayan normalizado luego de las alteraciones causadas por la pandemia en 2020.

municipios está directamente relacionada con la actividad delictiva (en este caso, los hurtos). Por otro lado, este resultado se divide por la distancia en tiempo (t) entre el par de municipios, lo que representa el costo de la interacción. Así, la fórmula implica que una mayor "interacción" (entendida como una relación potencial entre municipios con actividad de hurto) se producirá cuando tanto el municipio de origen como el de destino registren un elevado número de denuncias de hurto, mientras que esta relación disminuirá a medida que el tiempo de viaje entre ellos aumente.

A partir de este ejercicio, se construyeron los flujos intermunicipales de hurto, identificando el valor del flujo entre todas las parejas posibles entre los municipios denominados como zonas de alta exposición al hurto. Cabe mencionar que, para los municipios que no fueron considerados en el modelo el flujo toma un valor de 0. Estos flujos fueron insumo para construir la matriz 165 x 165 de volumen absoluto, mostrando las relaciones entre todos los municipios (ver **Anexo 2.7.1A - Matriz de volumen de hurtos**).

Posteriormente, con base en esta fuente, se definió un indicador relativo de dependencia de hurtos para cada par de municipios i y j, calculado de la siguiente forma:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Flujo entre municipio obtenido entre } i \text{ y } j}{\max(\text{Todos los flujos del modelo gravitacional})}$$

Este indicador busca capturar los patrones de movilidad funcional asociados posiblemente a los hurtos por parte de bandas criminales organizadas, que en este caso específico están asociados a que tan atractivo es un municipio para ir a cometer este delito, medido por la fuerza de atracción del modelo. A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos (ver **Anexo 2.7.1B - Matriz simétrica de hurtos**).

A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable, encontrando las relaciones de hurtos más intensas con Bogotá a partir del indicador relativo (ver **Mapa 16**).

Vale la pena resaltar que las relaciones más fuertes de hurtos con Bogotá se dan con Soacha, Chía, Funza y Mosquera, siendo todas estas relaciones de contigüidad. Por otro lado, Bogotá tiene relaciones fuertes de hurtos no contiguas con Villavicencio y Girardot.

2.7.2 Homicidios

Para la construcción de la matriz de flujos de homicidios entre municipios se usó la misma aproximación metodológica que para la variable de hurtos en cuanto a la definición de zonas de alta exposición al homicidio. Por lo tanto, con el objetivo de captar la interdependencia existente del homicidio en la Región Metropolitana de Bogotá - Cundinamarca, se construyó una variable que estima el volumen relativo del flujo de homicidios entre municipios, a partir de un modelo gravitacional y usando los siguientes registros:

- ▶ **Registros base de datos de homicidios- Policía:** La base de datos utilizada contiene los registros del número de víctimas de homicidio reportadas por la Policía Nacional, con información desagregada por municipio y año de ocurrencia entre 2020 y 2023. Para el análisis, se seleccionaron únicamente los registros correspondientes a los 165 municipios de interés.
- ▶ **Matriz de Distancia de Google Maps API - 2025:** A partir de la información proporcionada por Google Maps se construyó una matriz de 165 x 165 con las distancias en minutos para todas las combinaciones posibles de los municipios.
- ▶ **Proyecciones de población municipal post COVID-19 para el año 2024:** Esta base de datos tiene las cifras de las proyecciones poblacionales realizadas por el DANE y corregidas después del COVID-19, que contiene la información desagregada por municipio y para las tres áreas geográficas (Cabecera Municipal, Centros Poblados y Rural Disperso y el Total). Para este caso se tomó la información del total del municipio.

Identificación de zonas de alta exposición al homicidio

En línea con la metodología seguida en la variable de hurtos, se calculó la tasa de homicidios por 100.000 habitantes y se obtuvo la media estadística para seleccionar como zonas de alta exposición al homicidio aquellos municipios que estaban por encima de esta medida. Para el caso de Bogotá, se encontró que las dinámicas de homicidios presentan patrones diferenciados entre localidades, debido a que este tipo de delito está fuertemente asociado a factores espaciales que tienden a concentrarse en puntos críticos del territorio. Como lo han demostrado Mejía (2016) y Tobón y Blatman (2022), los homicidios tienden a generar fenómenos de concentración geográfica o hotspots, lo que hace fundamental su análisis a escala intraurbana.

De esta manera, se decidió analizar únicamente para esta variable a Bogotá por localidades, entendiendo las diferencias y la aproximación conceptual mencionada. Así, después de calcular la tasa de homicidio por localidades y sacar la media (ubicada en 19 homicidios por cada 100.000 habitantes), se incluyeron 4 localidades que fueron categorizadas como zonas de alta exposición de homicidios: Santa Fé, Los Mártires, Usme y Ciudad Bolívar. Adicional a estas 4 localidades, se incluyeron otros 50

municipios en esta muestra. Con este dato se construyó el modelo gravitacional para el delito de homicidios.

Construcción del modelo gravitacional

Para poder determinar los flujos de homicidios entre los diferentes municipios se construyó el siguiente modelo gravitacional:

$$F_{od} = \frac{Ho_d \times Ho_o}{D_{od}}$$

En este modelo, la interacción se determina por el producto del número de homicidios reportados en el municipio de origen (Ho_o) y el número de reporte de homicidios del municipio de destino (Ho_d). Esto sugiere que la "fuerza" de interacción entre los municipios está directamente relacionada con la actividad delictiva (en este caso los homicidios) en ambos. Por otro lado, este resultado se divide por la distancia en tiempo (D_{od}) entre los dos municipios, que representa el costo de la interacción. Así, la fórmula implica que una mayor "interacción" (entendida como una relación potencial entre municipios con actividad de homicidio) se producirá cuando tanto el municipio de origen como el de destino registren un elevado número de homicidio, mientras que esta relación disminuirá a medida que el tiempo de viaje entre ellos aumente.

A partir de este ejercicio, se construyeron los flujos intermunicipales de homicidio, identificando el valor del flujo de homicidio entre los municipios denominados como zonas de alta exposición a este delito. Vale la pena mencionar que, para los municipios que no se consideraron en el modelo el flujo toma un valor de 0. Estos flujos fueron insumo para construir la matriz 165 x 165 de volumen absoluto, mostrando las relaciones entre todos los municipios (ver **Anexo 2.7.2 - Matriz de volumen de homicidios**).

Posteriormente, con base en esta fuente, se definió un indicador relativo de la relación de homicidios para cada par de municipios i y j , calculado de la siguiente forma:

$$\text{Indicador relativo} = \frac{\text{Flujo entre municipio obtenido entre } i \text{ y } j}{\max(\text{Todos los flujos del modelo gravitacional})}$$

Este indicador busca capturar los patrones de movilidad funcional asociados a los homicidios entre por fenómeno de crimen organizado que en este caso específico están asociados a la fuerza de atracción del modelo. A partir de este indicador se generó una matriz simétrica de 165 municipios que representa los flujos relativos (ver **Anexo 2.7.2B - Matriz simétrica de homicidios**).

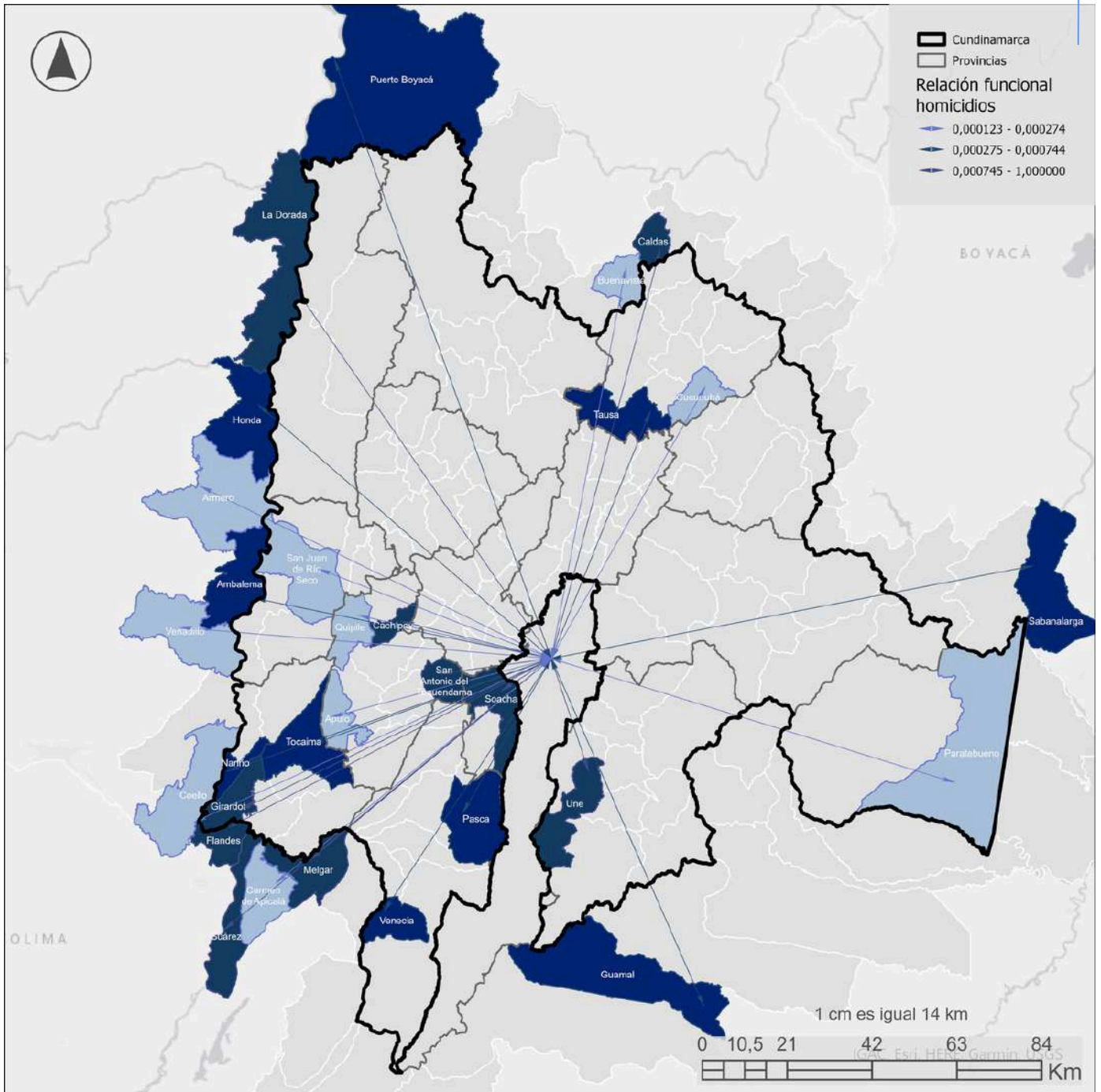
A continuación, se presentan los resultados espaciales del análisis expuesto para esta variable, encontrando las relaciones de homicidios de mayor intensidad con Bogotá (ver **Mapa 17**).

► Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 17 - Relaciones funcionales de homicidios con Bogotá

Relación funcional de homicidios con Bogotá

El indicador relativo muestra qué tan fuerte es la relación delictiva de homicidios entre la pareja de municipios en comparación con las relaciones más intensas de toda la región.



Elaboración propia con base en datos de las Proyecciones de Población del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE 2022-2024), Registros de la Policía (2022-2024) y Google Maps (2025).

Se evidencia que los flujos más intensos de homicidios con Bogotá tienen como origen principal el municipio de Soacha, esto es, cuando se analiza el indicador relativo por encima de la media estadística. De manera recíproca, los flujos originados en las cuatro localidades analizadas de Bogotá muestran su mayor intensidad hacia este municipio, configurando así una relación funcional destacada entre ambos territorios.

3. Índice de Interdependencias RMBC: Metodología de agregación y resultados

Este capítulo presenta la metodología empleada para la agregación de los resultados obtenidos por variable temática en un indicador sintético de interdependencia territorial para las relaciones asociadas con Bogotá, denominado Índice de Interdependencia Región Metropolitana Bogotá–Cundinamarca (IIRMBC). La aplicación de la metodología propuesta se puede aplicar de diferentes maneras, para diferentes propósitos y se probará, para efectos de aplicación práctica, en torno a la construcción de un insumo para la definición de ámbitos metropolitano y regional, que en ningún caso busca una conformación oficial, si no mostrar las fortalezas metodológicas y las oportunidades en el uso de la información medida y consolidada en las temáticas.

La base metodológica se obtiene del enfoque propuesto por Alkire & Foster (2011) para la medición de la pobreza multidimensional, adaptado en este estudio para capturar la intensidad y diversidad de las relaciones funcionales entre municipios de la Región Metropolitana Bogotá–Cundinamarca (RMBC).

La lógica de este enfoque parte del reconocimiento de que las interdependencia territoriales se gestionan de diferente manera cuando son puntuales o cuando son intersectoriales y se reflejan en diferentes dimensiones a partir de múltiples vínculos funcionales en distintas temáticas —como las definidas en este estudio: movilidad, seguridad ciudadana, servicios públicos, desarrollo económico, seguridad alimentaria, ambiental y equipamientos sociales del hábitat— que, en su conjunto, configuran un entramado complejo de relaciones entre territorios (Fundesarrollo, 2019).

La metodología contempla dos niveles en su construcción: el primero corresponde a la identificación de interdependencias por variable, mediante la aplicación de puntos de corte definidos, en este caso estadísticamente como el valor de la media de los indicadores relativos de cada una, tomando únicamente las relaciones de los municipios del Departamento con Bogotá. Este umbral se calcula sobre la distribución completa de los valores de la matriz relativizada de cada variable, incluyendo los ceros, con el fin de capturar de manera integral el comportamiento de los vínculos intermunicipales.

El segundo nivel de la metodología corresponde a la construcción del indicador agregado, que permite identificar los pares de municipios cuya interdependencia se manifiesta en múltiples variables. A partir de las matrices binarias obtenidas para cada variable, se consolida un indicador multidimensional que contabiliza el número

de temáticas en las que cada pareja presenta una relación significativa, permitiendo así clasificar los niveles de interdependencia funcional, tanto para la propuesta del ámbito metropolitano como para el regional.

Esta lógica de identificación y agregación, adaptada del método de recuento multidimensional de Alkire & Foster, permite no solo detectar relaciones relevantes en cada variable, sino también establecer una visión integral y territorialmente diferenciada de las interdependencias (Fundesarrollo, 2019), facilitando la priorización de nodos y corredores estratégicos para la planificación metropolitana y regional a partir del uso de la información calculada en cada relación funcional.

Vale la pena resaltar antes de entrar en el detalle del indicador, que esta agregación que se propone es una propuesta indicativa y no tiene el propósito de señalar ámbitos definitivos para la planificación, si no que puede ser visto como una apuesta inicial que se sirve de las fortalezas metodológicas expuestas, para expresar las interdependencias de variables explicativas de cada una de las temáticas que la Ley define.

Los apartados a continuación muestran el marco metodológico completo para la agregación de ámbitos, empezando por la simulación de puntos de corte para cada una de las 16 variables temáticas expuestas, detallando posteriormente el proceso de agregación y los resultados de la propuesta de ámbitos.

3.1. Definición de puntos de corte por variable

Como se detalló en los primeros apartados de este documento (ver página 22), la identificación de las relaciones funcionales e interdependencias en cada una de las temáticas parte de la estimación de los flujos origen - destino que pasan posteriormente por un punto de corte establecido para clasificarlas como significativas. Este proceso resulta en la conversión de cada matriz de indicadores relativizados en una matriz binaria que distinga entre relaciones funcionales significativas y no significativas. En ese sentido, el siguiente paso consistió en definir un punto de corte específico por cada variable que permitiera clasificar cada par de municipios como interdependiente -o no, según el comportamiento particular de la distribución de los datos en cada temática.

El criterio general adoptado para la definición de estos puntos de corte fue el valor correspondiente a la media estadística de cada matriz relativizada de las relaciones funcionales de los 116 municipios del Departamento con Bogotá. Esta regla estadística permite identificar los valores que se sitúan significativamente por encima del comportamiento promedio de la variable, y por tanto pueden considerarse expresiones relevantes de interdependencia. La media se calculó a partir de la matriz completa de cada variable, incluyendo los ceros, con el objetivo de reflejar de manera fiel la estructura total de relaciones posibles en el sistema municipal. Así mismo, la inclusión de todos los valores de la matriz permite que el modelo se actualice cuando observe una nueva relación funcional que para el momento de construcción inicial no fuese capturada.

De esta manera, para identificar las relaciones funcionales significativas que representan interdependencias municipales, se tomó la definición del punto de corte estadístico explicado y a partir de este se estableció un umbral de la interdependencia, lo cual implica que:

- ▷ Los pares de municipios con un valor del indicador relativo inferior al umbral fueron clasificados como no interdependientes, y se les asignó un valor de cero.
- ▷ Los pares con un valor igual o superior al umbral fueron clasificados como interdependientes, y se les asignó un valor de uno^[27].

La **Tabla 10** presenta para cada variable el valor del corte aplicado, y el número de municipios clasificados como interdependientes según dicho umbral. Esta información permite observar la dispersión y el comportamiento de cada una, así como las diferencias en la proporción de relaciones significativas identificadas por temática.

Tabla 10 - Puntos de corte por variable

Cuadro de Resumen			
Variable	Corte	No. Municipios	% Incluidos
Transporte de alimentos	0,3946	85	73,3%
Migración	0,0204	53	45,7%
Nacimientos	0,2642	47	40,5%
Educación	0,175	46	39,7%
Manufactura	0,0063	44	37,9%
Hidrología	0,2413	28	24,1%
Conmutación Laboral	0,0734	26	22,4%
Transporte de carnes	0,0508	20	17,2%
Internacionalización	0,0003	19	16,4%
Turismo	0,0583	18	15,5%
Hurtos	0,0114	16	13,8%
Tiempos de viaje	60,0000	16	13,8%
Acueducto	0,0777	12	10,3%
Aseo	0,0517	6	5,2%
Áreas protegidas	0,0024	5	4,3%
Homicidios	0,0087	1	0,9%

Fuente: Elaboración propia

[27] En los anexos correspondientes a cada temática y variable se encuentran las matrices 165 x 165 de interdependencia, expresadas en valores de 1 y 0.

Este procedimiento es clave para la construcción del Índice de Interdependencia Región Metropolitana Bogotá–Cundinamarca (IIRMBC), ya que convierte cada una de las variables temáticas en una matriz estandarizada. Estas matrices binarias permiten, posteriormente, sumar de manera homogénea la cantidad de relaciones relevantes entre pares de municipios en múltiples variables, facilitando así el análisis agregado de acumulación que se desarrolla en el siguiente apartado.

3.2. Índice de Interdependencia Región Metropolitana Bogotá – Cundinamarca -IIRMBC.

La construcción del IIRMBC exige no solo identificar interdependencias por variable temática, sino también establecer un umbral agregado que permita definir los ámbitos metropolitano y regional de las interdependencias a partir de la acumulación de las variables que se definieron como relevantes para este caso indicativo. Esta etapa parte del principio del enfoque tomado de Alkire & Foster (2011), según el cual la superación de un umbral mínimo de variables constituye una condición suficiente para considerar a una unidad como privada o —en este caso— interdependiente (Fundesarrollo, 2019).

Para conformar los dos ámbitos de interdependencias, el metropolitano y regional, se realizaron diversos ejercicios simulando diferentes alternativas para la agregación y acumulación de variables. Los escenarios se construyeron a partir de un proceso iterativo, haciendo una revisión en cada uno de la incidencia de municipios que quedan incluidos en el modelo, tomando únicamente las relaciones con Bogotá.

En términos resumidos, previo al análisis del escenario final se consideraron al menos 5 alternativas que permitieron evidenciar por un lado la necesidad de segmentar las variables para la construcción de los ámbitos metropolitano y regional, y por otro, la importancia de contar con unos puntos de corte que permitan una restricción suficiente en la interdependencia agregada. El detalle de la construcción de los escenarios se puede consultar en el 33_anexo_escenarios_modelados.

A partir de las mencionadas iteraciones y el análisis de los resultados obtenidos de estas, se tomaron en consideración dos elementos importantes para ajustar el cálculo y por consiguiente los resultados en el escenario final seleccionado:

- ▷ La definición de un punto de corte para cada variable que respondiera a las relaciones de Bogotá y Cundinamarca (116 municipios), dejando de lado la estimación de estos con la matriz completa del estudio (165 x 165). De esta manera, se obtuvieron los puntos de corte por variable que utiliza la media estadística de las relaciones funcionales con Bogotá para las 16 variables.
- ▷ La segmentación de las variables para la definición del anillo de interdependencias metropolitano y regional es un ejercicio que se consideró metodológicamente necesario, el cual se basa principalmente en dos criterios: la gestión y gobernanza de las interdependencias, y la consideración de la contigüidad espacial de los territorios. En este proceso se seleccionó una variable por temática para acumular en el ámbito regional, con el fin de no

sobredimensionar temáticas en la conformación de ámbitos propuestos, lo que implica que si bien se realizó la medición de 16 variables, no todas son consideradas en el indicador que se presenta en este apartado.

El marco de gestión y gobernanza de las interdependencias

Este criterio contempla la capacidad institucional y los herramientas existentes para gestionar los vínculos identificados, tomando en consideración así la atención cotidiana que las relaciones demandan en la gestión recurrente por parte de las entidades territoriales. Para el caso de las interdependencias metropolitanas, se parte de la comprensión de las áreas funcionales desde una triada que tiene como uno de los ejes clave de la integración territorial la variable de conmutación laboral y tiempos de viaje, (DNP & RIMISP, 2019), que se articula con las variables de salud y educación como fenómenos de movilidad cotidiana, que además tienen efectos tangibles en la calidad de vida de las personas y la condición de vulnerabilidad de los hogares.

En contraste, en el ámbito regional, la gestión de las interdependencias requiere mecanismos más flexibles de articulación, capaces de adaptarse a la heterogeneidad de los territorios involucrados y a la dispersión de los fenómenos; lo cual demanda una coordinación efectiva de acciones, políticas e inversión a través de esquemas y arreglos supramunicipales. Es a raíz de esto que para la conformación de este ámbito el estudio toma las interdependencias en 7 variables, una por cada temática analizada: migración, transporte de alimentos, transporte de manufacturas, acueducto, hidrología, educación y hurtos.

Esta selección busca recoger fenómenos que, por su escala y naturaleza no pueden ser gestionadas por un solo municipio y que definen la relación estructural entre el núcleo metropolitano y su entorno regional, segmentando así las dinámicas de gestión del día a día (propias del ámbito metropolitano) de las dinámicas que definen el funcionamiento de la región a largo plazo. Los 3 criterios que guiaron el ejercicio fueron:

- ▶ **Flujos económicos y cadenas de suministro:** las variables de transporte de alimentos y transporte de manufacturas representan los flujos económicos que conectan las zonas de producción (agrícolas e industriales) con los centros de consumo y distribución que concentran la mayoría de la población. No son movimientos diarios de personas, sino la base del abastecimiento, la seguridad alimentaria y de dimensiones del desarrollo económico regional.
- ▶ **Sistemas ecosistémicos compartidos:** en este criterio se consideraron las variables de acueducto e hidrología, que representan la relación fundamental con el agua y la provisión de esta para consumo en la región.
- ▶ **Dinámicas sociodemográficas:** A diferencia de la conmutación diaria, considerada fenómeno metropolitano, la migración explica cambios poblacionales a largo plazo, dinámicas del mercado de habitacional y la presión sobre ofertas territoriales en los municipios, como la localización de equipamientos de educación posmedia, por ejemplo. De esta manera, la variable de educación se consideró un fenómeno regional, en la medida que atrae y distribuye el talento en

el territorio, configurando vía oferta las características del talento humano disponible en la región. Finalmente, si bien el hurto como evento es un hecho de escala micro local, su análisis agregado a nivel regional permite entender fenómenos de seguridad que desbordan las capacidades locales: posibles corredores de crimen organizado, desplazamiento de delitos e incidencia sobre la calidad de vida en los territorios.

La contigüidad de las relaciones

Para la conformación de los dos ámbitos, tanto el metropolitano como el regional, se consideró necesario incorporar un criterio de contigüidad geográfica que limitara la inclusión de municipios que no compartieran una frontera o dinámica territorial en el primer caso; y que permitiera la inclusión de los municipios del intersticio en el anillo regional. Esta contigüidad física facilita la articulación funcional y la integración entre municipios que deben gestionar fenómenos ligados a las variables incluidas en el modelo, y permite que las interdependencias se traduzcan en circuitos territoriales de alta densidad e interacción, donde se puede consolidar infraestructura común, servicios compartidos y sistemas integrados de movilidad, por ejemplo.

Definición del punto de corte agregado (K): ámbito metropolitano y regional.

Una vez definidas las variables explicativas de los ámbitos metropolitano y regional, fue necesario establecer un punto de corte agregado (k) que permitiera construir los ámbitos de municipios interdependientes en cada uno de estos niveles. Para el caso de la interdependencia metropolitana, se tomó como referencia la cantidad de municipios que tenían privación en 3 de las 4 variables que se definieron como metropolitanas: *salud, educación, conmutación laboral y tiempos de viaje*.

La **Tabla 11** muestra el resultado de este análisis, evidenciando cuántos municipios presentan entre 0 y 4 interdependencias en dichas variables. A partir de esta información, se determinó que el valor óptimo para k es igual a 3, lo que significa que un municipio debía mostrar interdependencias en al menos tres variables para ser considerado como parte del anillo metropolitano. Con base en este umbral, se identificaron 18 municipios que cumplen este criterio y conforman el ámbito metropolitano^[28] (ver **Mapa 18**).

[28] Si bien Facatativá cuenta con 2 de 3 interdependencias para las variables definidas en el ámbito, se decidió que su consideración como municipio metropolitano era crucial dado el proyecto de Regiotram de occidente que se encuentra en ejecución.

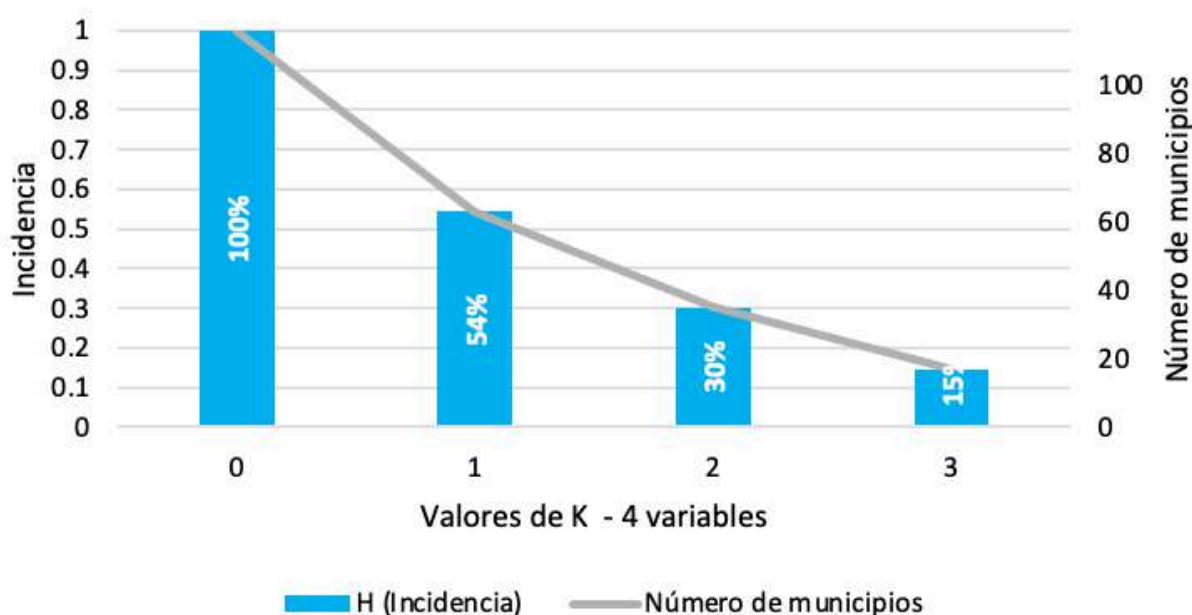
Tabla 11 - Cortes para la interdependencia metropolitana

Número de interdependencias	No. Ciudades
0	116
1	64
2	38
3	18 ^[29]

Fuente: Elaboración propia

Al revisar la incidencia para los diferentes valores posibles de K, se observa que al exigir interdependencia en al menos una variable (K=1), el 54% de los municipios del departamento son incluidos, proporción que desciende progresivamente al aumentar el umbral, llegando al 15% de municipios para K=3, lo que representa un subconjunto más acotado y robusto de relaciones funcionales en las tres variables clave.

Ilustración 4 - Incidencia metropolitana de acuerdo con los distintos valores de k



Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, para el caso del punto de corte (k) del ámbito regional, se definió un set de 7 variables explicativas en total como ya se detalló^[30], a las cuales se les adicionó un

[29] La incidencia se define como la proporción de municipios que cumplen el criterio de interdependencia para cada valor de K.

[30] La acumulación de esta variable en el ámbito regional tiene una restricción de número de municipios con los que se tiene relación de interdependencia, tomando únicamente municipios que pasen el punto de corte pero que además transporten manufacturas con mínimo 5 entidades territoriales.

criterio de tiempos de viaje con Bogotá, que restringió los municipios con distancia mayor a 180 minutos con Bogotá, de acuerdo con la matriz obtenida de la API de Google Maps.

Posteriormente, fue necesario establecer un punto de corte agregado (k) que permitiera determinar qué municipios presentan un nivel significativo de interdependencias para ser considerados como parte de este ámbito, de acuerdo con las variables previamente definidas. La **Tabla 12** presenta el número de municipios clasificados según la cantidad de variables en las que se evidencian interdependencias, con valores que van desde 0 hasta 7.

A partir de este análisis, se identificó que un valor óptimo para $K = 3$ permitía capturar un grupo representativo de municipios con múltiples vínculos funcionales temáticos, sin perder capacidad de comprensión de la singularidad territorial. Este umbral permitió clasificar 44^[31] municipios como parte del ámbito regional, al cumplir con al menos tres interdependencias en la totalidad de las variables analizadas. Esta decisión busca asegurar que los municipios incluidos en el anillo regional mantengan una conexión funcional relevante en múltiples dimensiones, reflejando así la complejidad y profundidad de las dinámicas de integración regional.

Tabla 12 - Cortes para la interdependencia regional

Numero de interdependencias	Municipios Incluidos
0	116
1	110
2	87
3	53^[32]
4	22
5	9
6	2
7	1

Fuente: Elaboración propia

Así, la elección de tres interdependencias como punto de corte permite una acumulación suficiente de vínculos sin exigir totalidad, reconociendo que no todos los municipios presentan interacción intensa en todas las variables incluidas; y por otro,

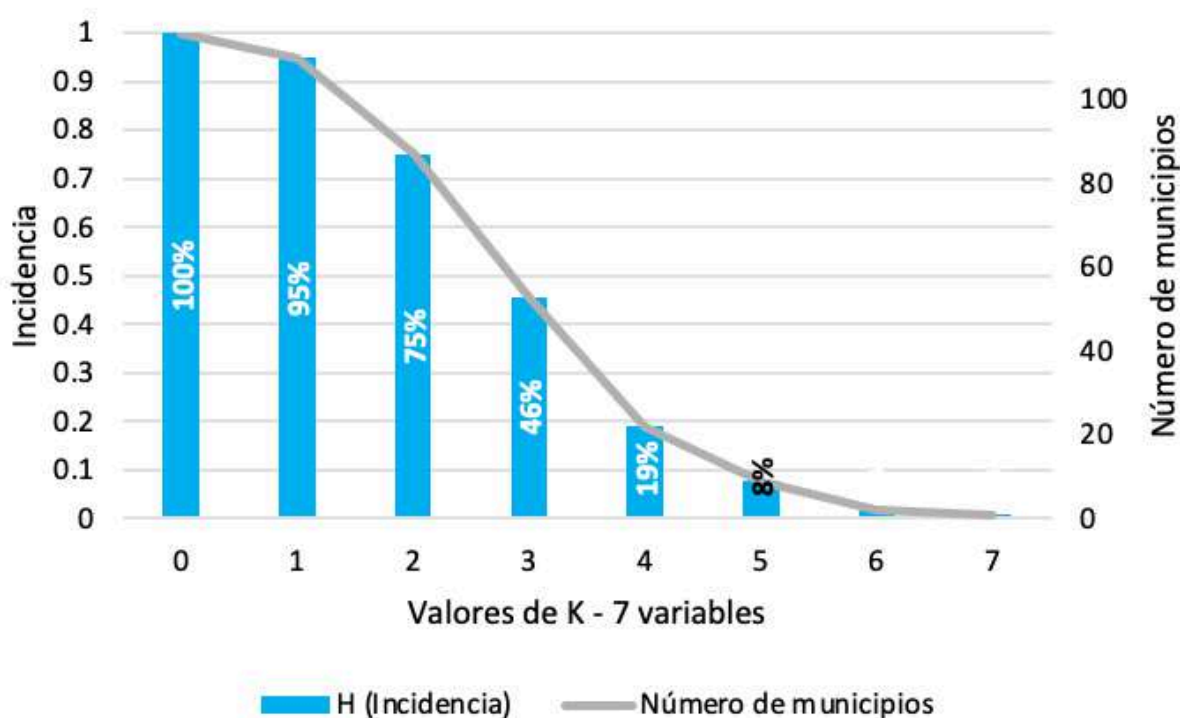
[31] Este conteo incluye los 17 municipios que se toman en el ámbito de interdependencia metropolitana.

[32] Este conteo tiene incorporados los municipios del ámbito metropolitano.

mantiene una escala territorial similar al universo de municipios ya priorizado para el diagnóstico del Plan Estratégico Regional Metropolitano (PERM). Además, con esta aproximación se permite una acumulación suficiente de vínculos que dan cuenta de relaciones estructurales en diferentes ámbitos funcionales —económicos, ambientales y sociales—, a la cual se le suman por criterio de contigüidad 15 municipios que pasan a ser considerados parte de la propuesta del ámbito regional.

Al revisar la incidencia para los diferentes valores posibles de K en el ámbito regional, se observa que al exigir interdependencia en al menos una Variable (K=1), el 95% de los municipios del departamento se incluyen como parte del análisis. Esta proporción desciende progresivamente a medida que aumenta el umbral de exigencia, reduciéndose al 75% para K=2 y al 46% para K=3. Este último punto marca un equilibrio entre cobertura e intensidad de las interdependencias, permitiendo identificar un subconjunto de municipios con relaciones funcionales más consistentes y significativas en las variables analizadas, respondiendo así a la necesidad de contar con un conjunto representativo pero acotado de municipios, que concentran un mayor nivel de integración funcional desde una perspectiva multiescalar y multisectorial.

Ilustración 5 - Incidencia regional de acuerdo con los distintos valores de k



Fuente: Elaboración propia

Para analizar las interdependencias funcionales en la Región Metropolitana Bogotá-Cundinamarca (RMBC), se adaptó la metodología de medición de privaciones de Alkire & Foster (2011), originalmente desarrollada para calcular pobreza multidimensional. En este caso, se empleó dicha estructura metodológica para construir un índice compuesto de interdependencia territorial que considera tanto la incidencia (H) como la intensidad (A) de los vínculos funcionales, a partir de los cuales

se calculan tres indicadores derivados: el índice de incidencia ajustada (M0), la brecha promedio de interdependencia (M1) y la brecha ajustada al cuadrado (M2).

Este enfoque permitió explorar cómo varía el nivel de articulación funcional entre los municipios según distintos valores del parámetro K —que actúa como umbral para definir la presencia de relaciones significativas acumuladas—, tanto bajo una perspectiva metropolitana como regional. La **Tabla 13** sintetiza los resultados de las simulaciones para estos indicadores, evidenciando que la configuración territorial de las interdependencias es sensible al valor del umbral utilizado, lo cual refuerza la importancia de definir puntos de corte adecuados según la escala de análisis.

Tabla 13 - Análisis de variación de los puntos de corte (K)

Indicador	Valores de K - Metropolitano	Valores de K - Regional
	≥ 3	≥ 3
Incidencia de interdependencias (H)	15,51%	45,68%
Intensidad de la interdependencia (A)	2,94	3,64
Índice de incidencia ajustada (M0)	0,45689653	1,6637931
Brecha promedio de la región interdependiente (M1)	0,45752509	1,5198636
Brecha ajustada al cuadrado (M2)	2,0032331	48,906341

Fuente: Elaboración propia

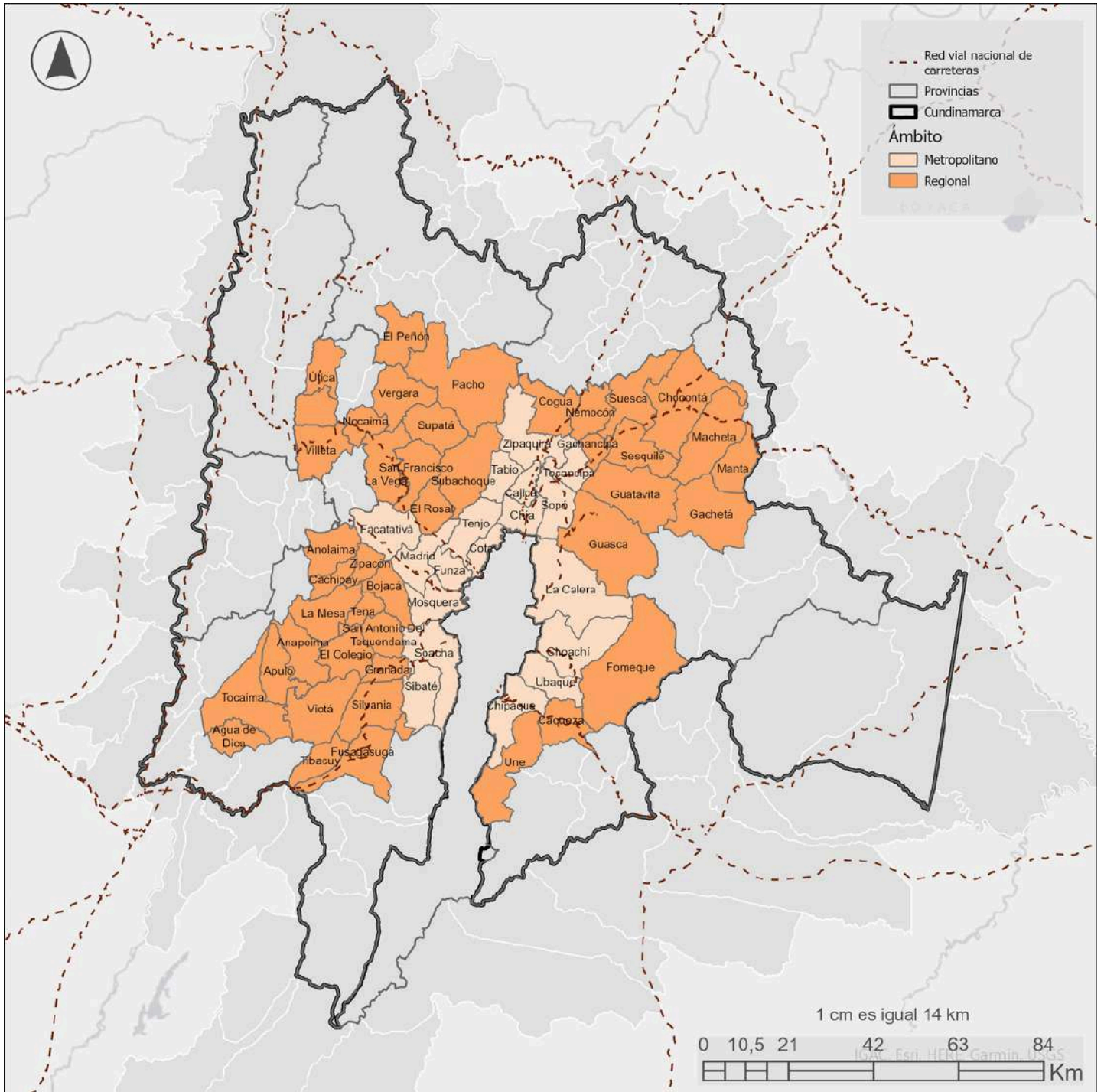
- **Incidencia de interdependencias (H):** Este indicador mide la incidencia de municipios que entran en el corte según el número de interdependencias que se haya establecido. Por ejemplo, para $K \geq 3$ en el ámbito metropolitano es del 15.51% de entidades territoriales, lo cual se considera un universo acotado para la gobernanza de las relaciones funcionales. En contraste, en el ámbito regional, la incidencia alcanza un valor significativamente más alto: 46.68% para $K \geq 3$, lo que indica una mayor densidad de interdependencias
- **Intensidad de la interdependencia (A):** Este indicador mide el número promedio de relaciones funcionales entre los municipios que presentan interdependencias, lo que permite valorar la profundidad de las conexiones funcionales en el subconjunto identificado. La intensidad promedio de las interdependencias en el ámbito metropolitano es de 2.94, que asciende a 3.65 en el anillo regional.

- ▶ **Índice de incidencia ajustada (M0):** El índice M0, que pondera la incidencia por la intensidad, confirma los patrones anteriores. Para el anillo metropolitano, el valor más alto se da con $K \geq 3$ (0,45), mientras que en el ámbito regional el valor asciende a 1,66, evidenciando que la interdependencia regional no solo es más común sino también más significativa.
- ▶ **Brecha promedio de la región interdependiente (M1):** Este indicador permite ver la diferencia media en el número de interdependencias observadas respecto al umbral mínimo k. Para este caso, muestra una tendencia creciente conforme disminuye el valor de K en el caso metropolitano, pasando de una brecha de 0,45 (para $K \geq 3$) a 1,51 para $K \geq 3$ en el ámbito regional.
- ▶ **Brecha ajustada al cuadrado (M2):** Finalmente, la brecha ajustada al cuadrado — indicador sensible a disparidades extremas— muestra que el anillo metropolitano presenta una alta varianza para $K \geq 3$ (2.00), indicando la existencia de municipios con comportamientos muy dispares dentro de las relaciones interdependientes.

De esta manera, la selección de las variables diferenciadas para los dos ámbitos y los puntos de corte explicados anteriormente, permitieron llegar finalmente a los resultados: la propuesta de municipios interdependientes en el anillo metropolitano, por un lado, y los que conforman el ámbito de interdependencia regional por el otro. El listado de los 18 municipios que conforman el anillo metropolitano y los 44 del regional se puede consultar en el **Anexo 3.1 - IIRMBC Final** que acompaña este documento.

Nota: ¿Cómo leer el mapa?

Mapa 18 – Ámbitos de interdependencia metropolitana y regional



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El ejercicio de medición de las interdependencias territoriales constituye mucho más que un aporte técnico, pues es, en esencia, una propuesta para repensar la escala y la lógica de la acción pública en torno a la importancia de la asociatividad y la coordinación supra municipal. Al revelar cómo se relacionan los municipios en términos de movilidad, servicios, economía, ambiente y seguridad, se evidencia que la región ya actúa como un sistema integrado, aun cuando sus instrumentos de planificación y sus marcos administrativos todavía operan de forma fragmentada.

La principal conclusión es que la gestión regional debe basarse en la funcionalidad observable del territorio, reconociendo de entrada que la expresión actual de las interdependencias refleja las relaciones funcionales, pero también las deficiencias o desafíos de la gestión del territorio. De esta manera, las relaciones observadas no son hipotéticas: se sustentan en datos que muestran patrones de dependencia mutua. Ello implica que el alcance de las políticas no puede definirse únicamente por criterios jurídicos o administrativos, sino por la intensidad y naturaleza de los vínculos que la medición evidencia.

El estudio también permite tomar decisiones en dos planos de análisis: el presente funcional y el deber ser prospectivo. El primero describe la estructura actual de flujos; el segundo señala los desequilibrios que requieren intervención. Por ejemplo, una baja interdependencia en servicios públicos o equipamientos no necesariamente refleja autonomía, sino una falencia de conectividad o inversión conjunta, y, por tanto, un campo de acción para la política regional; o también la existencia de una concentración de flujos puede indicar a su vez la concentración de equipamientos sociales en el territorio y por tanto la necesidad de desconcentrar las inversiones. La medición se convierte así en un espejo que muestra tanto los avances de integración como las áreas donde el sistema no logra equilibrar cargas y beneficios.

Desde la perspectiva institucional, el trabajo confirma la necesidad de fortalecer la coordinación multinivel. Los hallazgos respaldan la creación de mecanismos de gobernanza flexibles y basados en evidencia, que permitan adaptar los instrumentos de la RMBC a la heterogeneidad territorial: ámbitos metropolitanos densos que requieren gestión conjunta inmediata, y ámbitos regionales más dispersos que exigen cooperación sectorial y una perspectiva territorial más amplia.

Asimismo, el estudio plantea una agenda de información permanente. Las matrices construidas deben evolucionar hacia un sistema de medición de flujos e interdependencias, que integre registros administrativos, datos satelitales y nuevas fuentes abiertas disponibles. Mantener actualizada esta información será esencial para que el índice se convierta en una herramienta de seguimiento y evaluación de las políticas regionales.

Finalmente, la medición de interdependencias ofrece una oportunidad política y técnica: pasar de la narrativa de la asociación a la práctica de la interdependencia gestionada, alineando las decisiones efectivas de los actores del sistema regional. Este

estudio provee un marco empírico, una metodología replicable y una visión que traduce los flujos en política pública para dar pasos hacia ello.

En síntesis, la medición de las interdependencias no son un fin en sí mismo, sino un medio para construir una región más integrada, equilibrada y sostenible. El reto que sigue es transformar la evidencia en acuerdos, los acuerdos en políticas y las políticas en inversiones y resultados tangibles para los ciudadanos que la recorren cada día.

Referencias

Acuerdo Regional 010 de 2024. Por medio del cual se fija procedimiento para formular y adoptar el Plan Estratégico y de Ordenamiento de la Región Metropolitana - PERM y las acciones para su implementación, seguimiento, evaluación y revisión y se dictan otras disposiciones.

Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=161857>

Acuerdo Regional No. 004 de 2025: Por medio del cual se identifica y declara el Hecho Metropolitano 'Ecosistemas Vitales – Áreas de Especial Importancia Ambiental como estructura de soporte y determinante de desarrollo y de ordenamiento territorial metropolitano', se adopta su ámbito geográfico y se dictan otras disposiciones.

Alkire, S., & Foster, J. (2011). Counting and Multidimensional Poverty Measurement. *Journal of Public Economics*, 95(7–8), 476–487.

Bateman, A., Ramírez, J., Forero, J., & Buitrago, F. (2019). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la definición de una subregionalización funcional en Colombia. Departamento Nacional de Planeación (DNP) & Rimisp – Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.

Bates, J. K. (2014). A Gravitational Model of Crime Flows in Normal, Illinois: 2004–2012. *The Park Place Economist*, 22.

Berdegú J, Jara B, Fuentealba R, Tohá J, Modrego F, Schejtman A, Bro, N (2011) Territorios funcionales en Chile. Documento de Trabajo N102 Programa Dinámicas Territoriales Rurales Rimisp Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, Santiago

Berdegú, J. A., Ramírez, J., Soloaga, I., & Yépez, C. (2019). Delineating functional territories from outer space. *Rimisp – Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural*.

Blattman, C., Duncan, G., Lessing, B., & Tobón, S. (2022). *Gang Rule: Understanding and Countering Criminal Governance*. Becker Friedman Institute for Economics at the University of Chicago.

Camagni, Roberto. (2005). The rationale for territorial cohesion and the place of territorial development policies in the European Model of Society.

Brown LA, Holmes J (1971) The delimitation of functional regions, nodal regions, and hierarchies by functional distance approaches. *J Reg Sci* 11.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2024). Capacidad excedentaria de servicios públicos domiciliarios y equipamientos en Bogotá D.C. [Informe técnico]

Guhl Nannetti, E. (2013). La región hídrica de Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(144), 327–341.

Florida R, Gulden T, Mellander C (2008) The rise of the mega-region. *Cambridge J Reg Econ Soc* 2:459

He, Z., Wang, Z., Xie, Z., Wu, L., & Chen, Z. (2020). Discovering spatial interaction patterns of near repeat crime by spatial association rules mining. *Scientific Reports*, 10, 17270

Jones, Colin (2016) Spatial economy and the geography of functional economic areas. *Environment and Planning B*, , vol. 44(3), pages 486-503, May.

Ley 2199 de 2022. Por medio de la cual se desarrolla el artículo 325 de la constitución política y se expide el régimen especial de la Región Metropolitana Bogotá – Cundinamarca. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=179486>

Lopez-Ghio, R., Ramírez, J. M., Rojas, F., Salazar Echavarría, C., & Bateman, A. (2018). Interdependencia municipal en regiones metropolitanas: El caso de la sabana de Bogotá. <https://doi.org/10.18235/0001085>

Mejía, D. (2016). Evaluating the cost-effectiveness of crime and violence reduction programs in Colombia. Universidad de los Andes, CEDE.

OECD (2012)Redefining "Urban": A New Way to Measure Metropolitan Areas, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264174108-en>.

Puche, K., Angulo, R., Bateman, A., Solano, A., Quiroz, O., & Nieto, B. (2019). Interdependencias municipales en el departamento del Atlántico. Fundesarrollo

RIMISP – Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. (2017). Identificación de territorios funcionales para la RAPE Región Central. Convenio No. 029 de 2016

Rosero Peralta, R., & Cubillos, R. (2024). Territorios funcionales e integradores del departamento del Atlántico. Departamento Nacional de Planeación – Observatorio del Sistema de Ciudades.

Secretaría Distrital de Planeación. (2021). Hechos metropolitanos: Insumos para la construcción de un ámbito territorial indicativo. Bogotá: Secretaría Distrital de Planeación.

Tolbert C, Sizer M (1996) "U.S. Commuting Zones and Labor Market Areas: A 1990 Update," Staff Reports 278812, United States Department of Agriculture, Economic Research Service.

Bases de datos

1. Movilidad

- i. Encuesta de Movilidad 2023 (2023). Secretaría Distrital de Movilidad, Bogotá D.C.
- ii. Censo Nacional de Población y Vivienda (2005). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.
- iii. Censo Nacional de Población y Vivienda (2018). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.

2. Seguridad ciudadana

- i. Registros denuncias hurtos (2020-2023) - Sistema Penal Oral Acusatorio (SPOA) de la Fiscalía General de la Nación (FGN)
- ii. Matriz de Distancia de Google Maps API - 2025
- iii. Proyecciones de población municipal post COVID-19 (2020-2024) - DANE
- iv. Registros base de datos de homicidios (2020-2023) - Policía Nacional de Colombia

3. Seguridad alimentaria

- i. Registro Nacional de Despacho de Carga por Carretera (2023). Ministerio de Transporte.
- ii. Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (2023). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.
- iii. Evaluaciones Agropecuarias Municipales (2023) . Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
- iv. Censo Nacional Agropecuario (2014). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.
- v. Registro de movilización animal (2020). Instituto Colombiano Agropecuario - ICA
- vi. Censo Pecuario Nacional (2024). Instituto Colombiano Agropecuario - ICA

4. Servicios públicos

- i. Consumos históricos de agua potable 2014 - 2023 (2025). Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Publicaciones y Boletines.
- ii. Serie Histórica Informe Nacional de Disposición Final y Aprovechamiento (2024). Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Publicaciones y Boletines.
- iii. Registro Único de Prestadores de Servicios Públicos - RUPS (2024). Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

5. Desarrollo económico

- i. Registro Nacional de Despacho de Carga por Carretera (2023). Ministerio de Transporte.
- ii. Valor Agregado Municipal - Cuentas Nacionales (2023). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.
- iii. Base estadísticas de comercio exterior (2024). Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales - DIAN.
- iv. Registro Único Empresarial y Social (2025). Alcaldía Mayor de Bogotá.

6. Ambiental

- i. Registro Único Nacional de Áreas Protegidas - RUNAP (2025). Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- ii. Subcuencas Hidrográficas (2024). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.

7. Equipamientos sociales del hábitat

- i. Estadísticas Vitales – Registro de Nacimientos (2023). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.
- ii. Bachilleres graduados (2022). Ministerio de Educación Nacional.
- iii. Censo Nacional de Población y Vivienda (2018). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.
- iv. Proyecciones de población municipal (2018). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.

Anexos

Anexos generales

- o 1.1_anexo_listado municipios
- o 1.2_anexo_fuentes_desestimadas
- o 1.3_anexo_escenarios_modelados
- o 1.4_anexo_fuentes_finales

Anexos temática Movilidad

- o 2.1.1A_Anexo_CL_matrizvolumen
- o 2.1.1B_Anexo_CL_matrizsimétrica
- o 2.1.1C_Anexo_CL_matrizinterdependencia
- o 2.1.2A_anexo_migración_matrizvolumen
- o 2.1.2B_anexo_migración_matrizsimétrica
- o 2.1.2C_anexo_migración_matrizinterdependencia
- o 2.1.3A_anexo_tiemповiaje_matrizvolumen
- o 2.1.3B_anexo_tiemповiaje_matrizsimétrica
- o 2.1.3C_Anexo_tiemповiaje_matrizinterdependencia

Anexos temática Equipamientos sociales y del hábitat

- o 2.2.1A_anexo_salud_matrizvolumen
- o 2.2.1B_anexo_salud_matrizsimétrica
- o 2.2.1C_anexo_salud_matrizinterdependencia
- o 2.2.2A_anexo_educación_matrizvolumen
- o 2.2.2B_anexo_educación_matrizsimétrica
- o 2.2.2C_Anexo_Educación_matrizinterdependencia

Anexos temática Seguridad alimentaria

- o 2.3.1A_anexo_alimentos_matrizvolumen
- o 2.3.1B_anexo_alimentos_matrizsimétrica
- o 2.3.1C_anexo_alimentos_matrizinterdependencia
- o 2.3.2A_anexo_carne_matrizvolumen
- o 2.3.2B_anexo_carne_matrizsimétrica
- o 2.3.2C_anexo_carne_matrizinterdependencia

Anexos temática Desarrollo económico

- o 2.4.1A_anexo_manufacturas_matrizvolumen
- o 2.4.1B_anexo_manufacturas_matrizsimétrica
- o 2.4.1C_Anexo_Manufacturas_matrizinterdependencia
- o 2.4.1D_anexo_municipios_manufactureros
- o 2.4.2A_anexo_turismo_matrizvolumen
- o 2.4.2B_anexo_turismo_matrizsimétrica
- o 2.4.2C_anexo_turismo_matrizinterdependencia
- o 2.4.2D_anexo_destinos_turísticos_RMBC
- o 2.4.3A_anexo_internacionalización_matrizvolumen
- o 2.4.3B_anexo_internacionalización_matrizsimétrica
- o 2.4.3C_Anexo_Internacionalización_matrizinterdependencia

Anexos temática Servicios Públicos

- o 2.5.1B_anexo_acueducto_matrizsimétrica
- o 2.5.1A_anexo_acueducto_matrizvolumen
- o 2.5.1C_anexo_acueducto_matrizinterdependencia
- o 2.5.2A_anexo_residuos_matrizvolumen
- o 2.5.2B_anexo_residuos_matrizsimétrica
- o 2.5.2C_anexo_residuos_matrizinterdependencia

Anexos temática Ambiental

- o 2.6.1A_Anexo_hidrografía_matrizvolumen
- o 2.6.1B_anexo_hidrografía_matrizsimétrica
- o 2.6.1C_anexo_Hidrografía_matrizinterdependencia
- o 2.6.2A_anexo_protegidas_matrizsimétrica
- o 2.6.2B_Anexo_Protegidas_matrizinterdependencia

Anexos temática Seguridad ciudadana

- o 2.7.1A_anexo_hurto_matrizvolumen
- o 2.7.1B_anexo_hurtos_matrizsimétrica
- o 2.7.1C_anexo_hurtos_matrizinterdependencia
- o 2.7.2A_anexo_homicidio_matrizvolumen
- o 2.7.2B_anexo_homicidio_matrizsimétrica
- o 2.7.2C_anexo_homicidio_matrizinterdependencia

Anexos IIRMBC

- o 3.1_IIRMBC_Final

Anexos Cartografía Final

- o 1_Mapa_Municipios
- o 2.1_Mapa_CL_hacia
- o 2.3_Mapa_CL_desde
- o 2.2_Mapa_CL_relativo
- o 3.1_Mapa_Migracion_hacia
- o 3.1.1_Mapa_Migracion_desde
- o 3.2_Mapa_Migración_relativo
- o 4_Mapa_Tiempos_Viaje
- o 5.1_Mapa_Salud_volumen
- o 5.2_Mapa_Salud_relativo
- o 6.1_Mapa_Educacion_volumen
- o 6.2_Mapa_Educacion_relativo
- o 7.1_Mapa_Alimentos_volumen
- o 7.2_Mapa_Alimentos_relativo
- o 8.1_Mapa_Carnicos_volumen
- o 8.2_Mapa_Carnicos_relativo
- o 9.1_Mapa_Manufacturas_volumen
- o 9.2_Mapa_Manufacturas_relativo
- o 10_Mapa_Turismo_relativo
- o 10.1_Mapa_Turismo_volumen

- o 11.1_Mapa_Exportaciones_volumen
- o 11.2_Mapa_Exportaciones_relativo
- o 12_Mapa_Acueducto
- o 13.1_Mapa_Residuos_volumen
- o 13.2_Mapa_Residuos_relativo
- o 14_Mapa_Hidrografía
- o 15_Mapa_RUNAP
- o 16_Mapa_Hurtos_relativo
- o 16.1_Mapa_Hurtos_volumen
- o 17_Mapa_Homicidios_relativo
- o 17.1_Mapa_Homicidios_volumen
- o 18_Mapa_regional_final

