

**PROPUESTA DE UN ÍNDICE MULTIDIMENSIONAL DE RIESGO
HIDROMETEOROLÓGICO (IMRHI) PARA LOS MUNICIPIOS DE
CUNDINAMARCA DURANTE 2010-2017.**

Haider Alexander Roa Barrera¹

Trabajo de grado para optar por el título de Economista

Artículo de Investigación

Director:

Luis Camilo Blanco Becerra

M.Sc Salud Ambiental. INSP, México

**Universidad Santo Tomás de Colombia
División de Ciencias Económicas y Administrativas
Facultad de Economía
Bogotá D. C. – 2020**

¹ Universidad Santo Tomás, Facultad de Economía, Fundación CEIBA, Revista CIFE y Observatorio Latinoamericano de Desarrollo Sostenible OLDS. Código Postal: 251250. Gachalá, Cundinamarca, Colombia. haiderroa@usantotomas.edu.co, haiderroa95@gmail.com

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN.....	4
2.	ABSTRACT	4
3.	INTRODUCCIÓN	5
4.	MARCO TEÓRICO	8
4.1	Generalidades	8
4.2	Estructura del índice	11
4.3	Causalidad del Riesgo.....	12
4.4	Análisis de Componentes Principales	13
4.5	Métodos de clasificación de datos	15
5	METODOLOGÍA	16
5.1	Datos	16
5.2	Análisis de Componentes Principales	17
5.5	Análisis Espacial Gráfico	18
6	RESULTADOS.....	19
6.1	Desastres Naturales de origen hidrometeorológico en Cundinamarca.....	19
6.2	Estructura del Índice Multidimensional de Riesgo Hidrometeorológico	21
6.3	Índice de Exposición.....	22
6.4	Índice de Vulnerabilidad	24
6.5	Índice de capacidad Institucional.....	28
6.6	Índice Multidimensional de Riesgo Hidrometeorológico.....	31
7	CONCLUSIONES	36
8	AGRADECIMIENTOS.....	37
9	BIBLIOGRAFÍA	38
10	ANEXOS	41

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Ciclo de retroalimentación del riesgo de desastre.	7
Figura 2. Estructura del Índice Mundial de Riesgo.....	11
Figura 3. Explicación gráfica del Análisis de Componentes Principales (ACP).....	14
Figura 4. Estacionalidad Normalizada - Frecuencia de Eventos y Afectación.....	20
Figura 5. Evolución del índice de Exposición.....	22
Figura 6. Mapa de la exposición ante eventos hidrometeorológicos.	23
Figura 7. Evolución del índice de Vulnerabilidad.	25
Figura 8. Mapa de la vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos.....	26
Figura 9. Evolución del índice de Incapacidad Institucional.....	29
Figura 10. Mapa de Incapacidad Institucional ante eventos hidrometeorológicos.	30
Figura 11. Evolución del índice de Riesgo Hidrometeorológico.....	31
Figura 12. Mapa Multidimensional de Riesgo Hidrometeorológico.....	32
Figura 13. Relación entre Vulnerabilidad y Exposición.....	34
Figura 14. Relación entre Deficiencia de Capacidad y Exposición.....	34
Figura 15. Relación entre Deficiencia de Capacidad y Vulnerabilidad.	35

LISTA DE TABLA

Tabla 1. Frecuencia e incidencia de los eventos hidrometeorológicos.	19
Tabla 2. Afectación a personas por evento y provincia de Cundinamarca.	20
Tabla 3. Municipios con Mayores Niveles de Exposición.....	23
Tabla 4. Municipios con Mayores Niveles de Vulnerabilidad.	27
Tabla 5. Municipios con Mayores Niveles de Incapacidad Institucional.....	30
Tabla 6. Municipios con Mayores Niveles de Riesgo Hidrometeorológico.....	33

1. RESUMEN

En el presente estudio se construyó un índice multidimensional que permite describir el riesgo potencial de sufrir un desastre natural en los municipios de Cundinamarca, con el fin de ofrecer una herramienta empírica y trazable que contribuya al análisis y planeación de acciones públicas y privadas tendientes a atender a la población afectada o en peligro de afectación por eventos naturales extremos. Para ello se utilizó una estructura modular anidada según la cual se mide el riesgo como la interacción entre un evento natural extremo de origen hidrometeorológico y el grado de exposición, vulnerabilidad y carencia de capacidades de las comunidades en términos de desarrollo socioeconómico. En consecuencia, se cuenta con tres índices, doce subíndices y 53 indicadores ponderados por medio del análisis de componentes principales.

Los resultados evidencian que las inundaciones y los deslizamientos de tierra son los eventos de mayor potencial destructivo, donde el 53% de las 15 provincias de Cundinamarca reflejan altos niveles de afectación. La variabilidad del riesgo departamental está inducida en primera instancia por las condiciones de exposición, seguido por los factores de vulnerabilidad y capacidad institucional, los cuales determinan la facultad de respuesta de las sociedades e instituciones ante las posibles situaciones de emergencia.

Palabras Claves: Riesgo, exposición, vulnerabilidad, capacidad institucional.

2. ABSTRACT

In this study, a multidimensional index was built to describe the potential risk of a natural disaster in the municipalities of Cundinamarca, in order to offer an empirical and traceable tool that contributes to the analysis and planning of public and private actions aimed at serving the affected population or at risk of affectation by extreme natural events. For this purpose, a nested modular structure was used according to which risk is measured, such as the interaction between an extreme natural event of hydrometeorological origin and the degree of exposure, vulnerability

and lack of capacities of communities in terms of socio-economic development. Consequently, there are three index, twelve subscript and 53 indicators weighted by the analysis of major components.

The results show that floods and landslides are the most destructive events, where 53% of the 15 provinces of Cundinamarca reflect high levels of affectation. Since the variability of departmental risk is induced in the first instance by exposure conditions, followed by factors of vulnerability and institutional capacity, which determine the power of response of societies and institutions to possible emergencies.

Key words: Risk, exposure, vulnerability, institutional capacity.

3. INTRODUCCIÓN

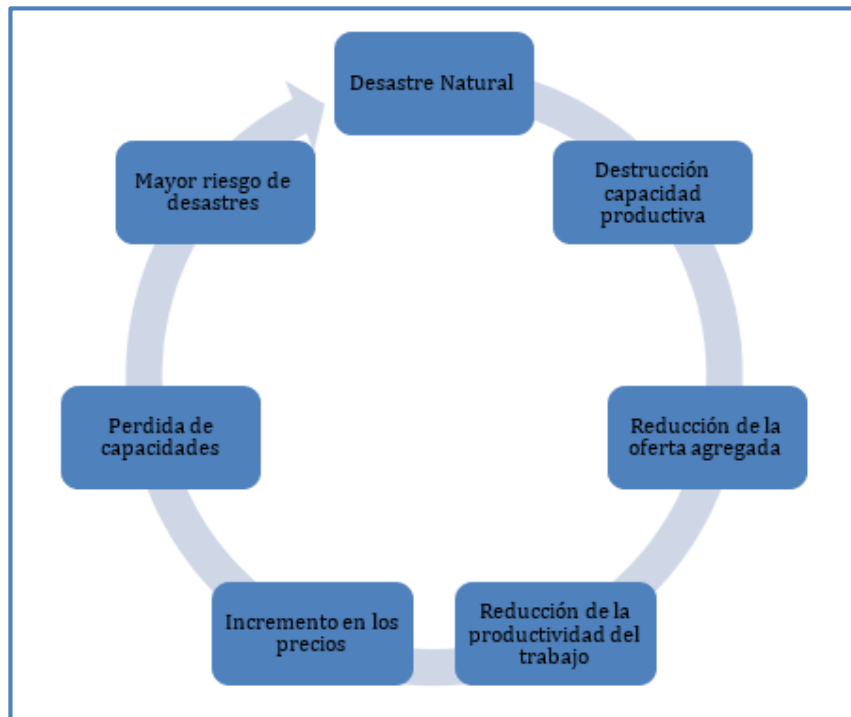
La observación de las tendencias internacionales y nacionales respecto al riesgo por desastres naturales permiten constatar que **I)** durante el periodo comprendido entre 1980-2010 estos eventos hidrometeorológicos fueron los más frecuentes a nivel mundial (Welle & Birkmann, 2015); **II)** en 2010 estos fenómenos generaron una desaceleración del 0,12% en el crecimiento del PIB de los países de América Latina y el Caribe (BID-CEPAL, 2012); **III)** que las mayores pérdidas de vidas y viviendas en Colombia están relacionadas con deslizamientos e inundaciones (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2013); **IV)** que un 52% del territorio de Colombia se encuentra expuesta a inundaciones mientras que un 12% presenta una alta vulnerabilidad (Campos, Rubiano, Díaz, & Costa, 2012) y riesgo debido a que concentran cerca del 28% de la población (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2013); y **V)** que Cundinamarca, al encontrarse en una región montañosa presenta valles aluviales, erosión y una alta actividad antrópica que expone el 65% de su territorio al riesgo de sufrir inundaciones, deslizamientos en masa, avenidas torrenciales, crecidas de ríos, entre otros eventos (Campos, y otros, 2012), lo

cual constituye un importante factor de riesgo para la población en términos de vidas, medios de subsistencia y capacidad de recuperación ante desastres naturales.

Es importante destacar que la deforestación es la principal actividad humana que incrementa el riesgo de desastres por fenómenos hidrometeorológicos. En este sentido, al observar que durante 2000-2007 Colombia ha perdido cerca de 2 millones de hectáreas de bosques y que la Región Andina es la segunda que presenta la mayor pérdida, se puede prever un incremento del riesgo. Esto sin contar con la deforestación sufrida entre 2008-2020 en la región (Castillo & Agudelo, 2017). Por otro lado, las deficiencias en el ordenamiento territorial y en la infraestructura de servicios públicos, así como la afluencia de población desplazada y migrante, la proliferación de asentamientos en zonas no aptas, el déficit cualitativo de las viviendas y la pobreza (PNUD, 2011), son factores que agudizan la vulnerabilidad de las poblaciones ante eventos naturales extremos e incrementan el riesgo de desastre (Campos, Rubiano, Díaz, & Costa, 2012) particularmente en Cundinamarca.

De igual modo, la ubicación geográfica del país y su afectación cíclica por el fenómeno “el Niño Oscilación del Sur” (ENOS) y La Niña provocan que la frecuencia e intensidad de las lluvias sea pronunciada, lo que a su vez genera una mayor afectación por los fenómenos hidrometeorológicos, principalmente en la Región Andina y Cundinamarca (Vega & Castiblanco, 2016). Por otra parte, se puede destacar que los fenómenos hidrometeorológicos que desembocan en desastres naturales pueden afectar de forma aguda al tejido económico y social de las comunidades, lo cual genera un ciclo de profundización del riesgo, la exposición, vulnerabilidad y deterioro de la capacidad de prevención, respuesta y recuperación ante estos (Figura 1), forjando una trampa de riesgo que imposibilita el desarrollo socioeconómico de los municipios menos favorecidos.

Figura 1. Ciclo de retroalimentación del riesgo de desastre.



Fuente: Elaboración propia basada en las observaciones de (Rodríguez, 2016)

Ante este panorama se reconoce la necesidad de diseñar indicadores de riesgo que permitan cuantificar el mismo y mejorar los modelos probabilísticos a fin de incrementar la capacidad de gestión de riesgo de desastres en las comunidades del país en términos de preparación ex-ante y atención ex-post. Para este fin, la presente investigación propone un índice multidimensional de riesgo hidrometeorológico utilizando la propuesta metodológica de Birkmann et al. (2011), Birkmann & Welle (2015) y Welle & Birkmann (2015). En este sentido, se utilizaron datos de la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD), el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para construir indicadores a nivel municipal en Cundinamarca, equivalentes a los utilizados en el Índice Mundial de Riesgo.

En este orden de ideas, el índice propuesto fue descompuesto en tres subíndices referentes a la exposición, vulnerabilidad e incapacidad de respuesta de los municipios, mediante el uso de

factores socioeconómicos, ambientales, de salud y gobernanza, con el fin de analizar e interpretar la variabilidad del riesgo a nivel departamental. No obstante, a diferencia del Índice Mundial de Riesgo, el índice propuesto en la presente investigación se enfoca en el riesgo asociado a los eventos hidrometeorológicos como: inundaciones, deslizamientos, crecidas de ríos, avenidas torrenciales, entre otros, debido a la riqueza hídrica del departamento y su exposición a este tipo de eventos. Se espera que la estimación de un índice de riesgo de desastres naturales con posibilidades de descomponerse permita a los entes locales, regionales y nacionales, así como a las organizaciones de la sociedad civil, contar con una mayor comprensión de la complejidad de los desastres naturales y priorizar rutas de atención y protocolos de emergencia con base en las capacidades logísticas y financieras con las que cuenta el departamento, incrementando así la capacidad de acción y minimizando las pérdidas potenciales de estos eventos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Generalidades

Se entiende por desastre toda aquella interrupción en el funcionamiento de una comunidad a causa de un evento natural extremo que genera pérdidas significativas en términos de vidas, bienes materiales, económicos y ambientales que exceden su capacidad de respuesta. En este sentido, el riesgo de desastre se asume como la probabilidad de que un evento natural genere las consecuencias antes expuestas. Birkmann & Welle (2015) sostienen que el riesgo se determina por la interacción entre un evento natural extremo influenciado por cambios climáticos de origen antrópico o humano y el grado de exposición², vulnerabilidad³ y carencia de

² La exposición se entiende como la presencia de personas, viviendas, recursos, infraestructura y bienes en regiones que pueden ser afectadas de forma negativa por eventos naturales de forma variable a nivel temporal y espacial.

³ La vulnerabilidad se relaciona con la predisposición, fragilidad, deficiencias y carencia de capacidades e infraestructura para hacer frente a los efectos adversos que generan los eventos naturales extremos, tales como: sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos, crecidas de ríos, incendios, entre otros (Cardona et al. 2012; Welle & Birkmann, 2015).

capacidades⁴ de las comunidades en términos de desarrollo socioeconómico. Es decir, que el riesgo de desastres naturales es el producto de la interacción física entre variaciones del entorno medioambiental que se producen de forma aleatoria y las características socioeconómicas de las comunidades que limitan su capacidad de respuesta y recuperación ante las consecuencias que estas variaciones generan (UNISDR 2004; Wisner et al. 2004; IDEA 2005; Birkmann 2006).

De acuerdo con estas categorías, Birkmann et al. (2011), Birkmann & Welle (2015) y Welle & Birkmann (2015) desarrollaron el Índice Mundial de Riesgo (World Risk Index) el cual traduce los conceptos de exposición, vulnerabilidad y carencia de capacidades en una estructura modular de indicadores que conjuntamente permiten cuantificar y describir el riesgo potencial de que un evento natural extremo genere un desastre. Así mismo, existen diversos estudios que plasman el desarrollo de indicadores de riesgo hidrometeorológicos en el entorno nacional e internacional. En este contexto, se contemplan tres trabajos acotados a nivel Sudamérica los cuales tienen como objetivo explorar la viabilidad y utilidad de sus investigaciones como una herramienta empírica que diagnostica y mide el nivel de riesgo en sus territorios como el margen de vulnerabilidad que enfrentan sus poblaciones al momento de contrarrestar los impactos negativos ante posibles eventos o desastres naturales, con el fin de estimular y sensibilizar a los tomadores de decisiones públicas y políticas sobre la importancia de rediseñar sus estrategias de planificación, control y mitigación del riesgo.

De acuerdo a lo anterior, la primera investigación a destacar es el índice DRIB (Indicadores de Riesgo de Desastres en Brasil) basado en la metodología del índice de riesgo mundial (Birkmann & Welle, 2015), el cual proporciona una herramienta que busca evaluar, dinamizar y comunicar los niveles de exposición, vulnerabilidad y riesgo, para implementar medidas de prevención y adopción al cambio climático con la finalidad de reducir riesgos a nivel local, regional y nacional. Para el desarrollo de este índice se utilizaron 36 indicadores, de los cuales 4

⁴ La capacidad de respuesta se asocia con la gobernación, preparación frente a desastres, sistemas de alerta tempranas, existencia de infraestructura y servicios médicos, sociales y económicos y activos que permitan la adaptación ante futuros eventos naturales extremos.

corresponden a los niveles de exposición ante eventos naturales y 32 que coinciden al ámbito de la esfera social (susceptibilidad, capacidad de afrontamiento y capacidad de adaptación), fundamentado y relacionado con los Objetivos de Desarrollo del Milenio y el Marco de Acción de Hyogo (aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres) de las Naciones Unidas (Queiroz, Welle & Birkmann, 2016).

El segundo estudio analiza las zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile, a través de un indicador de riesgo climático comunal, el cual integra la variabilidad de los fenómenos de amenaza, exposición, vulnerabilidad y resiliencia. Generando una base de datos con el fin de determinar la revisión retrospectiva de los decretos de declaración de zonas en riesgo entre los años 1984 y 2013, estimulando estrategias de protección y mitigación del riesgo para poder focalizar eficientemente los recursos y las políticas públicas del país. Igualmente, enfatizan que se ha de generar nuevos estudios a distintas escalas geográficas, que permitan cuantificar y evaluar el panorama actual y futuro para proponer adaptaciones adecuadas y adaptarse a la crisis sobrenatural a través del tiempo (Henríquez, Aspee & Quense, 2016).

Finalmente, la tercera investigación a recalcar corresponde al Índice Municipal de Riesgo de Desastres ajustado por Capacidades, el cual expone y visualiza el riesgo que reflejan los municipios ante eventos naturales (inundaciones, movimientos en masa, flujos torrenciales, sequías e incendios, geológicos, etc.) y la facultad de respuesta de los entes de control para gestionarlo. El **IMRC** está constituido por el índice de riesgo (amenaza, exposición, vulnerabilidad) y el índice de capacidad focalizado en 3 dimensiones (financiera, gestión del riesgo y socioeconómica), que a través de su metodología ordenó los municipios de bajas capacidades y mayor peligro a mayores capacidades y menor peligro, a fin de clasificar la dispersión del riesgo ajustado a nivel nacional. Este trabajo se desarrolló con el fin de priorizar las políticas públicas para la prevención y mitigación del riesgo, así como para focalizar la inversión del presupuesto regional, departamental y nacional, entre otras acciones de carácter interinstitucional (DNP, 2019).

4.2 Estructura del índice

Con el fin de construir un Índice Multidimensional de Riesgo Hidrometeorológico (IMRHI) equivalente al Índice Mundial de Riesgo de Birkmann & Welle (2015), se procedió a utilizar la misma metodología de este último, incluyendo algunas variaciones necesarias para poder ofrecer un índice a escala municipal en vez de nacional. Para ello se siguió la estructura modular del Índice Mundial de Riesgo (Figura 2), el cual se compone de tres índices relativos a **I)** la exposición de las comunidades a eventos naturales extremos, **II)** la vulnerabilidad de estas comunidades, en el sentido de las características socioeconómicas que poseen y que pueden generar una incapacidad de respuesta y resistencia ante los fenómenos hidrometeorológicos, y finalmente **III)** se estimó un índice de incapacidad de respuesta comunitaria e institucional que agrupa el Índice de Incapacidad de Afrontamiento y el Índice de Incapacidad de Adaptación, debido a que la disponibilidad de datos a nivel municipal restringe la cantidad de indicadores para cada uno de estos.

Figura 2. Estructura del Índice Mundial de Riesgo.



Fuente: (Welle & Birkmann, 2015)

La mencionada estructura modular permite descomponer el IMRHI en sus partes constitutivas y determinar qué factores son los que determinan el riesgo de desastre en cada uno de los municipios. Cabe destacar que, por la fórmula planteada, el IMRHI supone una sumatoria de las

características socioeconómicas que incrementan el riesgo de que un evento natural extremo desemboque en un desastre y que el índice de exposición supone un ponderador que expresa la magnitud potencial del desastre en términos de personas afectadas. Por último, es necesario identificar que el Índice Mundial de Riesgo fue construido a nivel nacional, por lo cual diversos indicadores no están disponibles a nivel municipal, razón que justifica la revisión de los indicadores disponibles.

4.3 Causalidad del Riesgo

Dentro del índice de riesgo departamental, es importante analizar el tipo de causalidad que presentan los índices relativos anteriormente expuestos en el nivel de riesgo final. De esta manera, el índice de exposición prioriza los eventos naturales que están ampliamente extendidos en cada uno de los municipios y representan un daño importante en términos físicos, por esta razón, se esperaría que al aumentar los fenómenos naturales en un determinado territorio estos generen a su vez mayor riesgo en el grado de afectación de sus comunidades (aumento de personas muertas, deterioro en sus capacidades locativas y ambientales, escasez de bienes y servicios, entre otros) ,el cual representa una causal de riesgo directo.

El índice de vulnerabilidad, describe las características estructurales y las condiciones de los grupos poblacionales a escala departamental, que a través de variables relacionadas con las dimensiones de la pobreza multidimensional permiten medir e identificar las barreras que reflejan los individuos para acceder y movilizar recursos a fin de gestionar el riesgo ante eventos hidrometeorológicos (DNP, 2019), por tal motivo, se esperaría que la causalidad de riesgo sea menor cuando los individuos reflejen bajos niveles de vulnerabilidad (aumento de las oportunidades en educación, salud y nivel de vida) o alto grado de riesgo cuando estos presenten múltiples carencias en la esfera social.

Por último, el índice de capacidad institucional, enfatiza el uso de variables institucionales, fiscales y ambientales, con el fin de determinar la facultad de respuesta de los individuos y entes de control para reaccionar inmediatamente y gestionar los impactos de un evento natural en un

determinado momento, donde la variabilidad de un fenómeno natural permite comprender la capacidad de una sociedad para transformar o adaptarse a los cambios climáticos y sociales que estos generan a través del tiempo. Cabe destacar que el departamento de Cundinamarca, mediante la ley 617 de 2000, categorizo sus municipios atendiendo las características de su población e ingresos corrientes de libre destinación (véase Anexo 5).

“Los ingresos corrientes de libre destinación son los ingresos corrientes excluidas las rentas de destinación específica, entendiendo por éstas las destinadas por ley o acto administrativo a un fin determinado. Los ingresos corrientes son los tributarios y los no tributarios, de conformidad con lo dispuesto en la ley orgánica de presupuesto” (CONPES, 2002).

De esta manera, se espera que la capacidad de respuesta de los municipios que se encuentran en los primeros rangos de categorización sean más eficientes y efectivos al momento de contrarrestar y/o reducir los impactos ante un evento hidrometeorológico, ya que estos cuentan con mayores recursos financieros y fiscales para planificar, coordinar y dirigir políticas públicas que promuevan la prevención y mitigación del riesgo, a comparación de los municipios que se ubican en las últimas posiciones de categorización donde se espera que su causalidad de riesgo sea mayor, toda vez que los ingresos propios (tributarios y no tributarios) pesan poco en los municipios de categorías de menor tamaño poblacional y de menores ingresos (Delgado & Acero, 2015), los cuales pueden generar deficiencias en la gobernabilidad, transparencia e institucionalidad de sus entes de control para la atención temprana ante posibles fenómenos naturales.

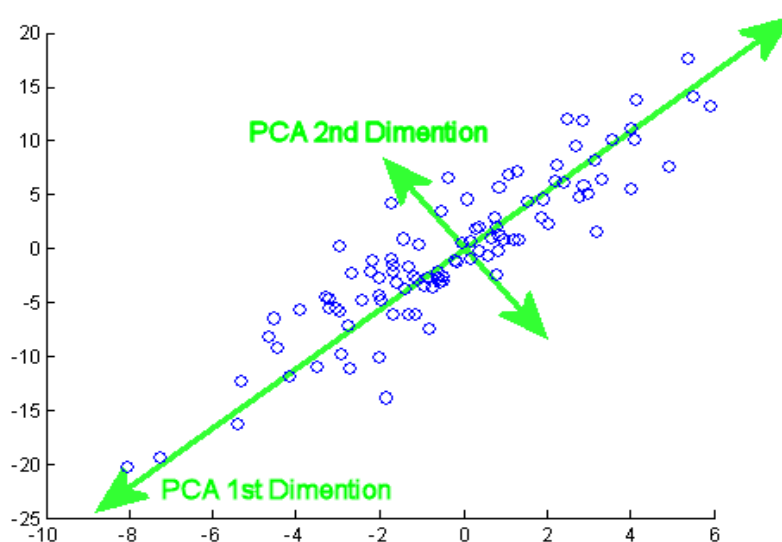
4.4 Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica multivariante de la estadística descriptiva que tiene como objetivo identificar combinaciones lineales no correlacionadas de las variables que exponen la mayor varianza. Cabe destacar que una propiedad de los componentes principales es que cada uno maximiza la varianza que explica, en tal sentido los primeros son los que poseen la mayor capacidad explicativa y los que permiten captar la existencia de una variable

latente o un fenómeno estructural no observado a simple vista. Por consiguiente, al representar el conjunto de variables original en sus componentes principales, se puede identificar cómo se correlacionan las variables y cómo estas responden en conjunto a fenómenos latentes no observados (Castillo & Agudelo, 2017).

En este sentido, si las variables obedecen a un mismo fenómeno latente se pueden ponderar con los valores propios del análisis y evitar el cálculo reiterado de un mismo fenómeno. Por otro lado, si las variables obedecen a fenómenos latentes diferenciados, esto se puede captar por los vectores propios, a través de los cuales se pueden ponderar las variables de forma similar a la antes expuesta. De forma gráfica, el ACP proyecta una línea sobre los datos originales que explica la mayor varianza posible. Posteriormente proyecta otra línea ortogonal (perpendicular) a la misma que explica la varianza restante y así sucesivamente hasta explicar todo el conjunto de variables en n dimensiones. Una propiedad de este análisis es su condición de ortogonalidad (perpendicularidad), están incorrelacionadas, de modo que el ACP es capaz de catalogar a las variables de acuerdo a su varianza y distinguir fenómenos independientes entre sí. En la Figura 3 se puede observar el proceso antes expuesto.

Figura 3. Explicación gráfica del Análisis de Componentes Principales (ACP).



Fuente: Stackoverflow.

De forma algebraica, el análisis de componentes principales se basa en los conceptos de valor propio y vector propio, los cuales son obtenidos de la matriz de correlación de las variables. Es decir, sea c la matriz de correlación de los indicadores $n \times n$, se calcula un vector propio v de $n \times 1$ dimensiones que cumple con la condición según la cual, al multiplicarse por c , este es igual al valor propio λ multiplicado por v . En este sentido, cada vector propio está asociado a un valor propio que en su conjunto explican la varianza total de los n indicadores.

$$c * v = a = \lambda v$$

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{2n} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{3n} \\ c_{n1} & c_{n2} & c_{n3} & c_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v_{11} \\ v_{21} \\ v_{31} \\ v_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \\ a_{n1} \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} v_{11} \\ v_{21} \\ v_{31} \\ v_{n1} \end{bmatrix}$$

Cabe destacar que existen n vectores propios cuya varianza explicada es igual a λ . Por esta razón, el análisis de componentes principales realiza un proceso de maximización de varianza por medio de los multiplicadores de Lagrange para categorizar y ordenar los vectores propios de mayor a menor variabilidad explicada. Por consiguiente, se establece la restricción donde $v'v=1$.

4.5 Métodos de clasificación de datos

La clasificación de datos, agrupa características similares en clases de manera que los elementos dentro de cada proporción sean lo más homogéneos posibles (Pardo & Cabarcas, 2014), con el fin de codificar y categorizar los datos en orden de importancia o relevancia. Esta distribución se puede definir manualmente o utilizando los métodos de clasificación que proporciona el software ArcMap 10.5, como lo son:

- **“Intervalo Manual:** Este define sus propias clases, el cual permite agregar manualmente los cortes de clase y establecer rangos adecuados para los datos.

- **Intervalo Definido:** Este especifica el tamaño del intervalo utilizado para definir una serie de clases con el mismo rango de valores.
- **Intervalo Equivalente:** Este divide el rango de valores de atributo en subrangos de igual tamaño. De este modo, puede especificar el número de intervalos.
- **Cuantil:** En una clasificación de cuantiles, cada clase contiene el mismo número de entidades.
- **Cortes Naturales (Jenks):** Con una clasificación Natural Breaks (Jenks), las clases se basan en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Los cortes de clase se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases.
- **Intervalo Geométrico:** El esquema de clasificación de intervalos geométricos crea cortes de clase basadas en los intervalos de clase que tienen una serie geométrica.
- **Desviación Estándar:** El método de clasificación de la desviación estándar muestra la diferencia entre el valor de atributo de una entidad y el valor medio.

Los métodos de clasificación se utilizan para clasificar campos numéricos para la simbología graduada" (Esri, s.f).

5 METODOLOGÍA

El presente estudio utilizó una metodología cuantitativa y métodos del análisis multivariante para cumplir con el objetivo general del mismo.

5.1 Datos

Con el fin de construir el Índice Multidimensional de Riesgo Hidrometeorológico (IMRHI) se utilizaron datos de fuente secundaria. Entre estos se puede destacar a la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastre (UNGRD), de la cual se extrajeron los datos históricos relativos a la afectación por eventos hidrometeorológico en los municipios de Cundinamarca, con los cuales

se construyó el índice de exposición a estos fenómenos. En segundo lugar, se utilizaron datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para reforzar el índice de exposición con las proyecciones de la población residente en los municipios de Cundinamarca, además de datos de la cobertura en salud, educación, entre otros para crear el índice de vulnerabilidad.

En tercer lugar, se usaron datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP) para reforzar el índice de vulnerabilidad con base en las encuestas del SISBEN y se seleccionaron los indicadores relativos al desempeño municipal y presupuestos públicos para obtener estimaciones de la capacidad de respuesta de los municipios del departamento. Finalmente, se hizo uso de informes administrativos de los ministerios y superintendencias del país. Cabe destacar que los indicadores seleccionados y su fuente se discuten a mayor profundidad en los resultados sobre la estructura del IMRHI.

5.2 Análisis de Componentes Principales

Con el fin de identificar las correlaciones y la posible ponderación entre los indicadores que conforman los índices de exposición, vulnerabilidad y capacidades institucionales, se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP). Esta metodología permite reducir la dimensionalidad de un conjunto de variables en una serie de componentes que expresan la varianza original. Cabe resaltar que se realizaron múltiples análisis de componentes principales de forma anidada. Es decir, se realizó para ponderar los indicadores y crear 12 subíndices, posteriormente estos subíndices se ponderaron para crear 3 índices los cuales finalmente se volvieron a ponderar para crear el índice final de Riesgo Hidrometeorológico.

No obstante, se resalta que no se utilizaron las componentes propiamente dicho, sino que se extrajeron los pesos de acuerdo con una variación de la propuesta de Nicoletti et al (2000) y la OCDE (2008), utilizada por Castillo & Agudelo (2017). De acuerdo con esta propuesta, se hace

uso de la propiedad del autovector, según la cual $v'v=1$, en este sentido el valor al cuadrado de los vectores propios es igual a la unidad, lo cual puede ser usado como una ponderación.

Con esta propiedad en mente, se seleccionaron los vectores propios cuyo valor propio fuera superior a uno, posteriormente para cada variable se seleccionó la ponderación más alta entre los vectores propios y esta fue ponderada por el valor propio asociado. En consecuencia, se obtuvo una serie de ponderaciones que finalmente fueron estandarizadas para que su suma fuera igual a la unidad. De este modo, la ponderación de cada indicador estuvo determinada por el vector propio donde presentó mayor peso y ésta, al ser ponderada por el valor propio permitió contar con dos criterios, la independencia de diversas variables latentes o fenómenos y la cantidad de varianza explicada.

5.5 Análisis Espacial Gráfico

Finalmente, a fin de identificar conglomerados de riesgo y relaciones espaciales se realizó un análisis espacial de forma gráfica. Es decir, se realizaron mapas de calor de cada uno de los índices y visualmente se identificaron los conglomerados regionales que comparten características comunes. Esto permitió un análisis de las posibilidades de expansión de la afectación y las necesidades de focalización y el despliegue logístico requerido para atender a la población afectada y a la potencialmente afectada. El método de clasificación utilizado fue Natural Breaks (Jenks) integrado en el software ArcMap 10.5, donde los valores calculados se dividieron en cinco clases, con el siguiente esquema de categorización: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

6 RESULTADOS

6.1 Desastres Naturales de origen hidrometeorológico en Cundinamarca

De acuerdo con los datos de la UNGRD, los desastres naturales más frecuentes en Cundinamarca son las inundaciones y los deslizamientos de tierra. Se destaca que las inundaciones generan la mayor afectación con más del 80% de las viviendas averiadas y las víctimas humanas (Tabla 1). No obstante, se observa que los deslizamientos tienen una alta incidencia en la destrucción de las viviendas. Por consiguiente, las inundaciones y los deslizamientos son los eventos de mayor potencial destructivo, por esta razón, se puede suponer que los territorios con mayor exposición a estos eventos están a su vez en mayor riesgo de desastres.

Tabla 1. Frecuencia e incidencia de los eventos hidrometeorológicos.

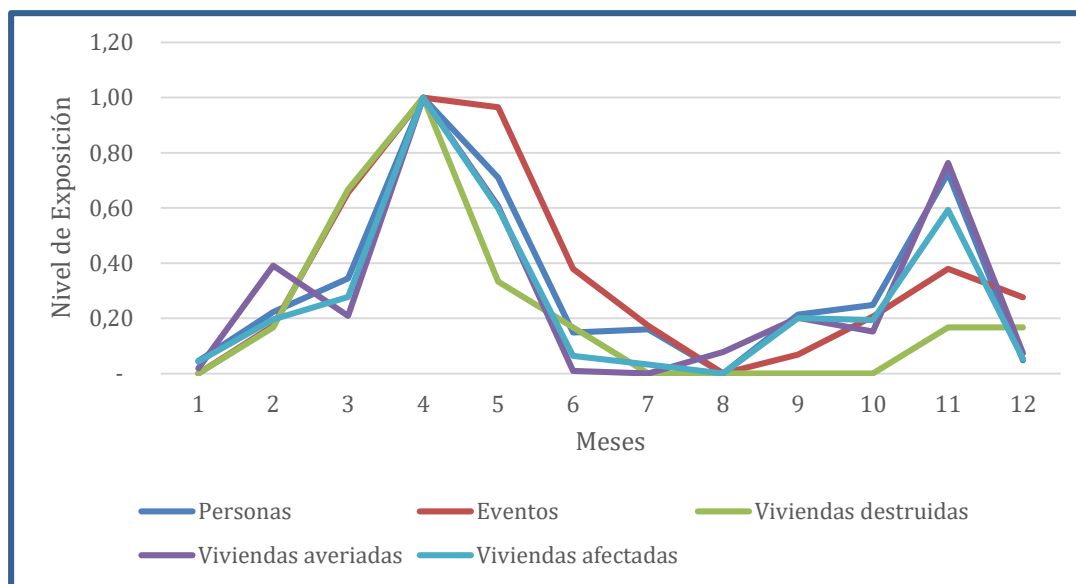
Eventos	% Cantidad	% Personas afectadas	% Viviendas averiadas	% Viviendas destruidas	% Viviendas afectadas
Avalancha	1%	0%	0%	0%	0%
Avenida Torrencial	0%	0%	0%	0%	0%
Creciente Súbita	3%	0%	0%	1%	0%
Deslizamiento	39%	18%	11%	34%	12%
Granizada	1%	1%	1%	0%	1%
Inundación	56%	81%	88%	65%	87%

Fuente: Elaboración Propia - IMRHI.

Por otra parte, se destaca que la exposición y ocurrencia de estos fenómenos presenta estacionalidad. En la figura 4 se observa la estacionalidad normalizada, es decir, la frecuencia de

eventos y la afectación que provocan estandarizados para cada año entre 0 y 1. Se observa claramente que los meses más críticos son abril y noviembre, mientras que los más tranquilos son enero, agosto y diciembre.

Figura 4. Estacionalidad Normalizada - Frecuencia de Eventos y Afectación.



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Finalmente, se puede observar que esta afectación es heterogénea en el territorio. En la tabla 2 los datos demuestran que las avalanchas se concentran en las provincias de Soacha y Sumapaz; las avenidas torrenciales sólo afectan a Gualivá; las crecientes súbitas afectan de forma casi equitativa a Medina, Alto Magdalena y Sumapaz; las granizadas afectan principalmente al Guavio, Almeidas y la Sabana Centro. Por otra parte, las inundaciones y los deslizamientos de tierra afectan proporcionalmente a 8 provincias.

Tabla 2. Afectación a personas por evento y provincia de Cundinamarca.

Provincias / Eventos	Avalancha	Avenida Torrencial	Creciente Súbita	Deslizamiento	Granizada	Inundación
Almeidas	0%	0%	0%	1%	25%	3%
Alto Magdalena	0%	0%	22%	0%	0%	6%

Bajo Magdalena	0%	0%	0%	1%	0%	11%
Gualivá	2%	100%	0%	12%	0%	11%
Guavio	0%	0%	3%	8%	44%	3%
Magdalena Centro	0%	0%	0%	10%	0%	3%
Medina	0%	0%	35%	0%	0%	2%
Oriente	3%	0%	8%	13%	0%	8%
Rionegro	1%	0%	0%	16%	0%	7%
Sabana Centro	0%	0%	0%	3%	23%	8%
Sabana Occidente	7%	0%	5%	0%	8%	5%
Soacha	49%	0%	0%	11%	0%	8%
Sumapaz	37%	0%	22%	12%	0%	11%
Tequendama	0%	0%	4%	11%	0%	8%
Ubaté	0%	0%	1%	3%	0%	6%
Total general	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia – IMRHI

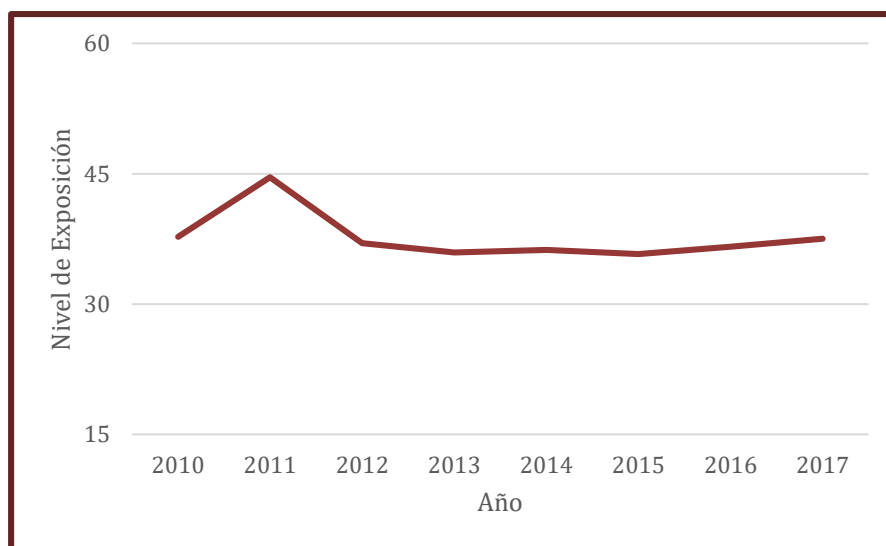
6.2 Estructura del Índice Multidimensional de Riesgo Hidrometeorológico

Tras conocer la generalidad de los eventos hidrometeorológicos en Cundinamarca, se procedió a realizar una selección de los indicadores disponibles que se pueden relacionar teóricamente con la exposición, vulnerabilidad e incapacidad de los municipios. En el anexo 1 se muestran los indicadores seleccionados y su fuente. Así mismo, se observa la ponderación obtenida por el método de Nicoletti et al (2000) para construir los 12 subíndices y los tres índices constitutivos del IMRHI.

6.3 Índice de Exposición

Para el índice de exposición se utilizaron cuatro indicadores: la tasa de personas afectadas por eventos hidrometeorológicos por 100.000 habitantes, las tasas de viviendas averiadas y destruidas por cada 100.000 viviendas, y el área expuesta a desastres naturales según el Departamento Nacional de Planeación. De acuerdo con el método de ponderación, la variable que explica la mayor varianza es el área expuesta (35,47%), seguida por la tasa de personas afectadas (26,04%) y viviendas averiadas (25,24%). Los resultados de la figura 5 reflejan un pico de exposición en 2011, lo cual estaría explicado por el temporal de lluvias relacionadas con el fenómeno del Niño de dicho año. Posteriormente se observa una normalización de la tendencia y un ligero crecimiento desde 2015.

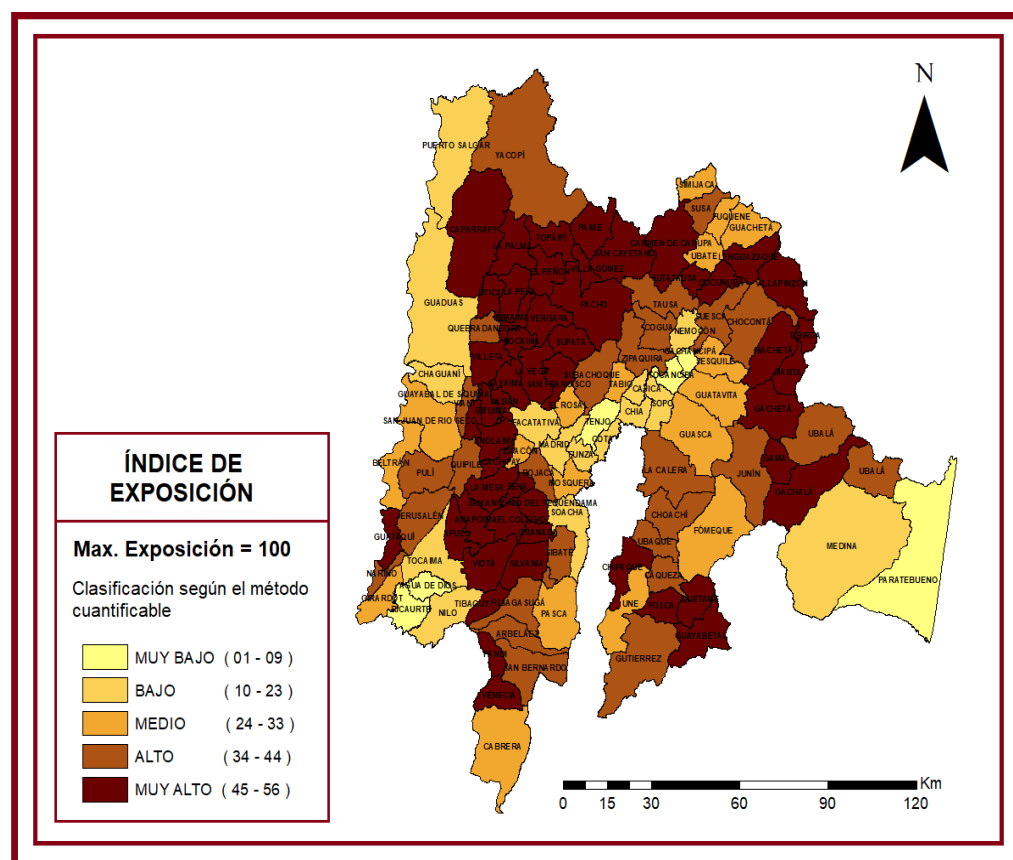
Figura 5. Evolución del índice de Exposición



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Se evidencia que los municipios de las provincias de Tequendama, Gualivá, Ríonegro, Ubaté, Almeidas y Guavio presentan los mayores niveles de exposición ante eventos hidrometeorológicos (Figura 6). Se resalta que el mapa de la exposición dibuja un arco alrededor de Bogotá y sus municipios más próximos.

Figura 6. Mapa de la exposición ante eventos hidrometeorológicos.



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Teniendo en cuenta el método Natural Breaks (Jenks), 51 de 116 municipios de Cundinamarca se posicionaron en el rango muy alto de exposición. En la tabla 3 se pueden observar los principales municipios (top 12) con mayores niveles de riesgo, analizando el impacto de los eventos naturales con las variables que componen este indicador.

Tabla 3. Municipios con Mayores Niveles de Exposición

Municipio (Top 12)	Tasa de personas afectadas	Tasa de viviendas destruidas	Tasa de viviendas averiadas	Área expuesta	Exposición
Guayabetal	2,55	0,81	19,70	97,61	56,02
Útica	5,68	11,59	9,65	96,20	54,92
Venecia	10,75	0,08	4,71	100,00	54,78

Pandi	1,96	0,35	12,16	100,00	54,26
Paime	5,83	0,26	10,30	95,61	52,83
Nimaima	2,03	0,67	6,69	99,91	52,39
Nocaima	3,48	0,07	4,31	100,00	52,01
Albán	2,00	0,08	13,08	94,74	51,96
Pacho	2,49	0,07	7,26	98,34	51,87
Supatá	2,87	0,00	4,89	99,63	51,80
La Peña	2,64	0,00	3,66	99,62	51,28
La Vega	0,61	0,03	4,60	100,00	51,07

Fuente: Elaboración propia – IMRH

Cabe destacar que el municipio de Guayabetal por sus características geográficas y variabilidad climática lo hacen propenso a un mayor grado de exposición. En los últimos años este municipio ha evidenciado altos niveles de erosión y amenaza de deslizamientos de tierra en áreas inestables y de alta pendiente, afectando la principal malla vial que comunica la capital del país con el departamento del Meta y las condiciones de calidad de vida de sus pobladores.

Por último, los municipios de la provincia de Gualivá (Útica, Nimaima, Nocaima, Supatá, La Peña y La Vega) y los municipios de la provincia de Ríonegro (Paime y Pacho) se ven afectados principalmente por el aumento de los cauces de la cuenca de Ríonegro en temporada de lluvias, la cual “hace parte de la hoya hidrográfica del Río Magdalena, y se ubica al norte del departamento de Cundinamarca” (CAR, s.f).

6.4 Índice de Vulnerabilidad

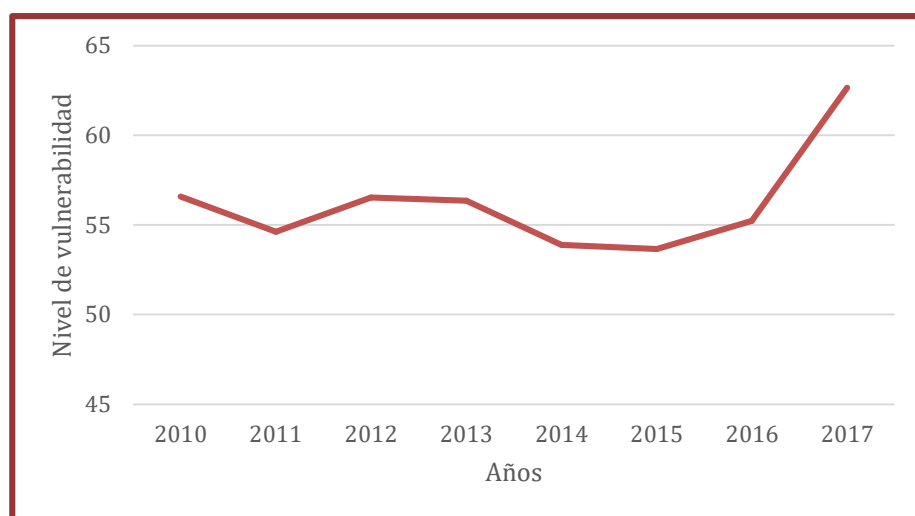
El Índice de Vulnerabilidad se construye con base en cinco subíndices correspondientes a: infraestructura pública, viviendas, malnutrición, pobreza y capacidad económica.

En el subíndice de infraestructura pública se miden las deficiencias en términos de servicios públicos como: alcantarillado, acueducto, riesgo de calidad del agua, cobertura eléctrica, aseo, gas natural e internet. El subíndice de vivienda pondera las deficiencias cualitativas y cuantitativas que experimentan los hogares de cada municipio. Con respecto a la nutrición, sólo se contó con

un indicador referente al bajo peso al nacer. En cuanto la pobreza se utilizó la ratio de dependencia⁵, cobertura del programa familias en acción, una proxy de informalidad de acuerdo con el **FILCO** (Fuente de Información Laboral de Colombia) y los meses promedio de cotización a seguridad social. Finalmente, el índice de incapacidad económica ranquea a los municipios por su valor agregado, los ingresos tributarios corrientes, el inverso de la categoría del municipio, el inverso de la población urbana, inverso de la población entre 11 y 35 años, cobertura de servicios financieros y el inverso de la tasa global de participación.

De acuerdo con el método de ponderación, la variable que refleja mayor varianza es la capacidad económica e ingresos (26,68%), seguida por infraestructura pública (20,81%), pobreza y dependencia (19,92%), vivienda (18,73%) y malnutrición (13,85%). Los resultados de la figura 7 presentan una tendencia aleatoria para el periodo 2011 al 2015 y un leve crecimiento a partir del 2016, esto puede ser explicado por lo impactos socioeconómicos de la coyuntura departamental.

Figura 7. Evolución del índice de Vulnerabilidad.

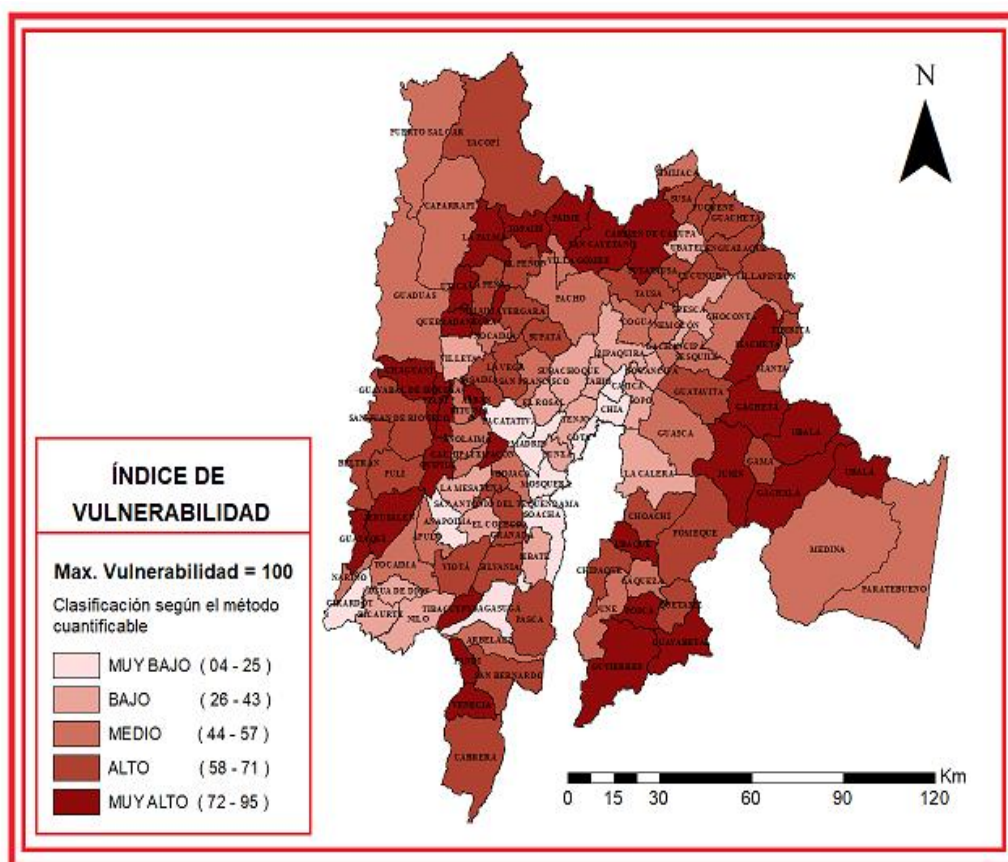


Fuente: Elaboración propia – IMRHI

⁵ Mide la cantidad de menores de 14 años y mayores de 65 años por cada persona en edad productiva.

Las provincias de Alto Magdalena, Tequendama, Magdalena Centro, Rionegro, Guavio y Oriente muestran los niveles más altos de vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos (Figura 8). No obstante, el mapa resalta que las zonas norte, oriente y occidente de Cundinamarca presentan los mayores impactos, mientras que en la zona centro refleja bajos niveles de susceptibilidad.

Figura 8. Mapa de la vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos.



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

El 24% de los 116 municipios del departamento se posicionaron en el status muy alto de vulnerabilidad. La tabla 4 establece los municipios (top 12) más susceptibles del departamento, en el que se tiene un impacto máximo del 95,42% y un mínimo del 3,57% que corresponde a la población de Madrid de la provincia de Sabana Occidente.

Tabla 3. Municipios con Mayores Niveles de Vulnerabilidad.

Provincia	Municipio (Top 12)	Vulnerabilidad	Rango
Tequendama	Quipile	95,42	Muy Alto
Sumapaz	Tibacuy	88,12	Muy Alto
Guavio	Junín	87,96	Muy Alto
Ubaté	Carmen de Carupa	84,27	Muy Alto
Magdalena Centro	Vianí	81,73	Muy Alto
Guavio	Gachalá	81,71	Muy Alto
Oriente	Fosca	81,39	Muy Alto
Rionegro	Topaipí	81,03	Muy Alto
Rionegro	San Cayetano	80,33	Muy Alto
Sumapaz	Venecia	80,28	Muy Alto
Guavio	Ubalá	79,92	Muy Alto
Magdalena Centro	Chaguaní	79,27	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Los mayores niveles de vulnerabilidad del municipio de Quipile se demuestran con los valores obtenidos en el ámbito de infraestructura pública, el cual expone una alta deficiencia del 73,5% a nivel departamental, seguido por los factores de condiciones de vivienda, pobreza y capacidad económica e ingresos con un impacto del 73,6%, 64,3% y 20,91% respectivamente.

De igual modo, es importante destacar que 3 de los 8 municipios de la región del Guavio hacen parte del top 12 de los principales municipios con mayor vulnerabilidad, esto se debe a que reflejan moderadas deficiencias en las variables de infraestructura pública, pobreza y capacidad económica e ingresos. Cabe destacar que esta provincia se ubica en un punto estratégico de la cordillera oriental, siendo fundamental para el desarrollo de Bogotá y demás provincias del departamento, toda vez que en ella se encuentran importantes reservas hídricas que abastecen gran parte de los municipios de la sabana y la capital. Así mismo, la central hidroeléctrica del

Guavio conforma el sistema de interconexión eléctrica la cual dinamiza la economía de Cundinamarca y la nación (CORPOGUAVIO, s.f).

6.5 Índice de capacidad Institucional

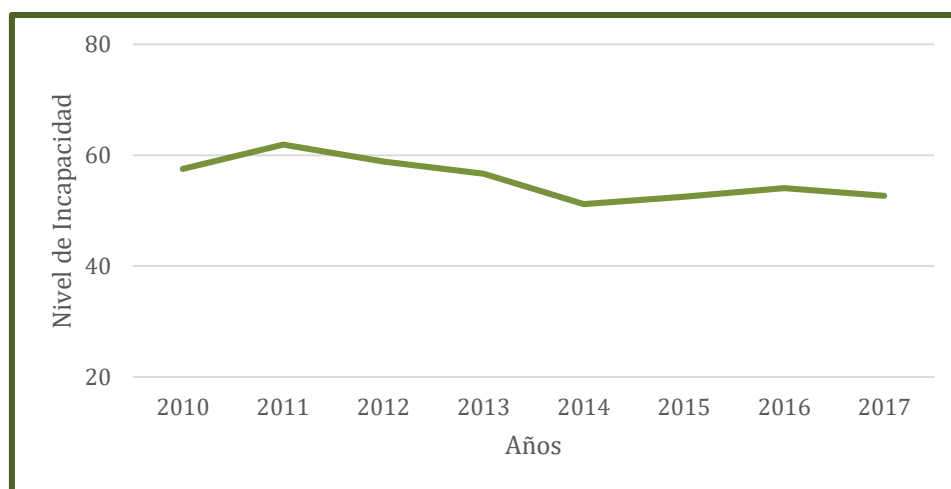
El Índice de Incapacidad Institucional se desarrolló con base en seis subíndices correspondientes a: gobiernos y autoridades, servicios médicos, educación, inequidad de género, inversiones y medio ambiente.

Para la elaboración del subíndice de gobiernos y autoridades se utilizaron variables como: cantidad de escuelas, índice de desempeño fiscal, recaudo tributario per cápita e índice de desempeño integral. El subíndice de servicios médicos cuantifico las tasas de mortalidad infantil ajustada, mortalidad de menores de 5 años y mortalidad general, además, se utilizó el porcentaje de población en régimen subsidiado y la baja calidad de las IPS. Con respecto a la educación e investigación, se tuvo en cuenta las coberturas netas en educación media, ratio de docentes por alumnos, nivel educativo promedio, puntaje promedio ICFES lectura crítica G11, puntaje promedio ICFES matemáticas G11 y el porcentaje de sedes educativas conectadas a internet. En cuanto a la inequidad de género, se emplearon las brechas de coberturas y matrículas (Niñas/total de matrícula), jefatura del hogar (diferencia respecto a 0,5), nivel educativo y la tasa de violencia intrafamiliar. El subíndice de inversión pondero las deficiencias cuantitativas del gasto público en salud y el gasto público en educación, también se utilizó la tasa de defunciones no fetales como un proxy de las deficiencias en el sistema de salud. Por último, el subíndice de medio ambiente se analizó mediante las proporciones de superficie – SINAP, área total de ecosistemas, área de bosque estable y área de forestación.

Conforme al método de ponderación, la variable que expone mayor varianza es gobierno y autoridades (22,7%), seguida por educación e investigación (19,7%), servicios médicos (17,9%), inequidad de género (16,9%) y medio ambiente (14,8%).

Los resultados de este índice muestran un pico de carencia de capacidades en 2011 (figura 9), el cual estaría explicado por el impacto y la facultad de respuesta de las entidades gubernamentales e institucionales a los altos niveles de exposición que registro el departamento a causa del fenómeno del niño. Igualmente, se observa el descenso de la tendencia y un leve crecimiento desde 2014

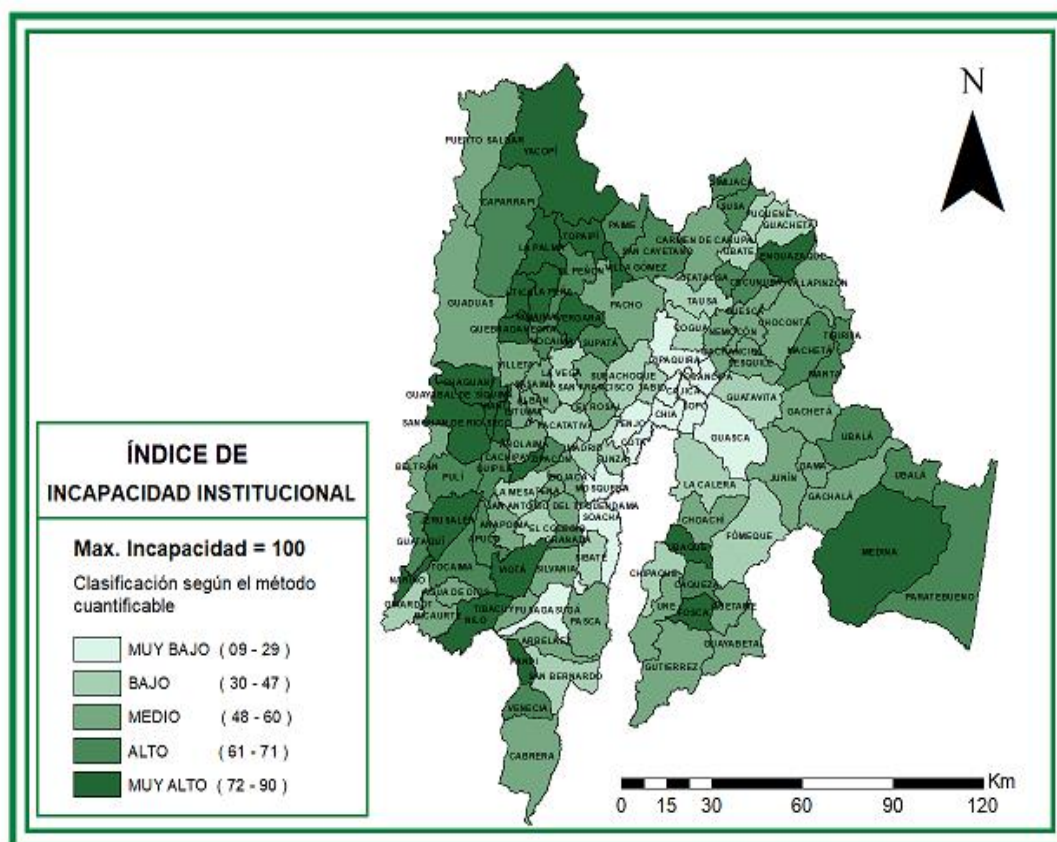
Figura 9. Evolución del índice de Incapacidad Institucional.



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Se evidencia que las provincias de Alto Magdalena, Magdalena Centro, Gualivá, Ríonegro y Medina exponen los mayores niveles de incapacidad institucional ante eventos hidrometeorológicos (Figura 10). Además, es importante resaltar que los municipios (Soacha, Mosquera, Cota y Chía) que limitan con el distrito capital se posicionaron en el rango muy bajo de categorización, es decir, estos municipio reflejan un alto compromiso de gobernabilidad, institucionalidad y transparencia de sus instituciones ante la planificación, coordinación y mitigación del riesgo. La tabla 5 ofrece una visión general de los 12 municipios con mayores niveles de incapacidad institucional, teniendo en cuenta el metodo cuatificable de clasificasicación y su nivel de percepción a nivel departamental.

Figura 10. Mapa de Incapacidad Institucional ante eventos hidrometeorológicos.



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Tabla 4. Municipios con Mayores Niveles de Incapacidad Institucional.

Provincia	Municipio (Top 12)	Incapacidad Institucional	Rango
Alto Magdalena	Jerusalén	90,29	Muy Alto
Rionegro	Topaipi	86,98	Muy Alto
Rionegro	La Palma	84,18	Muy Alto
Magdalena Centro	Vianí	82,36	Muy Alto
Magdalena Centro	San Juan de Río Seco	79,42	Muy Alto
Gualivá	Vergara	79,18	Muy Alto
Gualivá	La Peña	79,14	Muy Alto
Alto Magdalena	Nariño	78,37	Muy Alto
Rionegro	Villagómez	76,76	Muy Alto
Ubaté	Lenguazaque	76,31	Muy Alto

Magdalena Centro	Chaguaní	76,29	Muy Alto
Gualivá	Útica	75,59	Muy Alto

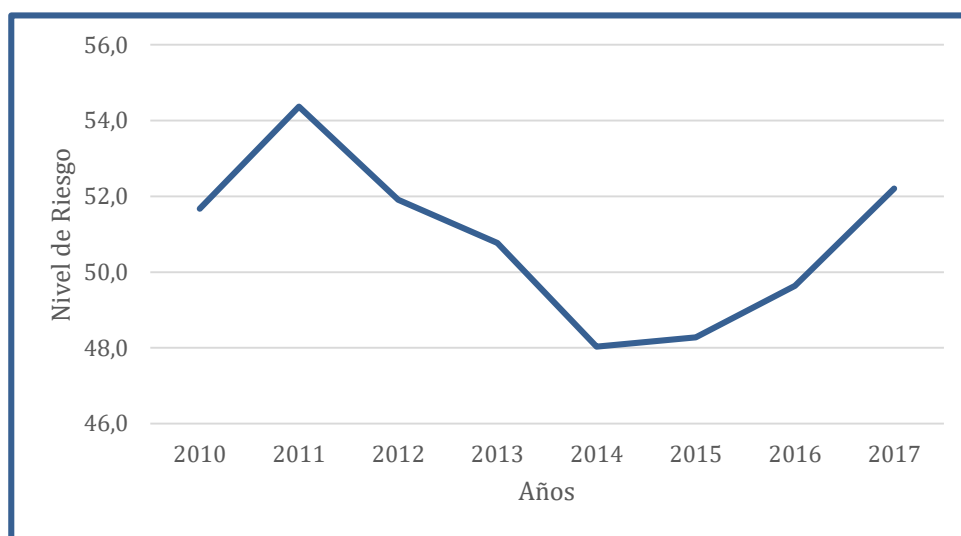
Fuente: Elaboración propia – IMRHI

El punto más crítico de incapacidad institucional lo refleja el municipio de Jerusalén, debido a su desfavorable puntuación en las categorías de gobierno y autoridad (31,2%), servicios médicos (59,3%), educación e investigación (30,2%) y medio ambiente (4,25%). En contraste, los municipios de la provincia de Rionegro (La Palma, Topaipí y Villa Gómez) evidencian fuertes deficiencias en las condiciones primarias de inequidad de género, educación y gobierno.

6.6 Índice Multidimensional de Riesgo Hidrometeorológico

El índice de riesgo hidrometeorológico es un producto de los subíndices de exposición, vulnerabilidad y capacidad institucional. Los resultados de este índice presentan un pico de riesgo para 2011, lo cual estaría explicado por la variabilidad de sus componentes de adaptabilidad y afrontamiento de la sociedad y sus instituciones ante los impactos del fenómeno del niño de dicho año (Figura 11). Posteriormente, se observa el descenso de la tendencia y un ligero crecimiento desde 2014.

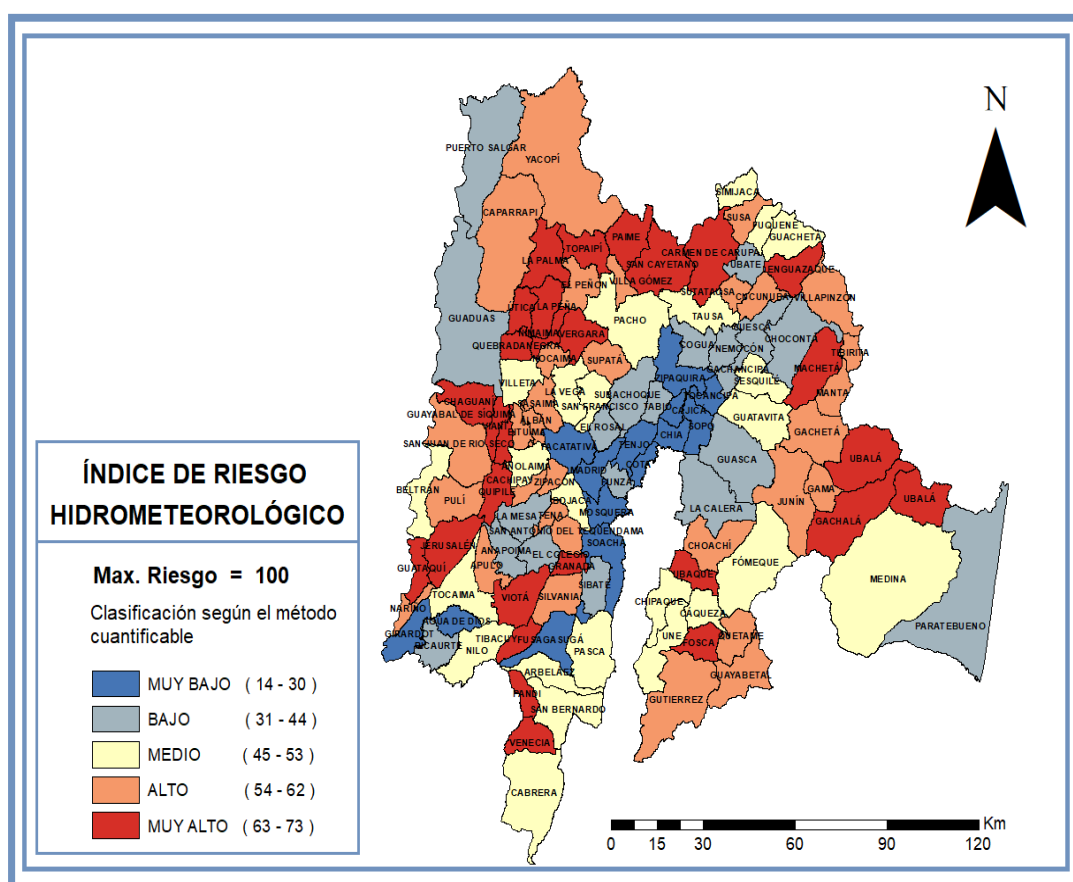
Figura 11. Evolución del índice de Riesgo Hidrometeorológico.



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Se identifica que las provincias de Alto Magdalena, Magdalena Centro, Gualivá, Ríonegro y Guavio reflejan altos niveles de riesgo ante eventos hidrometeorológicos (Figura 12). Igualmente, los municipios de las provincias de Soacha, Sabana Occidente y Sabana Centro exponen bajos valores de riesgo, con un impacto del 29,3%, 32,7% y 29,7% respectivamente. Cabe resaltar que las poblaciones de estas últimas provincias se posicionan en los primeros rangos de categorización municipal a nivel departamental, según la ley 617 de 2000.

Figura 12. Mapa Multidimensional de Riesgo Hidrometeorológico.



Fuente: Elaboración Propia - IMRHI

No obstante, el 22% de los 116 municipios de Cundinamarca se posicionaron en el rango muy alto de categorización. La tabla 6 determina los municipios (top 12) con mayores niveles de riesgo a nivel departamental.

Tabla 5. Municipios con Mayores Niveles de Riesgo Hidrometeorológico.

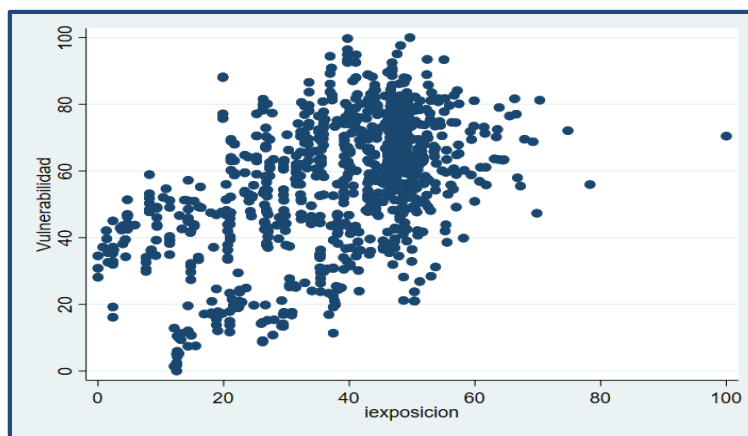
Provincia	Municipio (Top 12)	Riesgo Hidrometeorológico	Rango
Rionegro	Topaipí	73,4	Muy Alto
Alto Magdalena	Jerusalén	71,8	Muy Alto
Rionegro	La Palma	70,8	Muy Alto
Tequendama	Quipile	70,5	Muy Alto
Magdalena Centro	Vianí	70,0	Muy Alto
Gualivá	Útica	69,7	Muy Alto
Sumapaz	Venecia	69,5	Muy Alto
Oriente	Fosca	69,1	Muy Alto
Sumapaz	Pandi	68,4	Muy Alto
Rionegro	San Cayetano	68,4	Muy Alto
Sumapaz	Tibacuy	67,3	Muy Alto
Magdalena Centro	Bituima	66,3	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia – IMRHI

En general, los resultados obtenidos reflejan una fuerte influencia de exposición en el nivel de riesgo final, toda vez que 3 de los municipios que presenta mayores niveles de riesgo se encuentran entre los 12 municipios más expuestos ante eventos hidrometeorológicos, como lo son: Útica, Venecia y Pandi Cundinamarca.

De este modo, el riesgo a nivel departamental esta inducido en primera instancia por la variabilidad de exposición que enfrenta una población en un determinado territorio, seguido por los factores de vulnerabilidad y capacidad institucional, los cuales determinan la facultad de respuesta de las sociedades e instituciones para contrarrestar los impactos negativos en el corto, mediano y largo plazo. De acuerdo a lo anterior, la figura 13 muestra la relación entre los índices de vulnerabilidad y exposición ante eventos hidrometeorológicos.

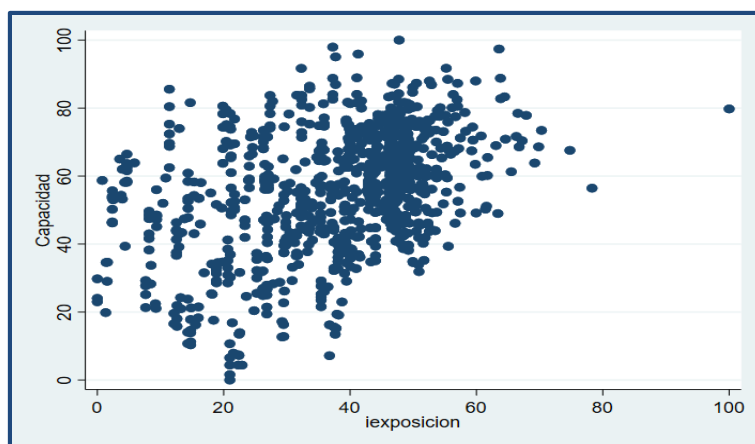
Figura 14. Relación entre Vulnerabilidad y Exposición.



Fuente: Elaboración Propia - IMRHI

Los resultados evidencian una tendencia lineal positiva/moderada con un coeficiente de correlación de 0,54, es decir, un incremento en el grado de exposición se relaciona con un aumento en los valores de vulnerabilidad, donde la variable explicada (Y) presenta la mayor dispersión de los datos respecto a su media (véase Anexo 2). En efecto, el municipio de Venecia de la provincia de Sumapaz posee un nivel de exposición de 54,7% y un valor de vulnerabilidad de 80,2% para el mismo periodo de investigación. Igualmente, la figura 14 refleja la interacción entre los índices de deficiencia de capacidad y exposición, el cual presenta una relación lineal positiva más débil con un coeficiente de correlación de 0,42 y una heterogeneidad de 293,0 respecto a la media de la variable dependiente (Véase Anexo 3).

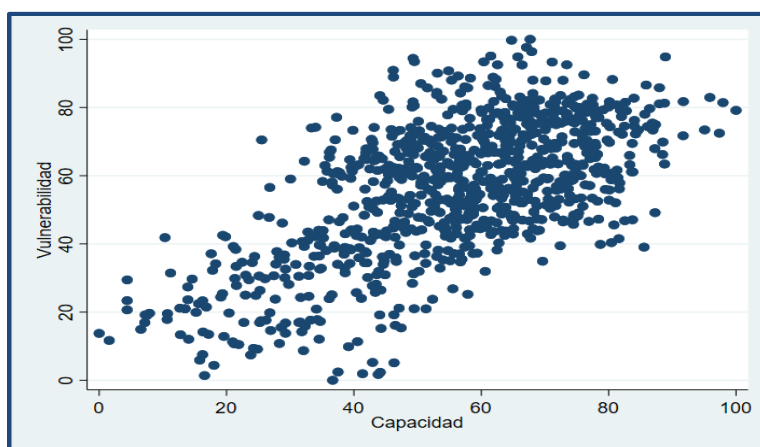
Figura 16. Relación entre Deficiencia de Capacidad y Exposición.



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Toda vez que un aumento en el grado de exposición se relaciona con una alta incapacidad institucional, esta relación es lógica, debido a que ante mayores niveles de exposición y desastres, las instituciones pierden capacidad de inversión y planificación, lo cual rezaga el fortalecimiento de sus instrumentos de coordinación, planificación y mitigación. Finalmente, la figura 15 da a conocer la correlación entre deficiencia de capacidad y vulnerabilidad. Los resultados plasman una tendencia lineal positiva más alta con un coeficiente de 0,68, donde un incremento de X (incapacidad) se relaciona con un aumento en los valores de Y (vulnerabilidad), reflejando una variabilidad en los datos de 372,9 respecto a la media de la variable explicada (véase Anexo 4).

Figura 18. Relación entre Deficiencia de Capacidad y Vulnerabilidad.



Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Por ejemplo, los municipios de Vianí y Chaguaní tienen valores de incapacidad relativamente altos (Vianí: 82,3% y Chaguaní: 76,2%) y al relacionar la variabilidad de este indicador con los valores del segundo índice (vulnerabilidad), se obtiene que estos presentan un nivel de 81,7% y 79,2% respectivamente. No obstante, al analizar la interacción de estos indicadores en el nivel de riesgo final, se evidencia que estos municipios de la provincia de Magdalena Centro reflejan un impacto del 70,0% y 62,7% proporcionalmente, a causa de su moderada exposición a eventos naturales extremos. En resumen, se esperaría que un municipio con altos niveles de exposición

ante eventos hidrometeorológicos, pueda contrarrestar el riesgo respectivo a través de bajos valores de vulnerabilidad y mayores rendimientos de su capacidad institucional.

7 CONCLUSIONES

En el presente estudio, se construyó el índice multidimensional de riesgo hidrometeorológico el cual permite identificar el peligro potencial de sufrir un desastre natural en los municipios de Cundinamarca a través del tiempo, toda vez que el IMRHI mide la interacción del riesgo entre la variabilidad de un evento natural y el grado de exposición, vulnerabilidad y carencia de capacidades de las comunidades en términos de desarrollo socioeconómico. En primera instancia, se logró identificar que las inundaciones y los deslizamientos de tierra son los eventos más frecuentes a nivel departamental, debido a que las inundaciones generan la mayor afectación con más del 80% de las viviendas averiadas y las víctimas humanas, seguido por los deslizamientos de masa los cuales tienen una alta incidencia en la destrucción de las viviendas.

En segunda instancia, los resultados indican que 10 de las 15 provincias de Cundinamarca (Almeidas, Alto Magdalena, Gualivá, Guavio, Magdalena Centro, Medina, Oriente, Ríonegro, Tequendama y Ubaté) reflejan de manera proporcional moderados niveles de exposición, vulnerabilidad e incapacidad institucional, que a través de la metodología cuantitativa de clasificación del análisis espacial gráfico, permitió identificar la expansión de la afectación, las necesidades de focalización y el despliegue logístico requerido para atender a la población afectada y a la potencialmente afectada ante posibles eventos hidrometeorológicos. Sin embargo, es importante resaltar que las regiones de Soacha, Sabana Occidente y Sabana Centro presentan bajos niveles de riesgo, toda vez que al estar cerca de la capital del país y tener una relación comercial y económicamente activa, les ha permitido mejorar notablemente sus condiciones de vida, institucionalidad y desempeño fiscal respecto al resto de provincias del departamento.

En tercera instancia, se ha de evaluar los impactos de los resultados anteriormente analizados y de esta manera identificar acciones de prevención y gestión del riesgo de desastres a nivel

departamental. Cabe destacar que los mecanismos de control, previsión y mitigación del riesgo es una corresponsabilidad de los gobiernos departamentales, regionales y municipales, los cuales integran la participación del sector privado y de organizaciones sociales, civiles y comunitarias, con el fin de dinamizar la eficiencia y efectividad de las estrategias departamentales de respuesta ante emergencias y posibles desastres por eventos naturales. Partiendo de esta afirmación, es de vital importancia que los entes interinstitucionales fortalezcan los procesos de planificación, coordinación y dirección de sus políticas de control mediante herramientas y métodos que permitan optimizar los sistemas de atención temprana ante posibles emergencias, con la finalidad de reducir los impactos y las pérdidas ocasionadas en la población, los bienes sociales, económicos y ambientales.

Para este fin, se pudo establecer los municipios con mayor riesgo y necesidad, de modo que existe un criterio para establecer una agenda de diálogo para lograr estos fines. Por último, se debe focalizar la atención en los municipios con altos valores de vulnerabilidad y carencia de capacidades con el objetivo de fortalecer los niveles de inversión pública los cuales permitan contrarrestar el impacto de las necesidades básicas insatisfechas y dinamizar el cierre de las brechas de desigualdad, ya que al presentarse un evento natural estas poblaciones serían las más afectadas, toda vez que “se debe propender por gestionar los riesgos, cuando existen, y no esperar para gestionar los desastres” (Castillo, 2014).

8 AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios porque a través de cada circunstancia que se presentó durante este proceso me dio la fuerza, la sabiduría e inteligencia para llegar a la meta. En segundo lugar, agradezco el apoyo financiero del Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados (CEIBA) para el desarrollo de la investigación y a Alberto Castillo Aroca por su valioso apoyo como acompañante regional ante la fundación CEIBA. Finalmente, a mi tutor de investigación, M. Sc Luis Camilo Blanco Becerra, por su disponibilidad de tiempo, sus aportes y orientaciones en las diferentes etapas del artículo de investigación.

9 BIBLIOGRAFÍA

- BID-CEPAL. (2012). *Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia*. Bogotá: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Birkmann, J., & Welle, T. (2015). Assessing the risk of loss and damage: Exposure, vulnerability and risk to climate-related hazards for different country classifications. *International Journal of Global Warming*.
- Birkmann, J., T, W., Krause, D., Wolfertz, J., Suarez, D., & Setiadi, N. (2011). World Risk Index: Concept and Results. *Worldriskreport*, 13-42.
- Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. In: *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. Tokyo, Japan: United Nations University Press, 9-54.
- Campos, A., Holm-Nielsen, N., Díaz, C., Rubiano, D., Costa, C., Ramírez, F., & Dickson, E. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, Un aporte para la construcción de políticas públicas*. Bogotá: Banco Mundial.
- Campos, A., Rubiano, D., Díaz, C., & Costa, C. (2012). Comportamiento del riesgo de desastres en Colombia. En A. Campos, N. Holm-Nielsen, C. Díaz, D. Rubiano, C. Costa, F.
- Castillo, M. (2014). *Cómo se construye la vulnerabilidad en Cundinamarca, Colombia, o la historia de la eterna pobreza (de la vivienda) rural*. Bogotá D.C: Institut Français d'Études Andines.
- Castillo, A., & Agudelo, S. (2017). *Productividad laboral y calidad del empleo en los departamentos de Colombia durante 2008-2016*. Bogotá D.C.
- CAR. (s.f). *Delimitación y colocación de las cuencas*. Ambiental Ltda.
- Cardona et al. (2012). Determinants of risk: Exposure and vulnerability, in managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- CONPES. (2002). RESULTADOS DE LA GESTIÓN FISCAL DE DEPARTAMENTOS Y MUNICIPIOS AÑO 2000. *Consejo Nacional de Política Económica y Social*, 1- 48.

- CORPOGUAVIO. (s.f). *Corporación Autónoma Regional del Guavio*. Gachalá Cundinamarca.
- Delgado, S., & Acero, L. (2015). Análisis de la dependencia fiscal de los municipios de sexta categoría del departamento de Boyacá, durante el periodo 1996-2012. *Apuntes del CENES*, 215-246.
- DNP. (2019). Índice Municipal de Riesgo de Desastres ajustado por Capacidades. *Departamento Nacional de Planeación*.
- Esri. (s.f). *Métodos de clasificación de datos*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>
- Fundación CEIBA. (2020). *Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados*. Bogotá D.C.
- Gobernación de Cundinamarca. (2016). *Sistema departamental de gestión del riesgo de desastres*. Bogotá D.C.
- Henríquez, C., Aspee, N., & Quense, J. (2016). Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. *Revista de Geografía Norte Grande*, 27-44.
- IDEA. (2005). Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Main Technical Report. *IADB/IDEA Program of Indicators for Disaster Risk Management. Universidad Nacional de Colombia, Manizales*.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2013). *Estrategia de protección financiera para la reducción de la vulnerabilidad fiscal ante la ocurrencia de desastres naturales en Colombia. 2013*. Bogotá: MHCP.
- Pardo, C.E., & Cabarcas, G. (2014). *Métodos estadísticos multivariados en investigación social*. Santa Marta Colombia.
- PNUD. (2011). *Informe Nacional de Desarrollo Humano en Colombia*. Bogotá: PNUD.
- Queiroz, L., Welle, T., & Birkmann, J. (2016). Disaster Risk Indicators in Brazil: A Proposal Based on The World Risk Index. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 251-272.

- Ramírez, & E. Dickson, *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, Un aporte para la construcción de políticas públicas* (págs. 11-71). Bogotá: Banco Mundial.
- Revista *CIFE*. (2020). Economía, sociedad, historia de la economía. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Rodríguez, N. (2016). IMPACTO DE LOS DESASTRES NATURALES SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN COLOMBIA DURANTE EL PERIODO 1986 – 2015. *Tesis - Universidad de la Sabana*, 1-34.
- Senado de la República de Colombia. (24 de 07 de 2020). LEY 617 DE 2000. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0617_2000.html
- UNISDR. (2004). *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. New York: United Nations.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2018). *Informe segunda temporada de lluvias 2017*. Bogotá D.C.
- Vega, L., & Castiblanco, J. (2016). INUNDACIONES Y GESTIÓN DEL RIESGO EN COLOMBIA: UN ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DEL ESTADO Y EL ROL DEL ASEGURAMIENTO DESDE EL 2003 AL 2013. *Trabajos de grado*, 1-46.
- Welle, T., & Birkmann, J. (2015). The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale. *Journal of Extreme Events*, 2, 1-34.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davies, I. (2004). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. London: Routledge.

10 ANEXOS

Anexo 1. Estructura del IMRHI y su fuente.

Dimensión	Peso Índice	Índice	Peso Subíndice	Variable
Exposición	100,00%	Exposición	26,04%	Tasa de personas afectadas por desastres hidrometeorológicos - UNGRD
			13,25%	Tasa de viviendas destruidas por desastres hidrometeorológicos - UNGRD
			25,24%	Tasa de viviendas averiadas por desastres hidrometeorológicos - UNGRD
			35,47%	Área expuesta a desastres naturales - DNP
Vulnerabilidad	20,81%	Infraestructura Pública	11,06%	Tasa de viviendas sin sanitarios - SISBEN
			15,58%	Tasa de viviendas sin acueducto - SISBEN
			18,26%	Tasa de viviendas sin alcantarillado - SISBEN
			4,77%	Índice de Riesgo Calidad del Agua para consumo humano - IRCA
			10,46%	Falta de Cobertura eléctrica - SISBEN
			8,09%	Deficiencia en la cobertura de Aseo
			24,39%	Deficiencia en cobertura efectiva de gas natural - CEDE
			7,40%	Deficiencia en la penetración de la banda ancha en internet - Terridata - DNP
	18,73%	Vivienda	40,89%	Deficiencia en Pisos - SISBEN
			28,90%	Deficiencia en Paredes - SISBEN
			30,21%	Hacinamiento - SISBEN
	13,85%	Malnutrición	100,00%	Bajo peso al nacer - CEDE
	19,92%	Pobreza y dependencia	24,00%	Ratio dependencia - SISBEN
			28,17%	Cobertura del programa familias en acción - SISBEN
			28,94%	Proxy de informalidad y desempleo (PEA menos formales con 1 o más) - FILCO y SISBEN*
			18,89%	Meses promedio de cotización de los formales como proporción del año - FILCO

Dimensión	Peso Índice	Índice	Peso Subíndice	Variable
	26,68%	Capacidad económica e ingresos	14,02%	Valor agregado per capita - Terridata
			12,97%	Porcentaje ingresos corrientes sobre presupuesto total - Terridata
			15,23%	Inverso de la categoría del municipio - DNP
			15,30%	Población Urbana - DANE
			15,13%	Población entre 11 y 35 años - SISBEN
			13,90%	Cobertura de corresponsales e instituciones financieras - Banca de oportunidades
			13,46%	Tasa Global de Participación - SISBEN
Capacidad	22,73%	Gobiernos y autoridades	26,82%	Cantidad de escuelas - Mineducación
			31,64%	Índice de desempeño fiscal - DNP
			21,92%	Recaudo tributario per cápita - DNP
			19,62%	Índice de desempeño Integral- DNP
	17,90%	Servicios médicos	24,78%	Porcentaje de población en régimen subsidiado - Minsalud
			20,21%	Baja Calidad IPS - Supersalud
			18,45%	Tasa de mortalidad infantil ajustada - DANE
			27,87%	Tasa de mortalidad menores 5 años - DANE
			8,69%	Tasa de mortalidad general - DANE
	19,73%	Educación e investigación	27,93%	Coberturas netas en educación media - Mineducación
			10,28%	Ratios docentes por alumnos - Mineducación
			22,48%	Nivel educativo promedio - SISBEN
			13,41%	Puntaje promedio ICFES Lectura crítica G11 - Terridata DNP
			13,62%	Puntaje promedio ICFES Matemáticas G11 - Terridata DNP
			12,27%	Porcentaje de sedes educativas conectadas a internet - Mineducación
	16,93%	Inequidad de género	29,94%	Brecha Coberturas y matrículas (Niñas/total de matrícula) - Mineducación

Dimensión	Peso Índice	Índice	Peso Subíndice	Variable
			18,87%	Brecha de Jefatura del hogar (diferencia respecto a 0.5) - SISBEN
			22,07%	Brecha nivel educativo - SISBEN
			29,11%	Tasa de Violencia intrafamiliar - Policía Nacional
	7,87%	Inversiones	46,31%	Tasa de defunciones no fetales - DANE
			9,30%	Deficiencia del Gasto público en salud - DNP
			44,40%	Deficiencia del Gasto público en educación - DNP
	14,84%	Medio Ambiente	27,75%	Proporción de la superficie que hace parte del SINAP - Terridata
			30,53%	Proporción de Área total de ecosistemas estratégicos - Terridata
			23,64%	Proporción de Área de bosque estable - Terridata
			18,08%	Proporción del Área deforestada - Terridata

Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Anexo 2. Estadísticos de dispersión entre Exposición y Vulnerabilidad

MEDIA	
Exposición	37,69
Vulnerabilidad	56,18
D. ESTANDAR	
Exposición	13,70
Vulnerabilidad	19,31
VARIANZA	
Exposición	187,70
Vulnerabilidad	372,90
AMPLITUD TOTAL	
Exposición	54,74
Vulnerabilidad	91,85
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	
0,5405	

Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Anexo 3. Estadísticos de dispersión entre Exposición y Capacidad

MEDIA	
Exposición	37,69
Capacidad	55,67
D. ESTANDAR	
Exposición	13,70
Capacidad	17,12
VARIANZA	
Exposición	187,70
Capacidad	293,00
AMPLITUD TOTAL	
Exposición	54,74
Capacidad	81,75
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	
0,4289	

Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Anexo 4. Estadísticos de dispersión entre Capacidad y Vulnerabilidad.

MEDIA	
Capacidad	55,67
Vulnerabilidad	56,18
D. ESTANDAR	
Capacidad	17,12
Vulnerabilidad	19,31
VARIANZA	
Capacidad	293,00
Vulnerabilidad	372,90
AMPLITUD TOTAL	
Capacidad	81,75
Vulnerabilidad	91,85
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	
0,6839	

Fuente: Elaboración propia – IMRHI

Anexo 5. Categorización de los municipios de Cundinamarca.

CATEGORIA	NÚMERO DE MUNICIPIOS	HABITANTES	INGRESOS CORRIENTES DE LIBRE DESTINACIÓN
1	1	>100.000 a 500.000	100.000 <= 400.000 SMMLV
2	4	50.001 - 100.000	50.000 <= 100.000 SMMLV
3	8	30.001- 50.000	>30.000 <= 50.000 SMMLV
4	2	20.001 - 30.000	25.000 <= 30.000 SMMLV
5	3	10.001 - 20.000	15.000 <= 25.000 SMMLV
6	98	10.000 o menos	<= 15.000 SMMLV

Fuente: Elaboración propia – Según ley 617 de 2000 / Senado de la República de Colombia.