

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0



Análisis de la distribución de rayos atmosféricos en Colombia y sus implicaciones como
riesgo natural en la planificación del territorio.

Monografía de Análisis

Orlando Andrés Triana Suarez
C.C 1098604970

Unidades Tecnológicas de Santander
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga 02/10/2026

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

Análisis de la distribución de rayos atmosféricos en Colombia y sus implicaciones como
riesgo natural en la planificación del territorio.

Monografía de Análisis

Orlando Andrés Triana Suarez

C.C1098604970

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Topógrafo

Director

MSc. Clara Inés Torres Vásquez

Grupo de Investigación Medio Ambiente y Territorio – GRIMAT

Unidades Tecnológicas de Santander

Facultad Ciencias Naturales e Ingeniería

Ingeniería en Topografía

Bucaramanga 02/10/2026

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

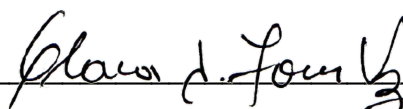
Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
La Universitaria Tecnológica de Santander para optar al título
de Ingeniero Topógrafo
Según acta #30 del Comité de Proyectos de Grado
Del 9 de octubre de 2026
Docente evaluador: Arq. Reynaldo Álvarez León
Docente directora: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



Arq. Reynaldo Álvarez León

Firma del Evaluador



M.Sc Clara Inés Torres Vásquez

Firma del Director

Dedicatoria

A mi madre, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante en cada etapa de este camino. A mi familia, por brindarme fortaleza, motivación y confianza para no rendirme ante las dificultades y seguir adelante en la búsqueda de mis metas. A la memoria de mi tía Susana mi segunda madre la cual siempre estuvo para darme grandes momentos de felicidad con sus palabras. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, quienes con su cariño, consejos y esfuerzo hicieron posible culminar esta etapa tan importante de mi vida profesional y personal.

Agradecimientos

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la Unidades Tecnológicas de Santander, institución que me brindó la oportunidad de formarme profesional y personalmente, aportando los conocimientos y herramientas necesarias para culminar este proceso académico.

De igual manera, agradezco a todos mis profesores, quienes con su dedicación, experiencia y enseñanzas contribuyeron significativamente a mi formación durante esta etapa universitaria. Cada orientación y aprendizaje recibido fueron fundamentales para fortalecer mis capacidades y alcanzar este logro.

Un agradecimiento muy especial a mi directora de proyecto, la profesora Clara Inés Torres Vásquez, por su acompañamiento, compromiso, paciencia y valiosa orientación durante el desarrollo de esta monografía. Sus conocimientos, recomendaciones y constante apoyo fueron esenciales para la realización y culminación satisfactoria de este trabajo de grado.

Contenido

Introducción	14
1. Descripción del trabajo de investigación	17
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Justificación	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
2. Marco referencial	20
2.1. Marco teórico	20
2.1.1. Electricidad Atmosférica	20
2.1.2 Mapa ceraúnicos en Colombia. Distribución espacial de tormentas eléctricas (Densidad de descargas a tierra- DDT O GFD).....	21
2.1.3 Actividad de rayos en Colombia	22
2.1.4 Actividad de rayos en el departamento de Santander	24
2.1.5. Educación para la gestión del riesgo por descargas atmosféricas en Colombia. (Villamil, D., Santamaría, F., Díaz, W), ...	26
2.2 Marco legal	27
2.2.1 Ley 1523 de 2012 sobre gestión del riesgo de desastres	27
2.2.2 NTC-4552-2 (Protección contra rayos- gestión del riesgo)	28
2.3 Marco Conceptual	29
2.3.1 Descargas atmosféricas	29
2.3.2 Planificación territorial	29
2.3.3 Gestión del riesgo	30

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

2.3.4 Mapas ceráunico	30
2.3.5 Densidad de Descargas a Tierra (DDT)	31
2.3.6 Incidencia de rayos	31
2.3.7 Riesgo por rayos	32
2.3.8 Climatología de rayos.....	32
2.3.9 Influencia de la topografía en la actividad de rayos	32
2.3.10 Sistemas de información geográfica (SIG) aplicados al análisis de rayos	33
3. Diseño de la investigación.....	33
3.1 Enfoque de la investigación	33
3.2 Tipo de investigación	34
3.3 Método de investigación.....	34
3.3.1 Fase 1 recopilación de información existente	35
3.3.2 Fase 2 análisis de la información	35
3.3.3 Fase 3 interpretación de resultados	35
4. Desarrollo del trabajo de grado	38
4.1 Fase 1. Recopilación de información existente	38
4.1.1 Etapa 1. Recopilación y organización de información	38
4.1.2 Etapa 2. Construcción de la base de datos	41
4.2 Fase 2. Análisis de la información	43
4.2.1 Distribución espacial de la actividad de rayos atmosféricos en Colombia.....	44
4.2.2 Distribución espacial de la actividad de rayos atmosféricos en Santander	47
4.3 Fase 3. Interpretación de resultados	49

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

5.Resultados	51
5.1 información existente, base de datos y cartografía disponible	51
5.2 análisis espacial de la actividad de rayos en Santander	53
5.2.1 Mapa de municipios de Santander con información de actividad de rayos	53
5.2.2 Mapa de pendientes con superposición de la actividad de rayos	62
5.2.3 Interpretación espacial de los resultados	64
5.3 Lineamientos metodológicos y estrategias de actualización de mapas ceraúnicos y gestión de la información sobre rayos	67
5.3.1 Lineamientos metodológicos	67
5.3.2 Estrategias para la actualización y gestión de la información sobre rayos atmosféricos	72
6. Conclusiones	77
7. Recomendaciones	79
Referencias	83

Lista de figuras

Figura 1. <i>Diagrama fases de investigación</i>	36
Figura 2. <i>Resultados de búsqueda</i>	39
Figura 3. <i>Mapa de ISO-Niveles ceraúnicos para Colombia (Área de 30 km x30 km) – 1999</i>	44
Figura 4. <i>Densidad de descargas a tierra en Santander, 2014</i>	47
Figura 5. <i>Humedad relativa</i>	49
Figura 6. <i>Mapa límites y superficies de Santander</i>	50
Figura 7. <i>Base de datos rayos Santander</i>	51
Figura 8. <i>Ubicación incidencia rayos en Santander</i>	53
Figura 9. <i>Distribución rayos municipios de Santander</i>	55
Figura 10. <i>Relación espacial entre pendiente del terreno y actividad de rayos en Santander</i>	63
Figura 11. <i>Mapa nivel ceraúnico de Santander</i>	65

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Base documental y geográfica consolidada para la investigación.</i>	42
Tabla 2. <i>Municipios con Alta densidad de Rayos por área km2. Años 2014-2015-2016-2017.</i>	56
Tabla 3. <i>Municipios con Baja densidad de Rayos por área km2. Años 2014-2015-2016-2017.</i>	58
Tabla 4. <i>Densidad de Rayos por área km2 en provincias. Años 2014-2015-2016-2017.</i>	59
Tabla 5. <i>Densidad de Rayos por área km2 en Santander. Años 2014-2015-2016-2017.</i>	61
Tabla 6. <i>Lineamientos metodológicos para la gestión de la información.</i>	68

Resumen

La presente monografía se realizó con base en el análisis de la distribución de los rayos atmosféricos en Colombia y sus implicaciones como riesgo natural en la planificación del territorio. La importancia de este estudio radica en comprender el comportamiento espacial de las descargas eléctricas atmosféricas, así como los factores climáticos y topográficos que influyen en su ocurrencia, permitiendo generar información de apoyo para la gestión del riesgo y la toma de decisiones en los procesos de ordenamiento territorial.

Por medio de la búsqueda, recopilación y análisis de información científica, técnica y normativa relacionada con la actividad eléctrica atmosférica a nivel mundial, nacional y regional, se desarrolló una monografía en la que se describen las características de las descargas atmosféricas, su distribución geográfica, los factores asociados a su formación y las principales afectaciones que pueden generar sobre la población, la infraestructura y el territorio. De igual manera, se presenta la metodología empleada para el análisis de la información y el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la representación y evaluación espacial del fenómeno. Asimismo, el estudio se orientó a identificar la importancia de incorporar el análisis de la actividad de rayos dentro de los procesos de planificación territorial y gestión del riesgo, especialmente en Colombia y el departamento de Santander, donde las condiciones geográficas y climáticas favorecen una alta incidencia de este fenómeno. Como resultado, se consolida una base documental que puede servir como material de consulta para estudiantes, profesionales e instituciones interesadas en el estudio de las descargas atmosféricas y su relación con el territorio.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

Palabras clave: descargas atmosféricas, planificación territorial, gestión del riesgo, mapas ceraúnicos.

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Abstract

This monograph is based on an analysis of the distribution of lightning strikes in Colombia and their implications as a natural hazard for land-use planning. The study is significant for its insight into the spatial behavior of atmospheric electrical discharges and the climatic and topographical factors influencing their occurrence; this information supports risk management and decision-making within land-use planning processes.

Through the search, compilation, and analysis of scientific, technical, and regulatory data regarding atmospheric electrical activity at global, national, and regional levels, a monograph was developed describing the characteristics of atmospheric discharges, their geographic distribution, the factors associated with their formation, and their potential impacts on the population, infrastructure, and the territory. The study also outlines the methodology used for data analysis and the application of Geographic Information System (GIS) tools to map and spatially assess the phenomenon.

Furthermore, the study highlights the importance of incorporating lightning activity analysis into land-use planning and risk management processes—particularly in Colombia and the department of Santander, where geographic and climatic conditions foster a high incidence of this phenomenon. The resulting document serves as a reference resource for students, professionals, and institutions interested in the study of atmospheric discharges and their relationship with the territory.

Keywords: atmospheric discharges, land-use planning, risk management, keraunic map.

Introducción

La atmósfera terrestre, vista en forma simplificada desde el punto de vista eléctrico como el espacio entre la ionósfera y la tierra, es un sistema con un flujo de corriente eléctrica, el cual busca mantenerse en equilibrio por medio de las tormentas eléctricas. Una tormenta eléctrica es un fenómeno meteorológico en el cual se produce una gran liberación de energía y se manifiesta por medio de precipitaciones acompañadas de vientos con rachas que pueden ser muy fuertes y descargas eléctricas atmosféricas las cuales pueden ocurrir individualmente, en grupos o con diferentes tipos de patrones. (Cruz Bernal, A. S. (2019).

Las descargas eléctricas atmosféricas, más conocidas como rayos, ocurren a través de una transferencia de carga eléctrica donde se generan altas corrientes y estas se manifiestan en forma de energía lumínica (relámpago) y energía audible (trueno). La energía lumínica permite que el rayo sea visible debido a que las moléculas de aire se ionizan por el paso de la corriente eléctrica formando así el relámpago (luz) y es audible cuando al generarse el rayo se aumenta la temperatura del aire por lo que, al mezclarse con el aire frío que se encuentra a los alrededores, se generan ondas de choque las cuales originan los truenos (sonido). (Cruz Bernal, A. S. (2019).

A nivel mundial, la distribución de las descargas atmosféricas presenta una marcada relación con factores climáticos y geográficos, concentrándose principalmente en regiones tropicales cercanas al ecuador, donde predominan altas temperaturas, elevados niveles de humedad y fuertes procesos convectivos. América del Sur se destaca como una de las zonas con mayor actividad eléctrica atmosférica del planeta, registrando algunos de los mayores índices de densidad de

rayos reportados por la comunidad científica (Albrecht et al., 2016; Christian et al., 2003).

Colombia, debido a su ubicación geográfica en la zona intertropical y a la compleja configuración topográfica determinada por la presencia de las tres cordilleras andinas, es reconocida como uno de los países con mayor actividad de descargas eléctricas atmosféricas en el mundo. La interacción entre factores climáticos, atmosféricos y topográficos favorece la formación recurrente de tormentas eléctricas en diferentes regiones del territorio nacional, generando escenarios de riesgo para la población y las infraestructuras expuestas. El departamento de Santander presenta características particulares que lo convierten en una región de especial interés para el estudio de este fenómeno, debido a la influencia del valle del río Magdalena, la cordillera Oriental y la diversidad de condiciones climáticas presentes en su territorio (Aranguren et al., 2017; Herrera-Murcia et al., 2018).

A pesar de la importancia de las descargas eléctricas atmosféricas como amenaza natural, en muchos procesos de planificación territorial y gestión del riesgo su análisis continúa siendo limitado frente a otras amenazas de origen natural. La identificación de zonas con alta actividad eléctrica y la comprensión de los factores que favorecen su ocurrencia constituyen herramientas fundamentales para la toma de decisiones relacionadas con el ordenamiento territorial, la localización de infraestructura estratégica y la implementación de medidas de prevención y mitigación (Villamil et al., 2021; Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2024).

La presente monografía tiene como propósito analizar la información existente sobre la distribución espacial de rayos atmosféricos en Colombia y sus

implicaciones como riesgo natural para la planificación del territorio, incorporando un análisis específico para el departamento de Santander. Para ello, se realizó una monografía de análisis basada en la revisión de literatura científica, documentos técnicos, normatividad vigente e información geográfica proveniente de fuentes oficiales. Asimismo, se emplearon herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la organización, representación y análisis espacial de la información recopilada.

1. Descripción del trabajo de investigación

1.1 Planteamiento del problema

La actividad de descargas eléctricas atmosféricas (rayos) presenta una alta variabilidad a nivel mundial, siendo las regiones ecuatoriales, como Colombia, particularmente propensas a este fenómeno debido a factores como las condiciones climáticas, la topografía compleja y la ubicación geográfica del país. Estas condiciones generan una elevada densidad de rayos, lo que incrementa el riesgo de desastres asociados tanto en zonas urbanas como rurales. En Colombia, la identificación y caracterización de estas zonas de alta incidencia se ha basado históricamente en mapas ceráunico desarrollados a partir de información recolectada entre las décadas de 1970 y 1990, los cuales han sido incorporados en la norma técnica NTC 4552-1 (Albrecht et al., 2016; Aranguren et al., 2017; Herrera-Murcia et al., 2018).

Sin embargo, existe una limitación en la actualización y precisión de estos instrumentos normativos, ya que el mapa ceráunico utilizado en dicha norma se fundamenta en datos históricos y no refleja adecuadamente las condiciones actuales de variabilidad climática ni los cambios en los patrones de descargas atmosféricas. Esta situación genera debilidades en la identificación de zonas de riesgo y en la implementación de sistemas de protección contra rayos, afectando la toma de decisiones en infraestructura, planificación territorial y gestión del riesgo (ICONTEC, 2008; Herrera-Murcia et al., 2024).

En este contexto, surge la necesidad de analizar la distribución actual de la actividad de rayos en Colombia en comparación con otras regiones del mundo, así como evaluar la pertinencia de la información contenida en la normativa vigente.

¿Cómo se distribuye espacial y temporalmente la actividad de rayos atmosféricos en Colombia y que implicaciones tiene para la gestión del riesgo y la planificación territorial?

1.2 Justificación

El análisis de la actividad de descargas eléctricas atmosféricas en Colombia representa un tema de alta relevancia debido a la incidencia significativa de este fenómeno en el territorio nacional, especialmente en zonas con condiciones topográficas complejas y alta variabilidad climática. La actual información utilizada para la gestión del riesgo, basada en el mapa ceráunico de la norma NTC 4552-1, presenta limitaciones debido a su antigüedad y a la falta de actualización frente a los cambios en los patrones climáticos y ambientales (ICONTEC, 2008; Herrera-Murcia et al., 2024).

Desde el enfoque de la topografía y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es posible integrar variables espaciales como altitud, pendiente, orientación del terreno y localización geográfica, junto con datos de descargas atmosféricas, para generar modelos más precisos y actualizados. Esto permite mejorar la representación espacial del fenómeno y fortalecer la toma de decisiones en planificación territorial, diseño de infraestructura y mitigación del riesgo (Aranguren et al., 2017; Mora et al., 2022).

Por lo tanto, este trabajo contribuye al desarrollo de información geoespacial actualizada y confiable, aportando herramientas técnicas que pueden ser utilizadas en la actualización de normativas, estudios de riesgo y proyectos de ingeniería, lo cual resulta fundamental para la protección de la vida humana y los bienes materiales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Identificar la distribución de zonas más afectadas por actividad de rayos atmosféricos en Colombia, mediante el análisis de información existente proponiendo estrategias de actualización en mapas ceraúnicos e información al respecto buscando aportes a la gestión del riesgo y la planificación territorial.

1.3.2 Objetivos específicos

- Examinar la información existente sobre la actividad de rayos atmosféricos en Colombia, incluyendo estudios, bases de datos y cartografía disponible, con el fin de identificar vacíos, limitaciones y falencias en el conocimiento y manejo actual del fenómeno.
- Analizar la distribución espacial de la actividad de rayos, con énfasis en el departamento de Santander, mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para determinar las zonas de mayor afectación y establecer criterios técnicos para su análisis desde la topografía.
- Proponer lineamientos metodológicos y estrategias de actualización de mapas ceraúnicos y gestión de la información sobre rayos, orientados a mejorar la estimación del riesgo, su mitigación y su integración en procesos de gestión del riesgo y planificación territorial.

2. Marco referencial

2.1. Marco teórico

2.1.1. Electricidad Atmosférica

2.1.1.1 Descargas eléctricas atmosféricas. Las descargas eléctricas atmosféricas, comúnmente denominadas rayos, constituyen uno de los fenómenos naturales más complejos y energéticos que ocurren en la atmósfera terrestre. Se producen como consecuencia de la acumulación y separación de cargas eléctricas dentro de las nubes de tormenta, principalmente del tipo cumulonimbus, generando diferencias de potencial suficientemente elevadas para provocar una descarga eléctrica entre regiones de carga opuesta (Rakov & Uman, 2003; Torres Sánchez, 2002).

Las descargas atmosféricas presentan una gran variabilidad espacial y temporal debido a factores asociados con las condiciones meteorológicas, la humedad atmosférica, la temperatura, la topografía y la dinámica climática regional. La formación de tormentas eléctricas está estrechamente relacionada con procesos conectivos que favorecen el ascenso de masas de aire caliente y húmedo, generando las condiciones necesarias para la electrificación de las nubes (Albrecht et al., 2016; Aranguren et al., 2017).

Diversos estudios han demostrado que las regiones tropicales concentran los mayores niveles de actividad eléctrica atmosférica del planeta, debido a la elevada disponibilidad de energía térmica y humedad durante gran parte del año (Christian et al., 2003; Albrecht et al., 2016).

2.1.1.2 Clasificación de las descargas atmosféricas. Las descargas atmosféricas pueden clasificarse según el medio donde ocurre la transferencia de carga eléctrica:

- *Descargas nube-tierra (Cloud to Ground – CG):* Son aquellas que se producen entre una nube y la superficie terrestre. Constituyen el tipo de descarga de mayor interés para aplicaciones de ingeniería debido a su capacidad para generar daños sobre personas, edificaciones, redes eléctricas e infraestructura crítica (Rakov & Uman, 2003; Villamil et al., 2021).
- *Descargas intranube (Intra Cloud – IC):* Corresponden a las descargas que ocurren dentro de una misma nube o entre regiones cargadas de una nube de tormenta. Aunque son más frecuentes que las descargas nube-tierra, generalmente representan un menor riesgo directo para las estructuras localizadas en superficie.
- *Descargas nube-nube:* Se presentan entre diferentes nubes de tormenta y forman parte de los procesos de equilibrio eléctrico atmosférico.

2.1.2 Mapa ceraúnicos en Colombia. Distribución espacial de tormentas eléctricas (Densidad de descargas a tierra- DDT O GFD)

2.1.2.1 Distribución mundial de la actividad de rayos. La actividad eléctrica atmosférica no se distribuye de manera uniforme sobre la superficie terrestre. Las mayores concentraciones de rayos se encuentran en regiones tropicales ubicadas cerca del ecuador geográfico, donde predominan altas temperaturas, elevados niveles de humedad y una intensa actividad convectiva (Christian et al., 2003; Albrecht et al., 2016).

Investigaciones recientes identifican varios "hot spots" o puntos calientes de actividad eléctrica alrededor del mundo, siendo el Lago de Maracaibo, en Venezuela, la región con mayor frecuencia de descargas atmosféricas registrada a nivel global. Asimismo, América del Sur concentra varias de las zonas con mayor densidad de rayos del planeta (Albrecht et al., 2016).

Entre las regiones con mayor incidencia de rayos se destacan:

- Lago de Maracaibo (Venezuela).
- Cuenca del Congo (África Central).
- Amazonía brasileña.
- Región andina del norte de Suramérica.
- Sudeste asiático.
- Centro de África ecuatorial.

Estas áreas presentan condiciones climáticas favorables para la formación recurrente de tormentas eléctricas, caracterizadas por altos niveles de precipitación y fuerte inestabilidad atmosférica (Albrecht et al., 2016).

2.1.3 Actividad de rayos en Colombia

Colombia es reconocida internacionalmente como uno de los países con mayor actividad eléctrica atmosférica debido a su ubicación en la zona intertropical, la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y la compleja configuración topográfica generada por la Cordillera de los Andes (Aranguren et al., 2017; Herrera-Murcia et al., 2018).

Diversos estudios han identificado una elevada actividad de rayos en distintas regiones de Colombia, con concentraciones particularmente importantes en sectores asociados con el valle del río Magdalena, el Catatumbo y otras áreas de la región Andina. Esta distribución se relaciona con la interacción de condiciones climáticas, orográficas y atmosféricas que favorecen la formación de tormentas eléctricas (Herrera-Murcia et al., 2018; Aranguren et al., 2017).

La distribución espacial de los rayos en Colombia está influenciada por:

- La altitud.
- La pendiente del terreno.
- La humedad atmosférica.
- La temperatura superficial.
- Los regímenes de precipitación.
- Los procesos convectivos regionales.

Las regiones con mayores niveles de actividad eléctrica corresponden principalmente a:

- Magdalena Medio.
- Catatumbo.
- Piedemonte Llanero.
- Amazonía.
- Región Pacífica.
- Sectores de la cordillera Central y Occidental.

La interacción entre masas de aire cálido y húmedo provenientes de la Amazonía y los procesos orográficos generados por las tres cordilleras favorecen la formación de tormentas eléctricas de alta intensidad (Aranguren et al., 2017; Inampué et al., 2017).

2.1.4 Actividad de rayos en el departamento de Santander

El departamento de Santander se ha consolidado como una de las regiones de Colombia con alta incidencia de descargas eléctricas atmosféricas debido a sus características geográficas, climáticas y topográficas. Su ubicación sobre la cordillera Oriental, la influencia de la cuenca del río Magdalena y la presencia de importantes contrastes altitudinales generan condiciones favorables para la formación de tormentas convectivas, las cuales constituyen el principal mecanismo de generación de rayos (Aranguren et al., 2017; Ardila Murillo et al., 2022b).

La actividad eléctrica atmosférica en Santander ha sido objeto de diversos estudios debido a la necesidad de comprender el comportamiento espacial y temporal de las descargas eléctricas y su impacto sobre la población, la infraestructura y los sistemas eléctricos. Investigaciones desarrolladas por la Universidad Industrial de Santander, utilizando información proveniente de la Red Colombiana de Detección Total de Rayos (LINET), permitieron caracterizar la actividad de rayos en el departamento durante el período comprendido entre los años 2014 y 2016, determinando parámetros como la densidad de descargas a tierra, la multiplicidad de los rayos y la corriente pico de descarga (Ardila Murillo et al., 2022b).

Los resultados obtenidos evidencian que la actividad de rayos en Santander presenta una marcada variabilidad espacial. Las mayores concentraciones de

descargas atmosféricas se registran principalmente en municipios localizados hacia el occidente del departamento y en áreas cercanas al valle del río Magdalena, donde las condiciones de humedad, temperatura y circulación atmosférica favorecen el desarrollo de tormentas eléctricas intensas. Entre los municipios que presentan los mayores niveles de actividad se destacan Bolívar, Cimitarra, Barrancabermeja, Puerto Parra, Suaita, Gámbita, Oiba y Charalá. Estas zonas registran valores elevados de densidad de descargas a tierra en comparación con el promedio departamental (Ardila Murillo et al., 2022b).

Desde el punto de vista temporal, la actividad de rayos en Santander presenta una relación directa con los ciclos climáticos regionales. Los estudios realizados muestran que los mayores niveles de ocurrencia de descargas atmosféricas se presentan durante los meses de abril, mayo, septiembre y octubre, coincidiendo con las temporadas de mayor precipitación en gran parte del departamento. Asimismo, se ha identificado que los períodos horarios de mayor actividad corresponden generalmente a las horas de la tarde y la noche, cuando los procesos convectivos alcanzan su máxima intensidad (Ardila Murillo et al., 2022b).

La compleja topografía santandereana constituye uno de los principales factores que influyen en la distribución espacial de los rayos. La presencia de montañas, cañones profundos, zonas de piedemonte y amplios sectores de transición entre tierras altas y bajas favorece el ascenso de masas de aire cálido y húmedo, generando condiciones propicias para la formación de nubes de tormenta. De igual manera, la proximidad de varios municipios al valle del Magdalena incrementa los aportes de humedad atmosférica, contribuyendo al desarrollo de fenómenos eléctricos de alta intensidad (Aranguren et al., 2017; Ardila Murillo et al., 2022b).

Las investigaciones desarrolladas en el departamento también han permitido identificar sectores específicos con elevada densidad de descargas a tierra, constituyéndose en áreas prioritarias para la implementación de medidas de protección contra rayos y estrategias de gestión del riesgo. La elaboración de mapas de densidad de descargas ha permitido localizar con mayor precisión los sitios de mayor incidencia de rayos y establecer criterios técnicos para la planificación de infraestructura eléctrica, sistemas de telecomunicaciones y equipamientos estratégicos (Ardila Murillo et al., 2022b; Mora et al., 2022).

2.1.5. Educación para la gestión del riesgo por descargas atmosféricas en Colombia. (Villamil, D., Santamaría, F., Díaz, W),

La educación para la gestión del riesgo por descargas eléctricas atmosféricas constituye un componente fundamental en la comprensión y prevención de los efectos asociados a este fenómeno natural. De acuerdo con Villamil, Santamaría y Díaz Gamba (2021), la educación orientada a la gestión del riesgo por rayos contribuye al fortalecimiento del conocimiento sobre las amenazas, la identificación de situaciones de exposición y la promoción de prácticas preventivas dirigidas a proteger la vida y la integridad de las personas. Este enfoque permite comprender que la reducción del riesgo no depende exclusivamente de las características físicas del fenómeno, sino también del conocimiento que poseen las comunidades y de su capacidad para reconocer las condiciones de peligro y actuar de manera adecuada.

En el contexto colombiano, la diversidad geográfica, climática y territorial hace necesario estudiar la distribución espacial de las descargas atmosféricas para comprender las diferencias regionales en la exposición a este fenómeno. En este sentido, el análisis cartográfico de la actividad de rayos permite identificar patrones

de distribución y reconocer sectores que requieren especial atención en materia de prevención y gestión del riesgo. La integración de esta información con las características del territorio y de la población constituye un elemento de apoyo para la planificación territorial, la priorización de medidas preventivas y el fortalecimiento de los procesos de educación comunitaria.

2.2 Marco legal

2.2.1 Ley 1523 de 2012 sobre gestión del riesgo de desastres

En relación con la actividad de rayos atmosféricos, la ley adquiere relevancia debido a que estas descargas eléctricas pueden ocasionar afectaciones a la vida humana, la infraestructura, los sistemas eléctricos, las actividades agropecuarias y otros elementos expuestos. En este contexto, el análisis de la distribución espacial y temporal de los rayos permite reconocer patrones de ocurrencia, identificar sectores con mayor actividad eléctrica atmosférica y aportar información para la evaluación de escenarios de riesgo. No obstante, la frecuencia de descargas por sí sola no determina el nivel de riesgo, ya que también deben considerarse las condiciones de exposición y vulnerabilidad de la población, los bienes y la infraestructura.

De acuerdo con los artículos 1 y 2 de la Ley 1523 de 2012, la gestión del riesgo comprende procesos permanentes relacionados con el conocimiento y la reducción del riesgo, así como con el manejo de desastres, y constituye una responsabilidad compartida entre las autoridades, las entidades públicas y privadas y los habitantes del territorio nacional. Estos principios se relacionan directamente con el propósito

de la presente monografía, dado que la recopilación, organización y análisis de información sobre descargas eléctricas atmosféricas pueden contribuir al conocimiento de las amenazas naturales y al fortalecimiento de las medidas de prevención y mitigación.

Asimismo, la ley contempla la identificación de escenarios de riesgo, el análisis de sus factores, el monitoreo de sus componentes y la comunicación de la información a las instituciones y comunidades. Estos lineamientos junto con el empleo de herramientas SIG permite integrar información sobre la densidad de rayos, la distribución geográfica, las características topográficas y la división político-administrativa de Colombia, con énfasis en el departamento de Santander. De esta manera, es posible elaborar representaciones cartográficas que faciliten la interpretación de los patrones espaciales y contribuyan a identificar áreas que requieren estudios más detallados.

2.2.2 NTC-4552-2 (Protección contra rayos- gestión del riesgo)

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 4552-1, un rayo se define como una descarga eléctrica atmosférica caracterizada por la transferencia de carga eléctrica entre una nube y la tierra, entre la tierra y una nube, entre dos nubes, al interior de una misma nube o desde la nube hacia la ionosfera. (ICONTEC, 2008).

Descargas ascendentes y descendentes: La NTC 4552-1 establece que los rayos pueden clasificarse en descendentes cuando se originan en una nube y se propagan hacia la superficie terrestre, o ascendentes cuando se inician desde estructuras elevadas hacia la nube. (ICONTEC, 2008).

Desde la perspectiva de la planificación territorial, el análisis de la actividad de rayos en Santander adquiere especial relevancia debido a que este fenómeno

puede generar pérdidas humanas, daños materiales, interrupciones en la prestación de servicios públicos y afectaciones a sistemas eléctricos y electrónicos. Por esta razón, la incorporación de información relacionada con la distribución espacial de las descargas atmosféricas dentro de los instrumentos de ordenamiento territorial y gestión del riesgo puede contribuir significativamente a la reducción de la vulnerabilidad y al fortalecimiento de la resiliencia territorial frente a amenazas de origen natural (Villamil et al., 2021; UNGRD, 2024).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Descargas atmosféricas

Las descargas atmosféricas son fenómenos eléctricos naturales que se producen en la atmósfera como resultado de la acumulación y transferencia de cargas eléctricas. Pueden ocurrir dentro de una misma nube, entre diferentes nubes, entre una nube y el aire circundante o entre una nube y la superficie terrestre. Cuando estas descargas generan una manifestación luminosa, se conocen comúnmente como rayos. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el rayo corresponde a una potente descarga electrostática natural que se produce durante una tormenta eléctrica. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (s. f.). Rayo. Glosario.)

2.3.2 Planificación territorial

La planificación territorial es un proceso técnico, administrativo y político mediante el cual se orienta la organización y el desarrollo de un territorio, teniendo en cuenta sus características físicas, ambientales, sociales, económicas y

culturales. Su finalidad es promover el uso adecuado del suelo, orientar la localización de los asentamientos humanos y las actividades productivas, proteger los recursos naturales y reducir los conflictos asociados con la ocupación del territorio (Congreso de la República de Colombia. (1997, 18 de julio)).

2.3.3 Gestión del riesgo

La gestión del riesgo de desastres es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo, así como para el manejo de desastres. Su propósito es contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible. En Colombia, este concepto se encuentra establecido en la Ley 1523 de 2012, que adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). (Congreso de la República de Colombia. 2012, 24 de abril)

2.3.4 Mapas ceráunico

Los mapas ceráunico son representaciones cartográficas que muestran la distribución geográfica de la actividad de las tormentas eléctricas en un territorio, a partir de indicadores como el nivel ceráunico, que tradicionalmente expresa el número de días al año en los que se escucha trueno en un lugar determinado. Estos mapas permiten identificar variaciones espaciales en la ocurrencia de tormentas eléctricas y se han utilizado como referencia en estudios relacionados con la protección contra rayos y el diseño de sistemas de protección para instalaciones y

estructuras. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC, 2008).

2.3.5 Densidad de Descargas a Tierra (DDT)

La densidad de descargas a tierra (DDT) es un parámetro que expresa la cantidad de descargas eléctricas atmosféricas que impactan directamente sobre la superficie terrestre por unidad de área durante un periodo determinado, generalmente un año. Este indicador permite cuantificar la frecuencia espacial de los impactos de rayos sobre el terreno y se utiliza para caracterizar la actividad eléctrica atmosférica de una región.

La DDT suele expresarse en descargas por kilómetro cuadrado por año (descargas/Km²/año). Su estimación puede realizarse mediante registros de sistemas de detección y localización de rayos, considerando el periodo de observación, la cobertura del sistema y la calidad de los datos recopilados. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC, 2008)

2.3.6 Incidencia de rayos

La incidencia de rayos se refiere a la ocurrencia y frecuencia con la que se presentan descargas eléctricas atmosféricas en una zona geográfica durante un periodo determinado. Su análisis permite reconocer la distribución espacial y temporal de la actividad eléctrica atmosférica e identificar regiones donde se registra una mayor o menor ocurrencia de estos fenómenos. La incidencia puede evaluarse mediante diferentes indicadores, como el número de descargas registradas, la densidad de descargas a tierra (DDT) y la frecuencia de tormentas eléctricas,

dependiendo de la información disponible y del objetivo del estudio. (International Electrotechnical Commission, 2019).

2.3.7 Riesgo por rayos

El riesgo por rayos se entiende como la posibilidad de que se produzcan daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales como consecuencia de las descargas eléctricas atmosféricas, considerando la interacción entre la amenaza, los elementos expuestos y sus condiciones de vulnerabilidad. Este riesgo depende tanto de la actividad eléctrica atmosférica de una zona como de la presencia de personas, edificaciones, redes eléctricas, infraestructura y actividades económicas susceptibles de resultar afectadas. (Congreso de la República de Colombia, 2012).

2.3.8 Climatología de rayos

La climatología de rayos es el estudio de la distribución espacial y temporal de la actividad eléctrica atmosférica durante periodos prolongados, con el propósito de identificar patrones de ocurrencia, variaciones estacionales y diferencias regionales en la frecuencia de las descargas. Para su desarrollo se utilizan registros históricos de sistemas de detección de rayos y datos de observación satelital, que permiten caracterizar el comportamiento del fenómeno a diferentes escalas geográficas. (Díaz et al., 2022).

2.3.9 Influencia de la topografía en la actividad de rayos

La influencia de la topografía en la actividad de rayos hace referencia a la relación entre las características del relieve terrestre —como la altitud, la pendiente, la orientación de las montañas y la configuración de los valles— y la distribución

espacial de las descargas eléctricas atmosféricas. Estas características pueden interactuar con las condiciones meteorológicas y los procesos de formación de tormentas, generando variaciones en la actividad eléctrica entre diferentes sectores de un territorio. (Aranguren et al., 2017).

2.3.10 Sistemas de información geográfica (SIG) aplicados al análisis de rayos

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas tecnológicas que permiten recopilar, almacenar, administrar, procesar, analizar y representar información vinculada con una ubicación geográfica. Su capacidad para integrar datos espaciales de diferentes fuentes facilita el reconocimiento de patrones territoriales, la comparación de variables geográficas y la elaboración de cartografía temática para apoyar procesos de investigación y toma de decisiones. (Fernández Buitrago, 2022).

3. Diseño de la investigación

3.1 Enfoque de la investigación

La presente monografía se desarrolló bajo un enfoque mixto con predominio del componente cualitativo, debido a que integra el análisis documental de información científica y normativa relacionada con las descargas eléctricas atmosféricas, junto con el análisis cuantitativo de información geoespacial y estadística asociada a la distribución de rayos en Colombia y el departamento de Santander.

Este enfoque permitió comprender las características físicas y espaciales del fenómeno, así como evaluar sus implicaciones dentro de los procesos de planificación territorial y gestión del riesgo.

3.2 Tipo de investigación

La investigación corresponde a un estudio de tipo descriptivo y analítico.

Es descriptiva porque caracteriza el comportamiento espacial de las descargas eléctricas atmosféricas a nivel mundial, nacional y regional, identificando las zonas con mayor actividad eléctrica y los factores geográficos y climáticos asociados a su ocurrencia.

Asimismo, es analítica porque examina la relación existente entre la distribución de rayos, las condiciones topográficas y climáticas, y las implicaciones que este fenómeno representa para la planificación del territorio y la gestión del riesgo de desastres.

3.3 Método de investigación

La investigación se desarrolló mediante el método deductivo, partiendo del análisis general de la actividad de rayos a escala mundial, continuando con el estudio de la distribución espacial en Colombia y finalizando con el análisis específico del departamento de Santander.

Este procedimiento permitió identificar patrones espaciales y territoriales asociados a la ocurrencia de descargas eléctricas atmosféricas, facilitando la formulación de criterios que contribuyan a la planificación territorial y la reducción del riesgo.

El proyecto se llevó a cabo en cinco etapas, siguiendo el siguiente procedimiento:

3.3.1 Fase 1 recopilación de información existente

- *Etapa 1. Información existente y Organización de información*

Consistió en la búsqueda, recopilación y organización de información bibliográfica, normativa y geográfica relacionada con las descargas eléctricas atmosféricas.

- *Etapa 2. Construcción de la base de datos*

Se consolidó una base de datos documental y geográfica que integró la información recopilada para su posterior análisis.

3.3.2 Fase 2 análisis de la información

- *Etapa 1. Análisis de la distribución espacial de rayos*

Se identificaron las principales zonas de actividad eléctrica atmosférica a nivel mundial, nacional y regional mediante el análisis de estudios científicos y productos cartográficos.

- *Etapa 2. Relación entre actividad de rayos y variables territoriales*

Se analizaron los factores topográficos y climáticos asociados a la ocurrencia de descargas atmosféricas, especialmente en el departamento de Santander.

3.3.3 Fase 3 interpretación de resultados

- *Etapa 1. Interpretación territorial y formulación de conclusiones*

Se evaluaron las implicaciones del fenómeno para la planificación territorial y la gestión del riesgo, formulando conclusiones y recomendaciones orientadas a la toma de decisiones en el territorio.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

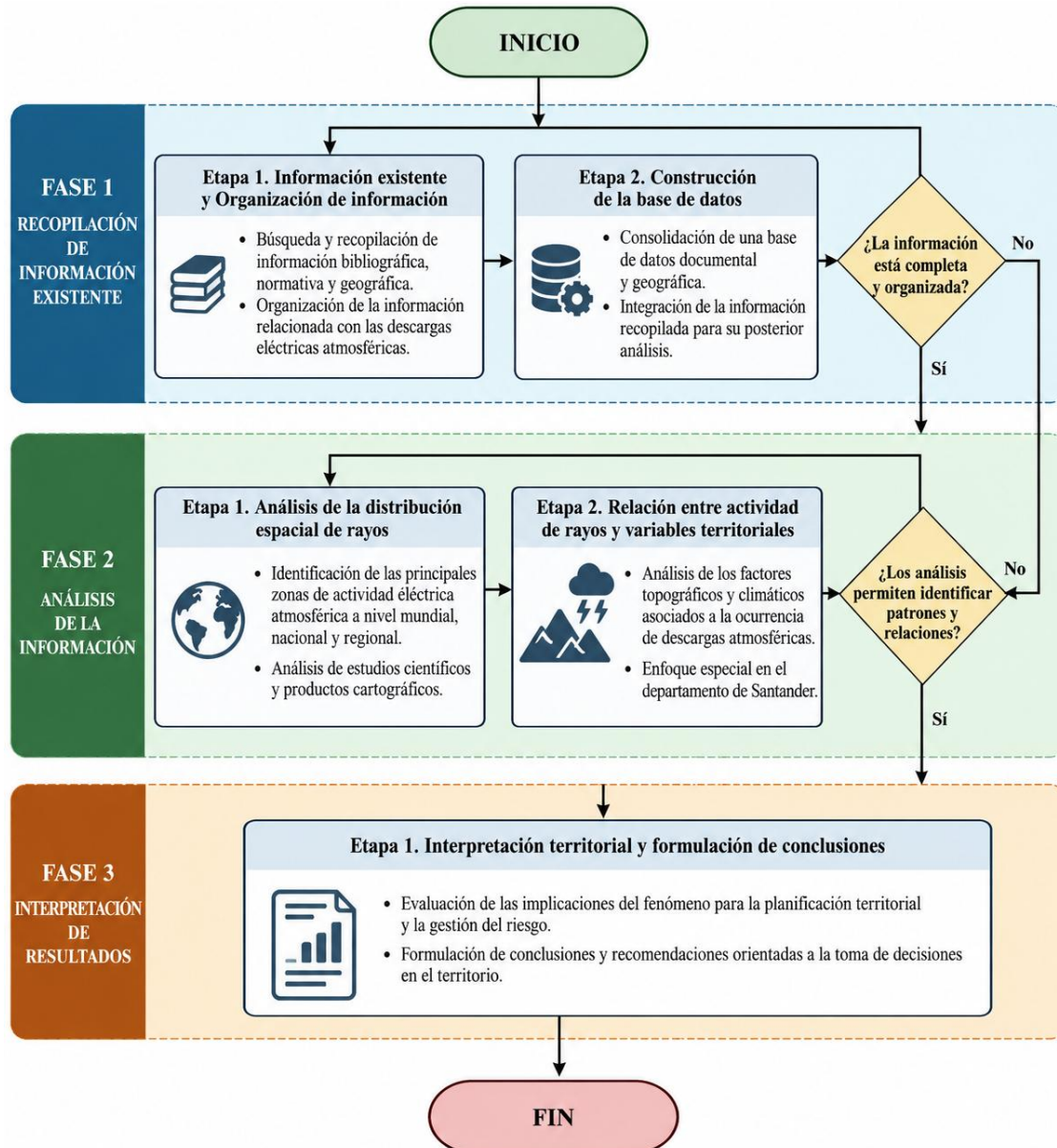
VERSIÓN: 2.0

Figura 1. *Diagrama fases de investigación*

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023



Fuente. Autor. elaborado con IA bajo instrucción

4. Desarrollo del trabajo de grado

El desarrollo de la presente monografía se realizó mediante un proceso organizado en tres fases metodológicas: recopilación de información existente, análisis de la información e interpretación de resultados. Estas fases permitieron organizar la información relacionada con la actividad de los rayos atmosféricos, identificar la cartografía disponible para Colombia y el departamento de Santander, analizar espacialmente la ocurrencia del fenómeno y establecer lineamientos para la actualización de los mapas ceráúnicos.

El procedimiento se desarrolló mediante la revisión de información científica, técnica, normativa y geoespacial disponible, complementada con el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología siguió las etapas establecidas en el diseño de investigación y permitió relacionar la información sobre actividad eléctrica atmosférica con variables territoriales, particularmente aquellas relacionadas con la topografía.

4.1 Fase 1. Recopilación de información existente

4.1.1 Etapa 1. Recopilación y organización de información

En esta primera etapa se realizó la búsqueda y recopilación de información relacionada con la actividad de los rayos atmosféricos en Colombia, dando especial importancia a los estudios desarrollados para el departamento de Santander. La información recopilada correspondió principalmente a documentos científicos, trabajos de grado, investigaciones relacionadas con la actividad eléctrica atmosférica, información normativa, cartografía temática y datos utilizados para representar la distribución espacial de los rayos.

Entre las fuentes revisadas se encuentra el trabajo de Velandia López (2018), denominado *Identificación y análisis de los sitios con mayor actividad de rayos en el departamento de Santander*, en el cual se empleó información de la Red Colombiana de Detección Total de Rayos (LINET) correspondiente al periodo 2014-2017. Esta información permitió identificar la distribución de las descargas atmosféricas en los municipios del departamento y constituye un antecedente importante para el análisis espacial realizado en esta monografía.

También se revisó información relacionada con el nivel ceráunico, la densidad de descargas a tierra (DDT) y otros parámetros utilizados para caracterizar la actividad de los rayos. De igual manera, se tuvo en cuenta la información normativa relacionada con la protección contra descargas eléctricas atmosféricas, particularmente la NTC 4552-1. La información recopilada fue organizada de acuerdo con su tipo, procedencia, cobertura espacial, periodo de referencia y utilidad para los objetivos de la investigación.

Figura 2. Resultados de búsqueda

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

Google Académico

Evaluación del riesgo por rayos para Colombia

Artículos

Aproximadamente 43.400 resultados (0,37 s)

Cualquier momento
Desde 2026
Desde 2025
Desde 2022
Intervalo específico...

Ordenar por relevancia
Ordenar por fecha

Cualquier idioma
Buscar solo páginas en español

Cualquier tipo
Artículos de revisión

☐ Incluir patentes
☒ Incluir citas

Crear alerta

Evaluación del riesgo por rayos para Colombia
AS Cruz Bernal - 2019 - repositorio.unal.edu.co
... Colombia que presentaron un mayor riesgo por rayos durante el periodo 2012-2017 fueron de Colombia para evaluar el riesgo por rayos en cada una de ellas. • Las estadísticas ...
★ Guardar Citar Citado por 7 Artículos relacionados

[PDF] unal.edu.co
+ Lectura rápida

Evaluación del riesgo por rayos incluyendo un Sistema de Alarma de Tormentas (SAT) en Colombia
CA Cruz Mosquera - 2015 - repositorio.unal.edu.co
... para comparar el riesgo por rayos para pérdida de vidas humanas y/o lesiones sin Sistema de Alarma de Tormentas y con Sistema de Alarma de Tormentas usando diferentes criterios ...
★ Guardar Citar Citado por 5 Artículos relacionados Las 3 versiones

[PDF] unal.edu.co
+ Lectura rápida

La investigación del rayo en Colombia: parametros del rayo, sistemas de protección, evaluación de riesgos y sistemas de alerta.
HE Rojas, E Santamaría, OF Escobar - Ingeniería y ... 2017 - go.grii.com
... de los parámetros del rayo, sistemas de protección, evaluación de riesgos y sistemas de alerta... finaliza con avances y retos futuros que presenta la investigación de rayos en Colombia ...
★ Guardar Citar Citado por 4 Artículos relacionados

Evaluación del riesgo de daño en sistemas eléctricos de baja tensión a causa de los rayos, bajo la metodología IEC
CA Avendaño, HE Olaya, HEO Sánchez - Tecura, 2003 - revistas.udistrital.edu.co
... El Icontec en Colombia ha venido trabajando en la normalización del diseño de los sistemas de protección contra rayos, en razón de la importancia que esta representa para el sector ...
★ Guardar Citar Citado por 8 Artículos relacionados Las 5 versiones

[PDF] udistrital.edu.co
+ Lectura rápida

Google Académico

Identificación y análisis de los sitios con mayor actividad de rayos en el departamento de Santander

Artículos

Cualquier momento
Desde 2026
Desde 2025
Desde 2022
Intervalo específico...

Ordenar por relevancia
Ordenar por fecha

Cualquier idioma
Buscar solo páginas en español

Cualquier tipo
Artículos de revisión

☐ Incluir patentes
☒ Incluir citas

Identificación y análisis de los sitios con mayor actividad de rayos en el departamento de Santander [Trabajo de grado]
KA Velanda - Universidad Industrial de Santander, 2018
★ Guardar Citar Citado por 2 Artículos relacionados

Mayor resultado para esta búsqueda. Ver todos los resultados

Privacidad Términos Ayuda

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0



La organización de la información permitió diferenciar los documentos utilizados como soporte teórico y normativo de aquellos que contenían información espacial susceptible de ser utilizada en el análisis mediante SIG.

4.1.2 Etapa 2. Construcción de la base de datos

Una vez recopilada la información, se procedió a construir una base de datos que permitiera organizar los principales documentos, datos y productos cartográficos relacionados con la actividad de rayos.

Para cada fuente se identificaron aspectos como el autor o entidad responsable, año de publicación, periodo de los datos, área geográfica de estudio, tipo de información, variable analizada y utilidad para la investigación.

La construcción de esta base de datos permitió establecer cuáles fuentes contenían información nacional y cuáles estaban específicamente relacionadas con

Santander. Asimismo, permitió reconocer diferencias entre la información histórica disponible y los datos utilizados en estudios más recientes.

La información espacial fue organizada de manera que pudiera ser relacionada posteriormente con la cartografía base y las variables territoriales utilizadas en el análisis.

Tabla 1. *Base documental y geográfica consolidada para la investigación.*

Fuente	Área	Período	Información principal	Uso en la investigación
NTC 4552-1 / ICONTEC (2008)	Colombia	Mapa ceraúnico citado en Anexo A	Cartografía ceraúnica disponible	Referencia normativa y cartográfica
Velandia López (2018)	Santander	2014–2017	Densidad de descargas a tierra y cartografía	Análisis regional y cartografía disponible
Ardila Murillo et al. (2022a)	Santander	2014–2016	Actividad de rayos y parámetros	Antecedente regional
Herrera-Murcia et al. (2018)	Colombia	Serie histórica estudiada por los autores	Actividad nube-tierra	Antecedente nacional

Del Río-Trujillo et al. (2022)	Manizales	Período de estudio del artículo	Rayos y variables meteorológicas	Apoyo para relación fenómeno–variables
Sistema de alertas por rayos (2019)	Manizales/Colombia	Antecedentes históricos	Nivel cerámico y DDT	Apoyo para parámetros y actualización
Cruz Bernal (2019)	Colombia	Información de evaluación del riesgo	Parámetros y riesgo por rayos	Apoyo conceptual y de riesgo
Zenodo	Colombia	2010–2022	Densidad de descargas a tierra y cartografía	Análisis regional y cartografía disponible

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes consultadas.

4.2 Fase 2. Análisis de la información

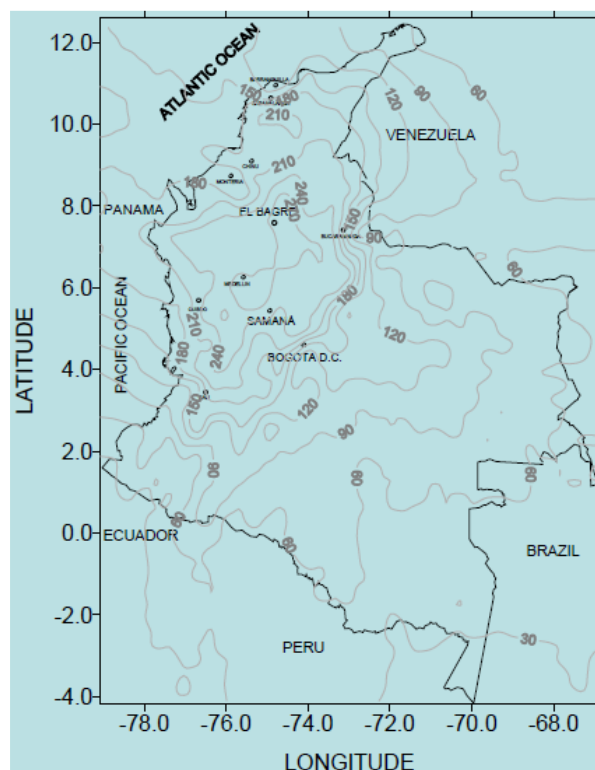
Como parte de la segunda fase se realizó la identificación de la cartografía disponible relacionada con la actividad de rayos en Colombia y Santander.

Para Colombia se revisó el mapa de niveles cerámicos asociado con la NTC 4552-1, utilizado como referencia para representar espacialmente la actividad de tormentas eléctricas en el territorio nacional. Para Santander se revisó la cartografía de densidad de descargas a tierra presentada por Velandia López (2018), elaborada a partir de información de la red LINET. Esta cartografía se utilizó como antecedente regional y como referencia para comprender la distribución espacial de la actividad de rayos en el departamento.

4.2.1 Distribución espacial de la actividad de rayos atmosféricos en Colombia

La revisión bibliográfica permitió identificar que Colombia se encuentra entre los países con mayor actividad eléctrica atmosférica del mundo, de acuerdo con lo analizado en el numeral 2.1.3. *Distribución mundial de la actividad de rayos; en la Figura 1* se presenta la distribución de los niveles ceraúnicos sobre el territorio nacional. La representación cartográfica evidencia que la ocurrencia de descargas atmosféricas no presenta un comportamiento homogéneo, sino que existen regiones donde el fenómeno alcanza una mayor intensidad y frecuencia. Esta variabilidad espacial constituye un elemento fundamental para comprender la dinámica del fenómeno y su incidencia sobre diferentes zonas del país. Este análisis se ha realizado sobre información encontrada con una actualización de 1999, como podemos observar con una antigüedad de 27 años.

Figura 3. *Mapa de ISO-Niveles ceraúnicos para Colombia (Área de 30 km x30 km)*
– 1999



Fuente: Tomado de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2008), NTC 4552-1, Anexo A, Figura A.1.

El comportamiento observado en la Figura 1 guarda relación con las condiciones geográficas y climáticas propias del territorio colombiano. La ubicación del país en la zona intertropical, la influencia permanente de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la elevada disponibilidad de humedad atmosférica y la compleja configuración del relieve favorecen la formación de tormentas convectivas, responsables de la generación de descargas eléctricas. En este contexto, durante el análisis se identificó que regiones como el Magdalena Medio, el Catatumbo, la Amazonía y sectores de las cordilleras Central y Occidental concentran una mayor

actividad eléctrica, mientras que el departamento de Santander presenta condiciones particulares que lo convierten en un territorio de especial interés para el desarrollo de estudios orientados a la gestión del riesgo y la planificación territorial (Aranguren et al., 2017; Inampué et al., 2017).

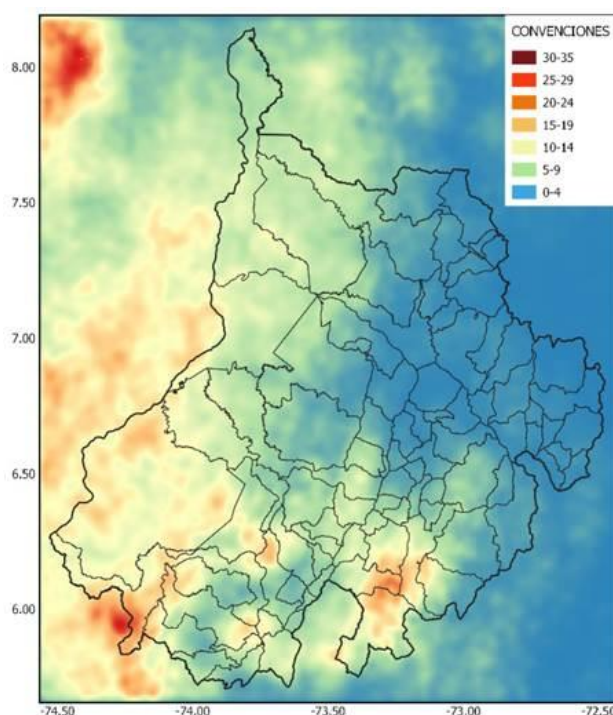
El análisis de la distribución espacial de los niveles ceraúnicos permitió identificar las principales zonas de concentración de la actividad eléctrica atmosférica en Colombia y evidenciar la importancia de incorporar esta información dentro de los procesos de planificación del territorio. Desde la perspectiva de la ingeniería topográfica, la representación cartográfica del fenómeno constituye un insumo técnico para la evaluación de amenazas naturales, la localización de proyectos de infraestructura y la toma de decisiones relacionadas con el ordenamiento territorial. Asimismo, estos resultados sirven como fundamento para los análisis posteriores de la investigación, orientados a evaluar la necesidad de actualizar la información ceraúnica mediante herramientas geoespaciales y tecnologías modernas de detección de rayos (Aranguren et al., 2017; Mora et al., 2022).

Cabe resaltar que, para reconocer el incremento de estas mediciones en el territorio nacional durante las últimas tres décadas, es necesario contar con más información y actualizada, debido a que el análisis realizado para el presente estudio tiene una antigüedad de 27 años. Sería muy recomendable que se pudiera evidenciar, cómo el cambio climático en el mundo puede incidir en la presencia de más descargas atmosféricas (ICONTEC, 2008; Herrera-Murcia et al., 2024).

4.2.2 Distribución espacial de la actividad de rayos atmosféricos en Santander

Ahora bien, para adentrarnos más en la investigación y el propósito de esta, se realiza a continuación, en análisis de la distribución de la actividad eléctrica atmosférica en el departamento de Santander para el estudio del caso. Se presenta la Figura 2 con la densidad de las descargas y lecturas de 2014.

Figura 4. *Densidad de descargas a tierra en Santander, 2014.*

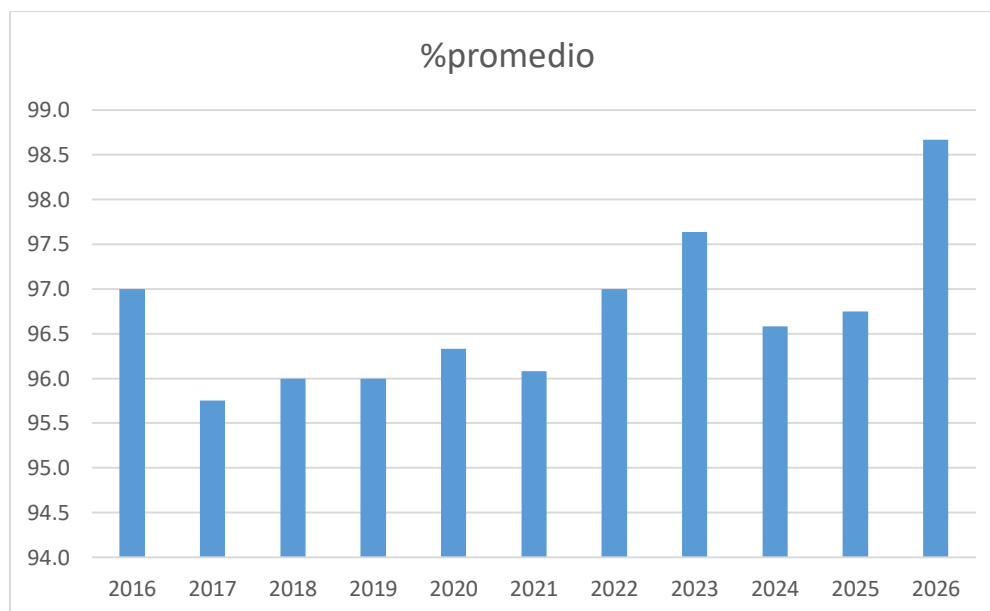


Tomado de *Actividad de rayos en el departamento de Santander entre 2014 y 2016*, por B. S. Ardila Murillo, E. A. Soto Ríos y K. A. Velandia López, 2022, *Ingeniería*, 26(3), pp. 419–435.

La Figura 4 permite analizar el comportamiento espacial de la actividad eléctrica atmosférica en el departamento de Santander dentro del contexto nacional. La representación cartográfica evidencia que el departamento se encuentra localizado en una zona donde convergen condiciones geográficas y climáticas, que favorecen una frecuencia importante de descargas atmosféricas, particularmente en sectores asociados al valle del río Magdalena y a las zonas de transición entre la región andina y el Magdalena Medio. Esta distribución pone de manifiesto que el fenómeno presenta variaciones al interior del departamento, asociadas a las características físicas del territorio y a la dinámica atmosférica propia de la región (Ardila Murillo et al., 2022b).

El comportamiento identificado en Santander puede asociarse a la interacción de diferentes factores físicos presentes en el territorio. La variación altitudinal generada por la cordillera Oriental, la influencia climática del valle del río Magdalena y las condiciones de humedad propias de la región, tal como se presenta en la siguiente Figura N°3 donde se puede evidenciar una presencia alta de humedad relativa con un porcentaje superior 95% en los últimos 10 años de acuerdo a fuente del IDEAM del Reporte de información Hidrometeorológica de DHIME (IDEAM, 2018).

Figura 5. Humedad relativa



Fuente: Autor

La humedad relativa presentada en la zona favorece el desarrollo de procesos convectivos que incrementan la probabilidad de ocurrencia de tormentas eléctricas. En este sentido, la distribución espacial observada responde a la combinación de variables geográficas y atmosféricas que condicionan la intensidad y frecuencia de las descargas eléctricas en el departamento (Ardila Murillo et al., 2022b).

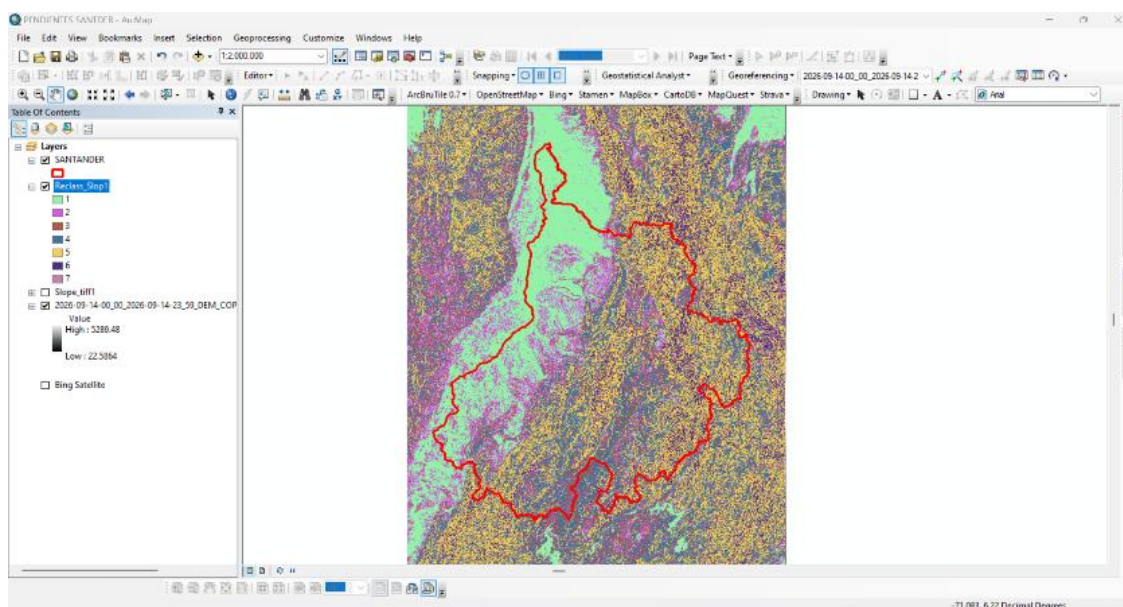
4.3 Fase 3. Interpretación de resultados

En esta etapa se interpretaron los resultados obtenidos mediante la revisión documental y el análisis espacial. La interpretación se orientó a identificar las principales características de la distribución de los rayos en Colombia y Santander,

así como las diferencias existentes entre la cartografía histórica disponible y la información utilizada en investigaciones posteriores.

También se analizaron las implicaciones que puede tener la disponibilidad de información espacial sobre rayos para la gestión del riesgo y la planificación territorial. En este sentido, la información cartográfica puede contribuir a reconocer zonas donde se requiere mayor consideración del fenómeno durante la planificación de infraestructura y en los estudios relacionados con amenazas naturales. Finalmente, a partir de la revisión de la normativa, los antecedentes investigativos y los resultados del análisis espacial, se formularon lineamientos metodológicos orientados a fortalecer los procesos de actualización de los mapas cerámicos.

Figura 6. Mapa límites y superficies de Santander



Fuente: Autor

5.Resultados

5.1 información existente, base de datos y cartografía disponible

El primer objetivo específico estuvo orientado a examinar la información existente sobre la actividad de rayos atmosféricos en Colombia, incluyendo estudios, bases de datos y cartografía disponible, con el propósito de identificar vacíos, limitaciones y falencias en el conocimiento y manejo actual del fenómeno.

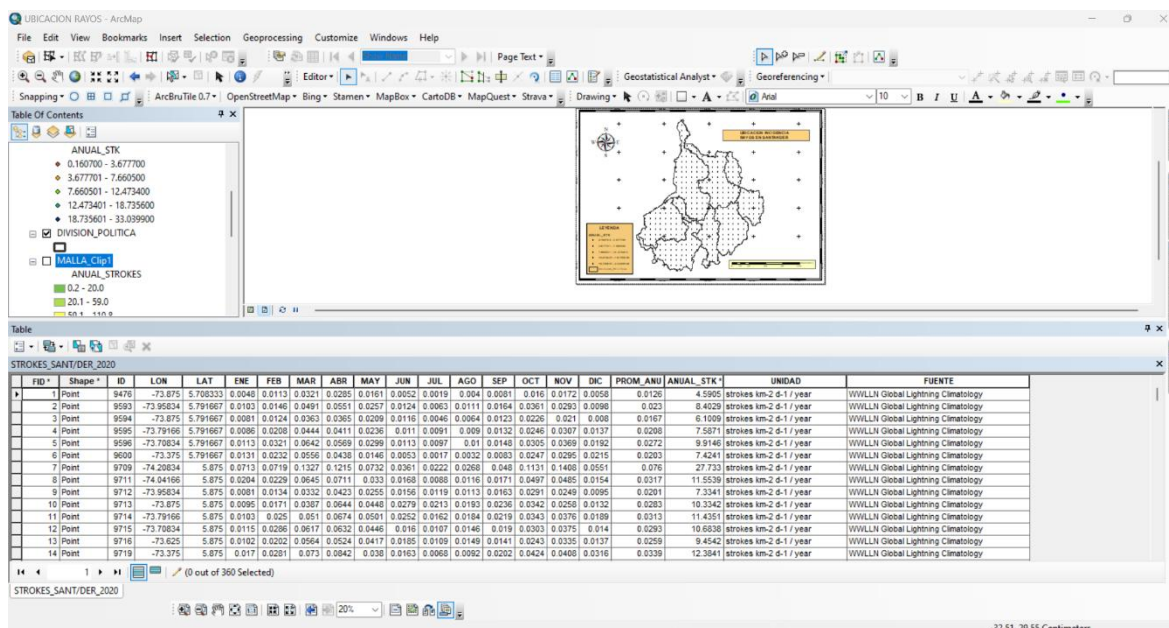
Como resultado de la revisión realizada se consolidó una base de datos con información relacionada con estudios científicos, documentos técnicos, normativa y fuentes cartográficas asociadas a la actividad eléctrica atmosférica.

Figura 7. *Base de datos rayos Santander*

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0



Fuente: Autor

La base de datos permitió organizar las fuentes de acuerdo con su procedencia, año, área de estudio, periodo de información, variable analizada y utilidad para la investigación. Este resultado facilitó la identificación de las fuentes que contienen información sobre Colombia y aquellas que presentan información específica para Santander.

Además de la base de datos, se identificó la existencia de cartografía relacionada con la distribución espacial de la actividad de rayos en Colombia. Entre ella se encuentra el mapa de niveles ceraúnicos utilizado como referencia normativa en la NTC 4552-1.

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

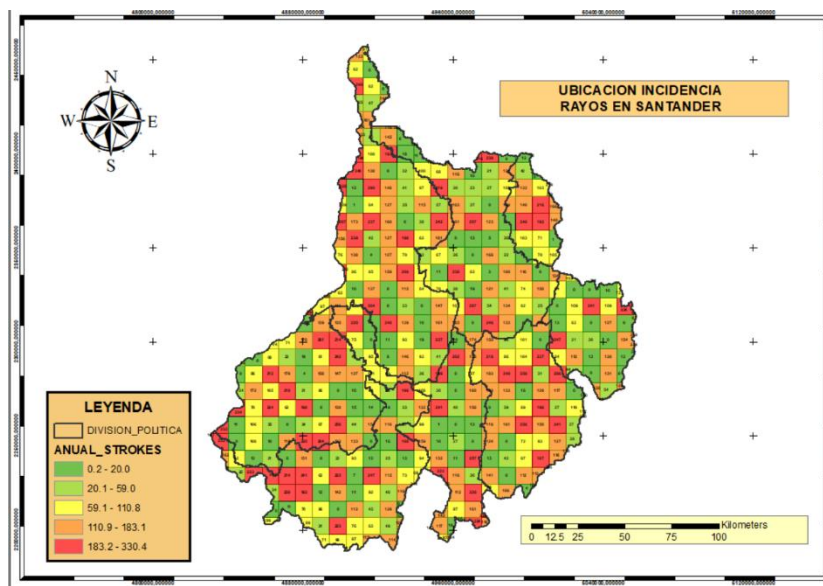
5.2 análisis espacial de la actividad de rayos en Santander

A partir de la información organizada durante el desarrollo metodológico se elaboró un mapa propio del departamento de Santander, en el cual se representa la distribución de los municipios y la información disponible relacionada con la ocurrencia de rayos.

5.2.1 Mapa de municipios de Santander con información de actividad de rayos

En el primer proceso de conteo, se consideraron todas las descargas que afectaron al departamento de Santander; en otras palabras, el análisis se llevó a cabo mediante el estudio de los rayos en el territorio santandereano, individualizando la actividad de rayos en su respectiva área, como en los municipios, provincias y el departamento de Santander, identificando la cantidad de rayos que ocurren anualmente en relación con el área de cada zona, lo que permite calcular el parámetro de densidad.

Figura 8. *Ubicación incidencia rayos en Santander*

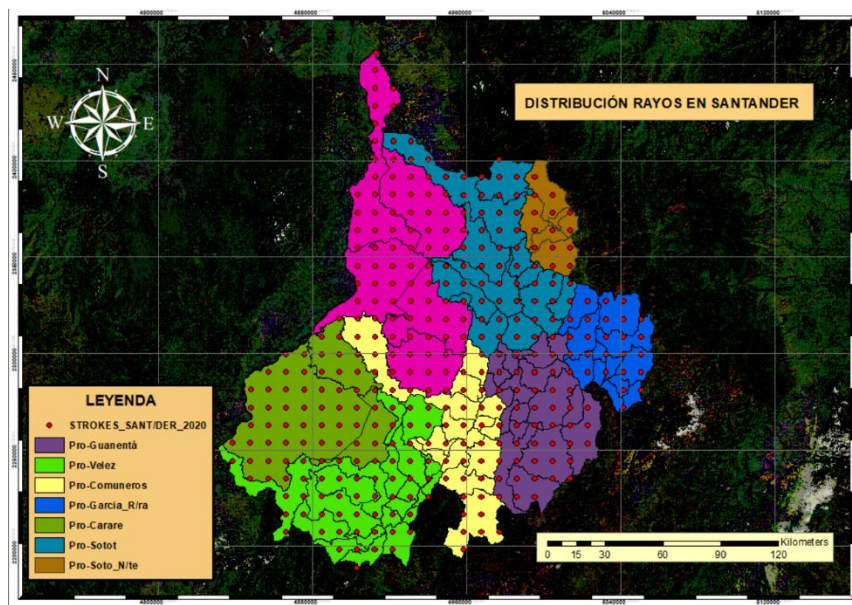


Fuente: Autor. Basado en información de plataforma Zenodo.org

La Figura 8 representa la distribución espacial de la densidad de descargas eléctricas atmosféricas en el departamento de Santander, clasificadas en cinco rangos mediante una escala de colores que va del verde al rojo. La información proviene del conjunto de datos World Wide Lightning Location Network (WWLLN) Global Lightning Climatology (WGLC) and time series, disponible en Zenodo, que contiene registros georreferenciados de descargas para el periodo 2010-2023 (Kaplan, 2024).

El atributo ANUAL_STROKES permite identificar variaciones espaciales en los valores registrados, donde los colores rojos representan los rangos más altos (183,2–330,4) y los verdes los más bajos (0,2–20,0). Esta distribución evidencia que la actividad de rayos no es homogénea en Santander. No obstante, para establecer posibles relaciones con el relieve, es necesario complementar el análisis con información topográfica, climática y geomorfológica. (Kaplan, 2024).

Figura 9. Distribución rayos municipios de Santander



Fuente: Autor. Basado en información plataforma Zenodo.org

La Figura 9 presenta la distribución espacial de las descargas eléctricas atmosféricas registradas en los municipios de Santander durante el año 2020. La cartografía fue elaborada a partir de información del repositorio científico Zenodo, correspondiente al conjunto de datos de la Red Mundial de Localización de Rayos (WWLLN) y la climatología global de rayos (WGLC), desarrollado por Kaplan (2024). Los puntos rojos representan los registros de descargas (strokes), mientras que los colores permiten diferenciar las provincias del departamento para facilitar el análisis de su distribución territorial (Kaplan, 2024).

La representación permite observar la presencia de descargas en las distintas provincias de Santander y comparar su distribución espacial. La concentración de puntos rojos constituye un indicador de la actividad de rayos registrada.

Asimismo, se realizó una comparación entre los municipios de grandes y pequeñas dimensiones en función de su actividad de rayos. Empleando herramientas de investigación de ARCMAP y su función de selección por localización, se identificaron los datos sobre la actividad de rayos en cada una de las secciones, se llevó a cabo la tabulación en Excel y se procesaron los datos, logrando identificar los municipios con la mayor y menor densidad de rayos en su respectiva extensión. Las tablas a continuación fueron elaboradas a partir de la base de datos de rayos en Santander.

Tabla 2. Municipios con Alta densidad de Rayos por área km². Años 2014-2015-2016-2017.

2014	Rayos	Área	Densidad	2015	Rayos	Área	Densidad
Gambita	21.482	543,9	39,49	Cimitarra	252.758	3.214,80	78,62
Oiba	10.671	287,2	37,15	Bolívar	68.036	1.025,30	66,36
Cimitarra	115.544	3.214,80	35,94	Suaita	17.696	293,6	60,28
Suaita	10.380	293,6	35,36	Puerto Parra	45.674	772,4	59,14
Puerto Parra	26.935	772,4	34,87	Landázuri	31.584	619,7	50,97

2016	Rayos	Área	Densidad	2017	Rayos	Área	Densidad
Cimitarra	358.852	3.214,80	111,63	Bolívar	124.613	1.025,30	121,54
Bolívar	96.613	1.025,30	94,23	Cimitarra	263.922	3.214,80	82,1
Puerto Parra	55.652	772,4	72,06	Puerto Parra	57.306	772,4	74,2
Landázuri	42.265	619,7	68,21	Barranca-bermeja	85.633	1.255,10	68,23
Suaita	19.459	293,6	66,28	Gambita	36.162	543,9	66,48

La Tabla 2 presenta los municipios de Santander que registraron los mayores valores de densidad de descargas eléctricas atmosféricas durante el periodo 2014-2017. Para cada año se incluyen tres variables principales: la cantidad de rayos registrados, el área del municipio expresada en kilómetros cuadrados (km²) y la densidad de descargas, calculada mediante la relación entre el número de rayos y la superficie municipal. En este contexto, el área corresponde a la extensión territorial total del municipio y no exclusivamente a la superficie afectada por las descargas. La densidad permite comparar la intensidad de los registros entre municipios de diferente tamaño, al expresar la cantidad de descargas por unidad de superficie, siempre que los datos y las unidades utilizadas sean consistentes.

Los resultados muestran variaciones en la distribución espacial y temporal de las descargas. En 2014, Gámbita presentó la mayor densidad entre los municipios relacionados, con 39,49, mientras que en 2015 Cimitarra registró el valor más alto, con 78,62. Para 2016, Cimitarra continuó destacándose, con una densidad de 111,63; sin embargo, en 2017 Bolívar alcanzó el valor máximo de ese año, con 121,54. Estas variaciones evidencian que los municipios con mayores valores de densidad cambiaron durante el periodo analizado. La información permite reconocer sectores prioritarios para profundizar en el estudio de la actividad eléctrica atmosférica y su relación con las características climáticas y topográficas del territorio, sin que la densidad por sí sola determine el nivel de riesgo para la población o la infraestructura.

Tabla 3. Municipios con Baja densidad de Rayos por área km². Años 2014-2015-2016-2017.

2014	Rayos	Área	Densidad	2015	Rayos	Área	Densidad
Cerrito	149	429.1	0.35	Cerrito	173	429.1	0.40
Vetas	52	94.6	0.55	Vetas	53	94.6	0.56
Floridablanca	78	100.1	0.78	Concepción	266	340.7	0.78
Concepción	267	340.7	0.78	Tona	374	348.9	1.07
Los Santos	313	294.2	1.06	Carcasí	383	261.6	1.46

2016	Rayos	Área	Densidad	2017	Rayos	Área	Densidad
Vetas	89	94.6	0.94	Cerrito	244	429.1	0.57
Cerrito	479	429.1	1.12	Concepción	645	340.7	1.89
Tona	462	348.9	1.32	Tona	695	348.9	1.99
Concepción	527	340.7	1.55	Vetas	215	94.6	2.27
Carcasí	487	261.6	1.86	Guaca	778	309.7	2.51

La Tabla 3 presenta los municipios de Santander que registraron los menores valores de densidad de descargas eléctricas atmosféricas durante el periodo 2014-2017. Se incluyen la cantidad de rayos registrados anualmente, el área total de cada municipio en kilómetros cuadrados (km²) y la densidad calculada en función de la relación entre el número de descargas y la superficie municipal. Esta información permite comparar la actividad eléctrica entre municipios de diferentes extensiones territoriales e identificar aquellos que presentan menores valores relativos de descargas por unidad de área.

Los resultados muestran que Cerrito y Vetas se mantienen entre los municipios con menor densidad durante varios años del periodo analizado. En 2014, Cerrito presentó el valor más bajo, con 0,35, mientras que en 2015 fue de 0,40. Para 2016,

Vetas registró la menor densidad, con 0,94, y en 2017 Cerrito alcanzó un valor de 0,57. Por otra parte, se observa un incremento progresivo de la densidad en algunos municipios, como Tona y Concepción, lo que evidencia variaciones temporales en la distribución de las descargas. Estos resultados permiten reconocer diferencias espaciales en la actividad eléctrica atmosférica y constituyen un insumo para estudios complementarios que relacionen las descargas con las condiciones climáticas, topográficas y territoriales de Santander.

Tabla 4. *Densidad de Rayos por área km² en provincias. Años 2014-2015-2016-2017.*

2014	Rayos	Área	Densidad	2015	Rayos	Área	Densidad
Carare	157,263	4,606.8	34.14	Carare	330016	4,606.8	71.64
Comuneros	93,961	3,385.7	27.75	Comuneros	137199	3,385.7	40.52
Vélez	114,158	4,487.7	25.44	Vélez	178304	4,487.7	39.73
Mares	110,148	6,312.0	17.45	Mares	238703	6,312.0	37.82
Guanentá	36,505	3,866.7	9.44	Guanentá	51792	3,866.7	13.39
Soto	28,122	4,880.2	5.76	Soto	52526	4,880.2	10.76
Soto Norte	1,951	1,231.7	1.58	Soto Norte	2444	1,231.7	1.98
García Rovira	3,17	2,280.6	1.39	García Rovira	4310	2,280.6	1.89

2016	Rayos	Área	Densidad	2017	Rayos	Área	Densidad
Carare	456769	4,606.8	99.15	Carare	358574	4,606.8	77.84
Vélez	240266	4,487.7	53.54	Vélez	252356	4,487.7	56.23
Comuneros	143362	3,385.7	42.34	Mares	296435	6,312.0	46.96
Mares	229698	6,312.0	36.39	Comuneros	156305	3,385.7	46.17
Guanentá	65044	3,866.7	16.82	Soto	89356	4,880.2	18.31
Soto	71287	4,880.2	14.61	Guanentá	59463	3,866.7	15.38
Soto Norte	3973	1,231.7	3.23	Soto Norte	3880	1,231.7	3.15
García Rovira	5588	2,280.6	2.45	García Rovira	6530	2,280.6	2.86

La Tabla 4 presenta la cantidad de descargas eléctricas atmosféricas registradas, la densidad de rayos en las provincias de Santander durante el periodo 2014-2017. El área corresponde a la superficie total de cada provincia, expresada en kilómetros cuadrados (km²), mientras que la densidad representa la relación entre el número de descargas registradas y dicha superficie. Esta información permite comparar la distribución de la actividad eléctrica atmosférica entre las provincias, independientemente de sus diferencias de extensión territorial, e identificar aquellas que presentan mayores valores de densidad.

Los resultados muestran que la provincia de Carare registró la mayor densidad durante todo el periodo analizado, con valores de 34,14 en 2014, 71,64 en 2015, 99,15 en 2016 y 77,84 en 2017. Por su parte, Vélez y Comuneros también presentaron valores destacados, mientras que Soto Norte y García Rovira registraron las densidades más bajas. En términos temporales, se observa un incremento general de la densidad entre 2014 y 2016, seguido de una disminución en varias provincias durante 2017. Estas variaciones evidencian diferencias espaciales y temporales en la actividad de rayos en Santander y permiten identificar

zonas de interés para profundizar en el análisis de las condiciones climáticas, topográficas y territoriales asociadas a este fenómeno.

Tabla 5. *Densidad de Rayos por área km2 en Santander. Años 2014-2015-2016-2017.*

Santander	Rayos	Densidad
2014	545.278	17,56
2015	995.294	32,053
2016	1'215.987	39,16
2017	1'222.899	39,383

El análisis de la densidad de descargas atmosféricas por unidad de área evidencia una disminución de la actividad de rayos hacia el sector oriental del departamento de Santander. Las provincias de Soto y Guanentá presentan niveles intermedios de incidencia y se localizan en la zona central del departamento. La provincia de Soto comprende municipios de alta importancia urbana y poblacional, entre ellos Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. Por su parte, la provincia de Guanentá comprende municipios con relevancia turística y cultural,

como San Gil, Socorro, Barichara, Charalá y Curití. Esta distribución permite identificar diferencias espaciales en la ocurrencia de descargas atmosféricas entre las distintas provincias del departamento.

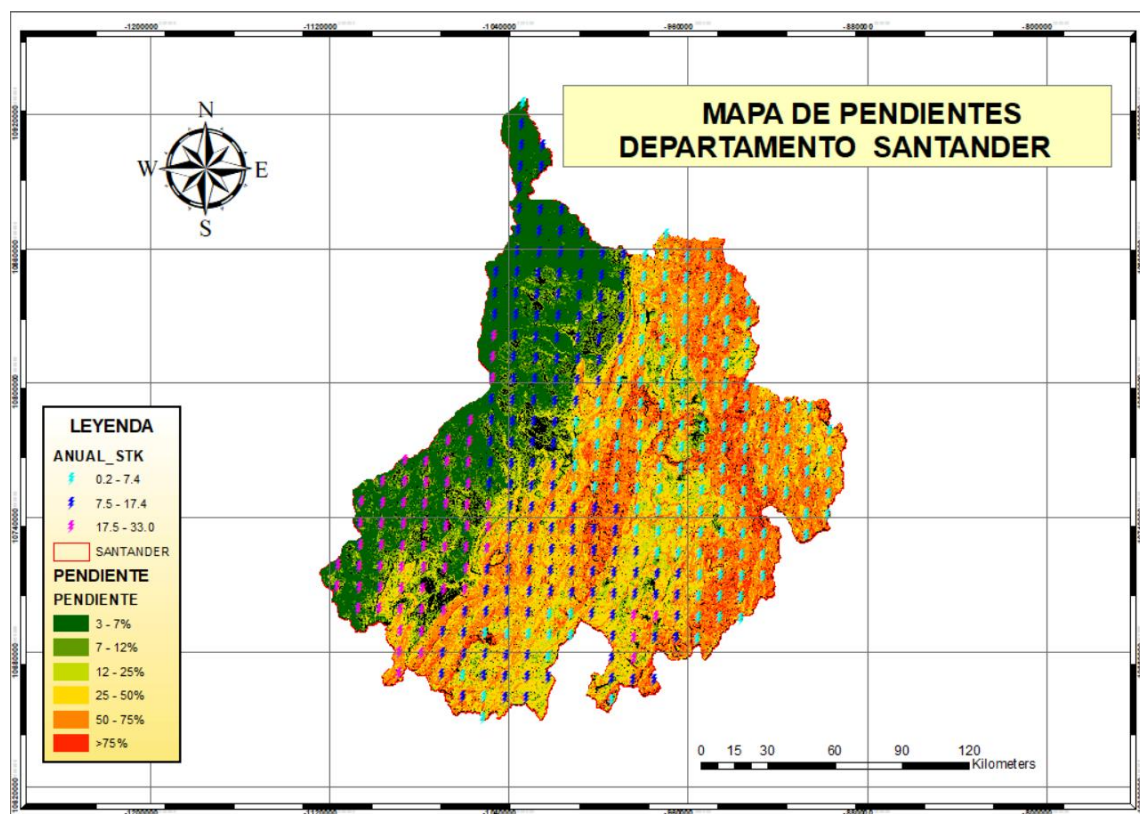
5.2.2 Mapa de pendientes con superposición de la actividad de rayos

La Figura 10 presenta la distribución espacial de la actividad de rayos en relación con las pendientes del terreno en el departamento de Santander. La cartografía integra las categorías de pendiente, expresadas en porcentajes, con tres rangos de actividad anual de descargas eléctricas atmosféricas: 0,2–7,4; 7,5–17,4 y 17,5–33,0, representados mediante diferentes colores. Esta superposición permite explorar la posible relación entre la distribución de los rayos y las características del relieve departamental.

En la representación se observa que los registros de mayor actividad, correspondientes al rango de 17,5–33,0, se distribuyen principalmente en sectores del occidente y centro-occidente del departamento, donde predominan áreas con pendientes bajas a moderadas, aunque también se presentan variaciones en otros sectores del territorio. Por su parte, las zonas con pendientes más pronunciadas se concentran en sectores del centro, oriente y sur de Santander. Esta distribución sugiere que la actividad de rayos no depende exclusivamente de la inclinación del terreno, sino que puede estar relacionada con la interacción de factores atmosféricos y geográficos. Entre ellos se encuentran la humedad, la circulación de

los vientos, la inestabilidad atmosférica, la altitud y el relieve, que pueden favorecer el ascenso de masas de aire y el desarrollo de tormentas eléctricas.

Figura 10. *Relación espacial entre pendiente del terreno y actividad de rayos en Santander*



Tomado de: Autor. Basado en información plataforma Zenodo.org

El propósito de este producto fue visualizar la relación espacial entre la configuración del relieve y la distribución de los registros de actividad eléctrica atmosférica.

La superposición de ambas capas permite observar en qué sectores del departamento se presentan registros de rayos y cuáles son las condiciones de pendiente correspondientes. Asimismo, permite relacionar la información de los registros de rayos con los municipios donde estos se localizan.

5.2.3 Interpretación espacial de los resultados

La comparación entre la cartografía disponible y los productos generados permite establecer que la actividad de rayos presenta una distribución espacial diferenciada dentro del territorio de Santander.

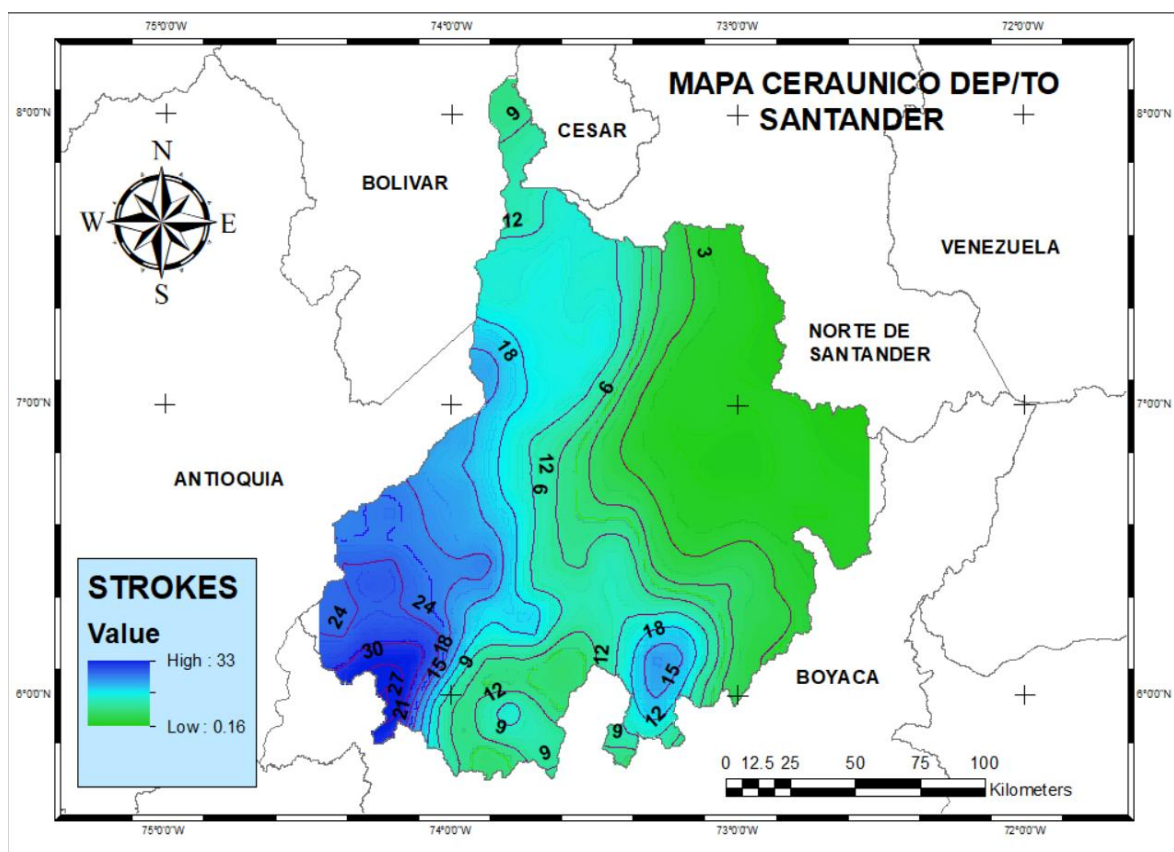
Los resultados muestran la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica para integrar información de diferentes fuentes y representarla dentro de un mismo sistema espacial. La incorporación de la división municipal permite identificar las unidades territoriales relacionadas con los registros de rayos, mientras que la incorporación de la pendiente permite añadir una perspectiva topográfica al análisis.

La Figura 9 presenta el mapa de distribución espacial del nivel ceráunico en el departamento de Santander, elaborado a partir de información georreferenciada de descargas eléctricas atmosféricas (*strokes*). La representación utiliza una escala de colores y líneas de igual valor para identificar las variaciones de la actividad de rayos en el territorio, con valores comprendidos entre 0,16 y 33, según la ubicación. Los tonos azules representan las zonas con valores más elevados, mientras que los tonos verdes indican valores inferiores. Esta cartografía permite reconocer la

distribución espacial de la actividad eléctrica atmosférica e identificar sectores con mayor concentración relativa de descargas.

En el mapa se observa una mayor concentración de valores hacia el occidente y suroccidente de Santander, donde se presentan registros de hasta 33, mientras que hacia el oriente y nororiente predominan valores inferiores. Esta variación espacial permite identificar diferencias en la actividad de rayos dentro del departamento y constituye un insumo para la actualización de la información ceráunico y el análisis de la amenaza por descargas eléctricas atmosféricas.

Figura 11. *Mapa nivel ceráunico de Santander*



Fuente: Autor

La información disponible también evidencia la importancia de utilizar periodos de observación suficientemente amplios y datos actualizados para representar adecuadamente la distribución del fenómeno.

En consecuencia, el análisis realizado proporciona una base para estudios posteriores que incorporen otras variables territoriales y ambientales, como precipitación, humedad relativa, temperatura, altitud y características de la superficie.

5.3 Lineamientos metodológicos y estrategias de actualización de mapas ceraúnicos y gestión de la información sobre rayos

La revisión de la información disponible permitió identificar que los mapas ceraúnicos utilizados como referencia para la representación de la actividad eléctrica atmosférica en Colombia presentan limitaciones asociadas principalmente a la antigüedad de la información empleada para su elaboración. Esta condición dificulta que la representación cartográfica refleje de manera suficiente el comportamiento actual del fenómeno y evidencia la necesidad de fortalecer los procesos de recopilación, actualización y organización de los datos relacionados con las descargas atmosféricas (ICONTEC, 2008; Herrera-Murcia et al., 2024).

5.3.1 Lineamientos metodológicos

A partir de la revisión de la información disponible y de las limitaciones identificadas en los mapas ceraúnicos actualmente utilizados como referencia en Colombia, se propone una matriz de lineamientos orientada a establecer criterios para fortalecer los procesos de actualización, organización, análisis y utilización de la información relacionada con la actividad de rayos atmosféricos. La construcción de esta matriz parte de la necesidad de integrar información proveniente de diferentes fuentes y de incorporar herramientas de análisis geoespacial que permitan representar con mayor precisión la distribución espacial del fenómeno. Lo anterior es coherente con el enfoque de la presente investigación, en el cual se reconoce la importancia de integrar información meteorológica, topográfica y cartográfica mediante herramientas SIG para apoyar la identificación de zonas con mayor exposición.

Los criterios propuestos en la matriz se organizan considerando diferentes etapas asociadas al manejo de la información, desde su recopilación y evaluación hasta su integración, análisis espacial, actualización cartográfica y utilización como insumo para la gestión del riesgo y la planificación territorial. En este sentido, la matriz no pretende establecer un procedimiento normativo definitivo, sino constituir una propuesta metodológica que permita orientar futuras iniciativas institucionales y estudios técnicos encaminados a mejorar la calidad, actualidad y disponibilidad de la información sobre descargas atmosféricas.

Tabla 6. *Lineamientos metodológicos para la gestión de la información.*

Criterio	Acción propuesta	Información requerida	Resultado esperado	Aplicación
Recopilación de información	Consolidar registros de diferentes fuentes	Datos de descargas atmosféricas	Base de datos integrada	Actualización de información
Calidad y validación	Revisar consistencia y temporalidad	Registros históricos y recientes	Información confiable	Análisis técnico
Integración geoespacial	Integrar rayos + topografía + variables ambientales	Capas SIG	Base geoespacial integrada	Análisis espacial
Actualización cartográfica	Generar nueva representación de la distribución	Datos depurados y procesados	Mapa ceraúnico actualizado	Gestión territorial
Actualización periódica	Incorporar nuevos registros	Nuevas observaciones	Información vigente	Seguimiento

Criterio	Acción propuesta	Información requerida	Resultado esperado	Aplicación
Gestión del riesgo	Identificar zonas de mayor exposición	Mapas y análisis espacial	Zonas prioritarias	Prevención y mitigación
Infraestructura	Incorporar criterios de protección	Información de amenaza + diseño	Infraestructura con medidas de protección	Diseño y construcción
Política pública	Incorporar la información en instrumentos de planificación	Información territorial actualizada	Criterios técnicos para decisiones	Ordenamiento y gestión del riesgo

Nota: Elaboración propia.

Uno de los principales criterios considerados para la elaboración de la propuesta, corresponde a la necesidad de fortalecer la recopilación y consolidación de información proveniente de diferentes entidades, investigaciones y sistemas de detección de rayos. La investigación identificó como una de las problemáticas existentes la limitada integración de información meteorológica, topográfica y geoespacial, así como la insuficiente utilización de herramientas SIG para el análisis espacial de la actividad eléctrica atmosférica, además la tecnología ha presentado un avance significativo en las últimas dos décadas para que facilite la administración de la información. Por esta razón, se considera necesario que los procesos de actualización incorporen mecanismos que permitan organizar y relacionar los registros de descargas atmosféricas con variables espaciales y ambientales que contribuyan a interpretar su comportamiento territorial (Aranguren et al., 2013; Herrera-Murcia et al., 2018).

De igual manera, la actualización de los mapas ceraúnicos requiere considerar la calidad, consistencia, temporalidad y representatividad espacial de los datos empleados. La utilización de información reciente permitiría reducir las limitaciones asociadas al empleo de registros históricos y favorecería una representación más acorde con el comportamiento observado del fenómeno. En este proceso, los Sistemas de Información Geográfica adquieren especial importancia al permitir integrar diferentes fuentes de información, realizar análisis espaciales y generar representaciones cartográficas que faciliten la identificación de patrones de concentración y zonas de mayor exposición (Herrera-Murcia et al., 2024; Mora et al., 2022).

La matriz propuesta busca, por tanto, que la actualización de la información no se entienda únicamente como la elaboración de un nuevo mapa, sino como un proceso continuo de generación, recopilación, validación, integración y análisis de información geoespacial. Bajo este enfoque, los resultados obtenidos pueden constituirse en insumos para la toma de decisiones relacionadas con la gestión del riesgo, la planificación territorial y el desarrollo de proyectos de infraestructura, especialmente en aquellas zonas donde se identifiquen mayores niveles de actividad eléctrica atmosférica (UNGRD, 2024).

En este contexto, se considera pertinente que las entidades gubernamentales y demás instituciones responsables de la gestión del territorio destinen recursos técnicos, económicos y humanos para el desarrollo de proyectos orientados a la actualización y mantenimiento de esta información. La generación de cartografía actualizada sobre la distribución de los rayos puede contribuir a mejorar el conocimiento de la amenaza y, consecuentemente, proporcionar elementos técnicos para orientar inversiones en prevención, mitigación y reducción del riesgo.

La disponibilidad de información espacial confiable permitiría, además, que las decisiones de planificación e inversión pública incorporen de manera más efectiva las condiciones particulares de cada territorio.

Desde esta perspectiva, los resultados de la investigación también permiten reconocer la necesidad de fortalecer la articulación entre la generación de información sobre actividad eléctrica atmosférica y las políticas públicas relacionadas con la planificación territorial, la gestión del riesgo y el desarrollo de infraestructura. En los departamentos y zonas donde se identifiquen mayores niveles de ocurrencia de descargas atmosféricas, esta información podría constituir un criterio técnico para orientar la formulación o actualización de instrumentos, reglamentos y políticas que establezcan condiciones de seguridad para las nuevas obras de infraestructura y para aquellas que requieran intervención o modernización (UNGRD, 2024).

En particular, se considera importante que los proyectos de infraestructura localizados en zonas con mayor exposición incorporen, desde sus etapas de planificación y diseño, criterios técnicos relacionados con la protección frente a descargas atmosféricas. Estos criterios deberían orientarse a que las estructuras y sus sistemas asociados cuenten con condiciones adecuadas para soportar, conducir, redireccionar y aislar los efectos de la energía eléctrica generada por este tipo de fenómenos, de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas que resulten aplicables a cada proyecto. De esta manera, la información actualizada sobre la distribución espacial de los rayos podría trascender el ámbito cartográfico y convertirse en un insumo para fortalecer las condiciones de seguridad de las

personas, las edificaciones, las instalaciones y los sistemas de infraestructura (ICONTEC, 2008).

En consecuencia, la matriz que se presenta a continuación establece una propuesta de criterios y acciones que pueden ser considerados en futuros procesos de actualización de mapas cartográficos y gestión de la información sobre rayos atmosféricos. Su finalidad es facilitar la identificación de las necesidades de información, orientar la integración de diferentes fuentes y promover el uso de herramientas geoespaciales como soporte para la toma de decisiones, procurando que los resultados obtenidos puedan ser incorporados progresivamente en los procesos de gestión del riesgo, planificación territorial y formulación de proyectos de infraestructura.

5.3.2 Estrategias para la actualización y gestión de la información sobre rayos atmosféricos

A partir de los resultados obtenidos y de las limitaciones identificadas durante la revisión de la información disponible, se plantean estrategias orientadas a fortalecer la actualización, gestión y utilización de la información relacionada con la actividad eléctrica atmosférica en Colombia. Estas estrategias buscan complementar los lineamientos metodológicos propuestos anteriormente, promoviendo no solo la generación de información cartográfica actualizada, sino también su conservación, integración y utilización como insumo para la toma de decisiones relacionadas con la gestión del riesgo y la planificación territorial.

La formulación de estas estrategias parte de la necesidad de superar algunas de las limitaciones identificadas en la investigación, entre ellas la utilización de información histórica, la limitada consolidación de datos provenientes de diferentes

fuentes, la escasa integración entre información meteorológica, topográfica y geoespacial y la insuficiente incorporación del análisis de rayos atmosféricos en los procesos de planificación territorial. En consecuencia, se propone un enfoque orientado a fortalecer la articulación institucional y técnica, mejorar la disponibilidad de información y facilitar su incorporación progresiva en los procesos de gestión del territorio.

Estrategia 1. Consolidación y actualización permanente de la información

Se propone fortalecer los mecanismos de recopilación y consolidación de información sobre descargas atmosféricas mediante la integración de registros provenientes de redes de detección de rayos, entidades técnicas, instituciones académicas y demás fuentes que dispongan de información relacionada con el fenómeno. Esta estrategia debe orientarse a conformar y mantener una base de información organizada, georreferenciada y técnicamente validada, que permita incorporar nuevos registros de manera progresiva y facilite la generación de productos cartográficos actualizados (Aranguren et al., 2013; Herrera-Murcia et al., 2018).

La actualización debe entenderse como un proceso continuo y no como una actividad aislada asociada exclusivamente a la elaboración de un nuevo mapa ceraúnico. De esta manera, se busca reducir la dependencia de información histórica y disponer de datos que permitan reconocer oportunamente posibles variaciones en la distribución espacial y temporal de la actividad eléctrica atmosférica (Herrera-Murcia et al., 2024).

Estrategia 2. Integración y análisis de información mediante Sistemas de Información Geográfica

Se propone fortalecer el uso de Sistemas de Información Geográfica como herramienta para integrar los registros de descargas atmosféricas con información topográfica, climática, meteorológica y cartográfica. Esta integración permitiría analizar espacialmente el comportamiento del fenómeno, identificar patrones de concentración y reconocer sectores que presenten mayores niveles de exposición (Mora et al., 2022; Aranguren et al., 2017).

Desde el enfoque de la Ingeniería Topográfica, la utilización de herramientas SIG constituye un mecanismo para relacionar la ocurrencia de las descargas atmosféricas con variables propias del territorio, tales como la localización geográfica, altitud, relieve y demás información espacial disponible. De esta manera, los productos resultantes pueden superar una representación exclusivamente descriptiva y convertirse en insumos para el análisis territorial y la identificación de áreas que requieran especial atención desde la perspectiva de la gestión del riesgo. La investigación reconoce precisamente la importancia de integrar información climática, topográfica y cartográfica mediante herramientas SIG para representar espacialmente la distribución de las descargas atmosféricas (Aranguren et al., 2017; Mora et al., 2022).

Estrategia 3. Fortalecimiento de la articulación institucional

Se propone promover una mayor articulación entre las entidades responsables de la generación, administración y utilización de información relacionada con la actividad eléctrica atmosférica, con el propósito de facilitar el intercambio, actualización y aprovechamiento de los datos disponibles. Esta articulación

permitiría reducir la fragmentación de la información y favorecer la construcción de productos geoespaciales que puedan ser consultados y utilizados por las entidades encargadas de la gestión del riesgo, la planificación territorial y el desarrollo de infraestructura (UNGRD, 2024).

La consolidación de mecanismos de intercambio de información también permitiría que los resultados obtenidos mediante investigaciones académicas y proyectos técnicos puedan retroalimentar los sistemas institucionales de información. En este sentido, la estrategia busca que la información sobre rayos no permanezca limitada al ámbito de estudios particulares, sino que pueda incorporarse progresivamente a los procesos institucionales de análisis y toma de decisiones (UNGRD, 2024).

Estrategia 4. Incorporación de la información en la gestión del riesgo y la planificación territorial

Se propone promover la incorporación de la información actualizada sobre actividad eléctrica atmosférica como insumo técnico para los procesos de gestión del riesgo, planificación territorial y formulación de proyectos de infraestructura. La identificación de zonas con mayor incidencia de descargas puede contribuir a orientar la priorización de estudios, inversiones y medidas de prevención y mitigación, especialmente en aquellos territorios donde las condiciones geográficas y climáticas favorezcan una mayor exposición al fenómeno (Villamil et al., 2021; UNGRD, 2024).

En este sentido, la información geoespacial actualizada podría ser considerada dentro de los procesos de planificación y diseño de infraestructura, de manera que las condiciones de exposición frente a descargas atmosféricas sean evaluadas

desde las etapas iniciales de los proyectos. Esto permitiría promover la incorporación de medidas técnicas de protección y seguridad acordes con las características y requerimientos de cada tipo de infraestructura, incluyendo sistemas destinados a soportar, conducir, redireccionar y aislar los efectos asociados a las descargas atmosféricas, de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables (ICONTEC, 2008).

Asimismo, la disponibilidad de información actualizada podría constituir un insumo para que las entidades territoriales y nacionales fortalezcan sus instrumentos de planificación y gestión del riesgo y, cuando corresponda, desarrollen o actualicen criterios técnicos y políticas públicas orientadas a reducir la vulnerabilidad de la infraestructura y de la población frente a este fenómeno natural (UNGRD, 2024).

En conjunto, las estrategias propuestas buscan establecer una ruta articulada para mejorar la gestión de la información sobre actividad eléctrica atmosférica, partiendo de la recopilación y actualización de los datos, continuando con su integración y análisis mediante herramientas geoespaciales y finalizando con su utilización como insumo para la gestión del riesgo, la planificación territorial y el desarrollo de infraestructura. Bajo este enfoque, la actualización de los mapas ceraúnicos se concibe como un proceso dinámico que requiere información confiable, herramientas técnicas adecuadas y articulación institucional, de manera que los productos generados puedan mantener su utilidad y contribuir efectivamente a la toma de decisiones sobre el territorio.

6. Conclusiones

1. La presente monografía permitió recopilar, organizar y analizar información científica, técnica, normativa y geoespacial relacionada con la distribución de los rayos atmosféricos en Colombia, evidenciando que la ocurrencia de este fenómeno presenta una marcada variabilidad espacial asociada a las condiciones geográficas, topográficas y climáticas del territorio. La identificación de regiones con mayor actividad eléctrica permite reconocer que la amenaza no se distribuye de manera homogénea y que, por tanto, debe ser considerada como una variable territorial dentro de los procesos de planificación y gestión del riesgo (Herrera-Murcia et al., 2018; Herrera-Murcia et al., 2024).

2. El análisis realizado permitió reconocer zonas del territorio colombiano con mayor incidencia de descargas atmosféricas y, particularmente, la importancia del departamento de Santander como área de interés para el análisis del fenómeno, debido a la interacción de sus condiciones climáticas y su compleja configuración topográfica. Estos resultados permiten resaltar el valor de la información espacial para identificar sectores con mayores niveles de exposición y generar criterios técnicos que puedan ser considerados en la evaluación del riesgo y en la planificación de proyectos de infraestructura.

3. La revisión de la información disponible permitió establecer que los mapas ceraúnicos constituyen un insumo relevante para la representación espacial de la actividad eléctrica atmosférica; sin embargo, la utilización de información histórica y la limitada integración de datos provenientes de diferentes fuentes evidencian la necesidad de fortalecer sus procesos de actualización. En este sentido, la monografía propone lineamientos orientados a mejorar la recopilación, validación, integración y análisis de la información, promoviendo el uso de Sistemas de Información Geográfica como herramienta para generar productos cartográficos con

mayor utilidad para la interpretación del comportamiento espacial del fenómeno (ICONTEC, 2008; Herrera-Murcia et al., 2024).

4. Los resultados permiten concluir que la gestión de la información sobre rayos atmosféricos debe concebirse como un proceso continuo que involucre la recopilación y actualización de datos, su integración con información topográfica, climática y cartográfica, la articulación entre las entidades que generan y administran esta información y su incorporación en los procesos de gestión del riesgo y planificación territorial. Para ello, resulta necesario promover la asignación de recursos técnicos, económicos y humanos destinados a mantener información geoespacial confiable y actualizada, de manera que esta pueda constituirse en un insumo permanente para la toma de decisiones y no únicamente en un producto cartográfico de consulta (UNGRD, 2024; Mora et al., 2022).

5. La incorporación de la información sobre la distribución de los rayos atmosféricos en los procesos de planificación permite avanzar hacia una mayor prevención y reducción de la vulnerabilidad de la población y de la infraestructura. En las zonas donde se identifiquen mayores niveles de actividad eléctrica, esta información puede servir como criterio técnico para orientar estudios, inversiones y medidas de protección en edificaciones, instalaciones y demás obras de infraestructura, procurando que desde las etapas de planificación, diseño y construcción se consideren soluciones técnicas que permitan soportar, conducir, redireccionar y aislar los efectos asociados a las descargas atmosféricas, de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables a cada proyecto. De esta manera, la información geoespacial sobre rayos puede trascender su función descriptiva y convertirse en un elemento de apoyo para fortalecer la seguridad y resiliencia de las obras y del territorio.

6. Finalmente, la investigación resalta la importancia de generar conciencia tanto en las entidades gubernamentales como en la población sobre la necesidad de conocer, administrar y utilizar adecuadamente la información relacionada con los fenómenos naturales que afectan el territorio. La disponibilidad de información actualizada sobre la actividad eléctrica atmosférica puede contribuir a mejorar la toma de decisiones, fortalecer la gestión del riesgo, orientar la planificación territorial y promover condiciones de mayor seguridad para la población y la infraestructura. En este contexto, la monografía constituye un aporte académico y social al consolidar información y criterios que pueden servir de base para futuras investigaciones y proyectos, y permite destacar el papel de la Ingeniería Topográfica en la recopilación, administración, integración, análisis y representación de información geoespacial como soporte fundamental para el conocimiento del territorio y la toma de decisiones orientadas a su planificación y protección (Villamil et al., 2021).

7. Recomendaciones

1. Se recomienda a las entidades responsables de la generación, administración y gestión de información ambiental y territorial promover proyectos orientados a la recopilación, consolidación, validación y actualización de registros de descargas atmosféricas, utilizando fuentes recientes y tecnologías modernas de detección. Estos procesos deberían permitir superar progresivamente las limitaciones asociadas al uso de información histórica y favorecer la generación de productos cartográficos que representen de manera más precisa las condiciones actuales del fenómeno.

2. Se recomienda continuar promoviendo el uso de herramientas SIG para integrar la información de descargas atmosféricas con variables topográficas, climáticas, meteorológicas y cartográficas. Esta integración permitirá mejorar el análisis espacial, identificar patrones de concentración y reconocer zonas con mayores niveles de exposición, fortaleciendo la disponibilidad de información para los procesos de planificación territorial y gestión del riesgo (Mora et al., 2022; Aranguren et al., 2017).

3. Se recomienda fortalecer los mecanismos de intercambio y consolidación de información entre las entidades gubernamentales, instituciones académicas, organismos encargados de la gestión del riesgo y demás actores que generen o administren datos relacionados con la actividad eléctrica atmosférica. La disponibilidad de información organizada, georreferenciada y técnicamente validada permitirá evitar la dispersión de datos y facilitará su utilización como insumo para investigaciones, estudios técnicos y procesos de toma de decisiones (UNGRD, 2024).

4. Se recomienda que las entidades responsables de estos procesos consideren la distribución espacial de los rayos como un elemento adicional dentro de la identificación y caracterización de amenazas naturales. En particular, en los territorios donde se identifiquen mayores niveles de actividad eléctrica, esta información debería ser considerada para orientar estudios, priorizar acciones de prevención y mitigación y fortalecer los criterios técnicos utilizados en la formulación de instrumentos de planificación territorial.

5. Se recomienda que, durante las etapas de planificación, diseño y construcción de edificaciones, instalaciones y demás obras de infraestructura localizadas en zonas con mayor incidencia de descargas atmosféricas, se evalúe

de manera específica la exposición frente a este fenómeno y se incorporen las medidas de protección que correspondan de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables. La información actualizada sobre la distribución de los rayos puede constituir un insumo para orientar soluciones destinadas a soportar, conducir, redireccionar y aislar los efectos asociados a las descargas atmosféricas, contribuyendo a mejorar la seguridad de las personas, las instalaciones y las obras.

6. Se recomienda a las entidades gubernamentales considerar dentro de sus procesos de inversión y gestión institucional la asignación de recursos técnicos, económicos y humanos destinados a la actualización de la información sobre actividad eléctrica atmosférica. La generación de conocimiento sobre la distribución espacial del fenómeno debe entenderse como una inversión en prevención, toda vez que disponer de información confiable puede contribuir a orientar de manera más eficiente las decisiones relacionadas con la localización, diseño, protección y mantenimiento de infraestructura, así como las acciones de gestión del riesgo (UNGRD, 2024).

7. Se recomienda fortalecer las acciones de sensibilización dirigidas tanto a las entidades responsables de la planificación y gestión del territorio como a la población en general, con el propósito de mejorar el conocimiento sobre los efectos que pueden generar las descargas atmosféricas y la importancia de adoptar medidas preventivas. La información disponible debe ser divulgada de manera comprensible para favorecer una cultura de prevención y contribuir a que las decisiones relacionadas con la ocupación del territorio y la construcción de infraestructura consideren las condiciones de amenaza existentes.

8. Se recomienda promover la participación de profesionales de la Ingeniería Topográfica en los procesos relacionados con la recopilación, administración, georreferenciación, integración, análisis espacial y representación cartográfica de la información sobre actividad eléctrica atmosférica. La capacidad de integrar variables territoriales mediante herramientas geoespaciales constituye un aporte relevante para transformar los registros de descargas atmosféricas en información útil para la gestión del riesgo, la planificación territorial y la toma de decisiones sobre el territorio.

9. Se recomienda desarrollar estudios posteriores que permitan profundizar en el comportamiento espacial de las descargas atmosféricas en departamentos y regiones específicas, tomando como referencia el análisis realizado para Santander. Estos estudios podrían incorporar bases de datos más detalladas, períodos de observación recientes y análisis geoespaciales que permitan establecer con mayor precisión las zonas de mayor exposición y sus relaciones con las características topográficas, climáticas y territoriales.

10. Finalmente, se recomienda que la actualización de los mapas cartográficos y de las bases de información asociadas no se limite a la elaboración de productos cartográficos aislados, sino que se establezcan mecanismos que permitan incorporar progresivamente nuevos registros, validar la información existente y retroalimentar los procesos de análisis espacial. De esta manera, los productos generados podrán conservar su utilidad en el tiempo y constituirse en herramientas de apoyo para la prevención, la gestión del riesgo, la planificación territorial y el desarrollo seguro de infraestructura (Herrera-Murcia et al., 2024).

Referencias

- Albrecht, R. I., Goodman, S. J., Buechler, D. E., Blakeslee, R. J., & Christian, H. J. (2016). Where are the lightning hotspots on Earth? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(11), 2051–2068. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00193.1>
- Aranguren, D., Inampué, J., López, J., Tibaduiza, A., Casas, F., Torres, H., & Betz, H. D. (2013). Colombian total lightning detection network and early detection of failure risks for power systems. En *Memorias del VII Simposio Internacional sobre Calidad de la Energía Eléctrica (SICEL)* (pp. 1–6).
- Aranguren, D., López, J., Inampué, J., Torres, H., & Betz, H. (2017). Cloud-to-ground lightning activity in Colombia and the influence of topography. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 154, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.08.010>
- Aranguren, D., López, J., Inampué, J., Torres, H., & Betz, H. D. (2017). Cloud-to-ground lightning activity in Colombia and the influence of topography. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 154, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.08.010>
- Ardila Murillo, B. S., Soto Ríos, E. A., & Velandia López, K. A. (2022a). Actividad de rayos en el departamento de Santander entre 2014 y 2016. *Ingeniería*, 26(3), 419–435. <https://doi.org/10.14483/23448393.17585>
- Ardila Murillo, B. S., Soto Ríos, E. A., Argüello Barbosa, D., Tello Rodríguez, H., López Trujillo, J., & Montanyà, J. (2022b). Análisis de estructuras de carga de dos tormentas eléctricas registradas por la red Lightning Mapping Array en el Magdalena Medio colombiano. *Ingeniería*, 27(2), e17925. <https://doi.org/10.14483/23448393.17925>

- Christian, H. J., Blakeslee, R. J., Boccippio, D. J., Boeck, W. L., Buechler, D. E., Driscoll, K. T., Goodman, S. J., Hall, J. M., Koshak, W. J., Mach, D. M., & Stewart, M. F. (2003). Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D1), 4005.
<https://doi.org/10.1029/2002JD002347>
- Congreso de la República de Colombia. (1997, 18 de julio). Ley 388 de 1997, por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 3 de 1991 y se dictan otras disposiciones. Gestor Normativo, Función Pública.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>
- Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial N° 48.411.
- Congreso de la República de Colombia. (2012, 24 de abril). Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Gestor Normativo, Función Pública.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Díaz, F., Ortiz, D., & Román, F. (2022). Lightning climatology in Colombia. *Theoretical and Applied Climatology*, 149, 1–15.
<https://doi.org/10.1007/s00704-022-04012-9>
- Fernández Buitrago, J. S. (2022). Relación entre la densidad de descargas a tierra (DDT) y algunos aspectos de la geografía colombiana usando la información del sistema de localización de rayos GLD360 (periodo 2013-2018)

[Monografía de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
Repositorio Institucional de la Universidad Distrital.
<http://hdl.handle.net/11349/31835>

Herrera-Murcia, J., Montaña, J., Suarique-Agudelo, J., Younes, C., & Porras, L. F. (2024). Time variation of cloud-to-ground lightning activity in several geographical regions of Colombia: A comparative analysis with different latitudes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 262, 106302. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106302>

Herrera-Murcia, J., Younes, C., & Porras, L. (2018). Cloud-to-ground lightning activity in Colombia: A 14-year study using lightning location system data. *Atmospheric Research*, 203, 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.12.009>

Inampué, J., Aranguren, D., Cruz, A., Gonzalez, J., Torres, H., & Betz, H. D. (2017). Severe thunderstorms in the Colombia and Venezuela high lightning active areas. En *2017 International Symposium on Lightning Protection (XIV SIPDA)* (pp. 359–364). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIPDA.2017.8116952>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2008). Protección contra rayos. Parte 1: Principios generales (NTC 4552-1). ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2008a). *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos). Parte 1: Principios generales* (NTC 4552-1). ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2008b). *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos). Parte 2: Manejo del riesgo* (NTC 4552-2). ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2008c). *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos). Parte 3: Daños físicos a estructuras y amenazas a la vida* (NTC 4552-3). ICONTEC.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (s. f.). Rayo. Glosario. <https://ideam.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/glosario/rayo>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *Atlas de descargas eléctricas atmosféricas en Colombia*. IDEAM.

Mora, J., Rojas-Avellaneda, J., Ardila-Murillo, B. S., & Soto-Ríos, E. (2022). Determination of zones and tall structures with the greatest number of lightning strikes. *TecnoLógicas*, 25(54), e2376. <https://doi.org/10.22430/22565337.2376>

Rakov, V. A., & Uman, M. A. (2003). *Lightning: Physics and effects*. Cambridge University Press.

Torres Sánchez, H. (2002). *El rayo: Mitos, leyendas, ciencia y tecnología*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2024). *Plan nacional de gestión del riesgo de desastres 2015–2030: Una estrategia de desarrollo* (Segunda actualización). UNGRD.

Velandia López, K. A. (2018). *Identificación y análisis de los sitios con mayor actividad de rayos en el departamento de Santander* [Trabajo de grado, nombre de la institución pendiente de verificar].

Villamil, D. E., Santamaría, F., & Díaz Gamba, W. (2021). *Educación para la gestión del riesgo por descargas eléctricas atmosféricas en Colombia*. Universidad

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

Distrital Francisco José de Caldas.

<https://doi.org/10.69740/UD.9789587873030>

Villarini, G., & Smith, J. A. (2013). Spatial and temporal variability of cloud-to-ground lightning over the continental U.S. during the period 1995–2010. *Atmospheric Research*, 124, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.12.017>