RELACIÓN ENTRE ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS DE LA POBLACIÓN COLOMBIANA Y LA MORTALIDAD POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS PARA EL PERIODO 2008-2018

Trabajo de grado
Modalidad monografía presentada por:
JIVER ALEXANDER BARRETO CASTAÑEDA



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2022

RELACIÓN ENTRE ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS DE LA POBLACIÓN COLOMBIANA Y LA MORTALIDAD POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS PARA EL PERIODO 2008-2018

JIVER ALEXANDER BARRETO CASTAÑEDA

Monografía presentada como requisito para optar al título de ingeniero eléctrico

Directores:
Prof. HERBERT ENRIQUE ROJAS CUBIDES, PhD
Prof. FRANCISCO SANTAMARÍA PIEDRAHITA., PhD

Asesor:
Ing. DANIEL ESTEBAN VILLAMIL

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA (GISE3)
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2022

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por haberme aceptado y ser parte de ella permitiéndome formar como ingeniero eléctrico, brindándome el conocimiento y la formación para mi desarrollo personal y profesional.

A los profesores Herbert Enrique Rojas y Francisco Santamaría Piedrahita por haberme brindado un espacio como estudiante miembro del Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos y Eficiencia Energética (GISE3), agradezco por su paciencia, tiempo y dedicación en sus asesorías para orientar mejor mis ideas. Pero a un más importante, por compartir sus conocimientos y la capacidad de trasmitirlos por medio de consejos.

A mis compañeros de grupo de investigación, el ingeniero Daniel Villamil por el apoyo, motivación y su permanente colaboración en el proceso de la investigación. A mi amigo y compañero Sebastián Fernández el cual le agradezco por sus palabras de motivación y su ayuda incondicional.

A mis padres Jose y Matilde por aconsejarme, guiarme, soportarme y alentarme en cada momento de mi vida, por la formación y educación que con mucho esfuerzo e ímpetu lograron enseñarme, permitiéndome ser la persona que soy hoy en día, y sobre todo por ser los principales motores para cumplir mis metas. Por esto y mucho más mil gracias siempre.

A mis hermanos Jose y Jonny que siempre han estado para brindarme un consejo y han sido un ejemplo a seguir, sentado las bases de la responsabilidad y los deseos de superación, y por esos pequeños sobrinos que tanto quiero.

RESUMEN

Colombia se encuentra ubicada en la Zona Intertropical y posee una geografía que se caracteriza por su sistema montañoso y llanuras. Estas condiciones permiten una alta actividad de descargas electicas atmosféricas a tierra, estableciendo un número de muertes y heridos condenables, lo cual produce la existencia de poblaciones vulnerables, este trabajo de pregrado presenta un informe actualizado sobre el número de muertes por rayos en Colombia para el período 2008-2018. Adicionalmente, se analiza el conjunto de datos con el fin de establecer una relación de vulnerabilidad según aspectos socioeconómicos como sexo, edad, nivel de educación y ocupación.

En primer lugar, se llevó a cabo la recolección de la base de datos de muertes de Colombia, esta información es proporcionada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas de Colombia (DANE). Luego se agruparon las fatalidades por rayo por medio la Clasificación Internacional de Enfermedades 10 (CIE-10-PCS) utilizando los códigos CIE-10. T750 y X33, Paralelo a esto, se obtuvo la densidad de población departamentalmente. De igual manera se realiza la información personal del fallecido, con el fin de obtener una mejor comprensión de los resultados respecto a la vulnerabilidad existen según cada aspecto socioeconómico, a su vez su correlación entre aspectos encontrando una relación directa en los temas de nivel de educación y ocupación.

Posteriormente, se desarrolló la estimación de la Tasa de Mortalidad Multianual (TMM) mediante el entorno de trabajo de ArcMap, permitiendo la distribución geográfica de las víctimas mortales a nivel departamental y regional, las herramientas del software son empleadas para establecer una visualización de los datos mediante un mapa, el cual muestra la magnitud del fenómeno por medio de colores, dando pistas al lector sobre los departamentos y regiones con mayor susceptibilidad. A su vez, se agruparon los departamentos en 7 regiones con el fin de establecer una relación entre la distribución mensual de las fatalidades y las precipitaciones según su región.

Para terminar, se realizó diferentes consultas de estudios sobre mortalidad por rayos tanto en el ámbito nacional como a nivel mundial, llevando a cabo una comparación de los resultados que se obtuvieron en cada estudio. De esta forma, se evaluará la situación de cada país y su posible diferencia o similitud respecto a los grupos socio-económicos que representen mayor vulnerabilidad. De igual manera, comprende un resumen de las metodologías, fatalidades y tasas de mortalidad de los 22 países, evidenciando la diferencia entre metodologías utilizadas para la recolección de datos.

Palabras clave: Descargas eléctricas atmosféricas a tierra, tasa de mortalidad, fatalidades, vulnerabilidad, socio-económicos, mortalidad por rayos y precipitación

AGRADECIMIENTOS **4**

RESUMEN **5**

LISTA DE FIGURAS **8**

LISTA DE TABLAS **10**

1. INTRODUCCIÓN **1**
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 2
1.2. JUSTIFICACIÓN 3
1.3. OBJETIVOS 4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 4
1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO 4
1.5. PRODUCTOS ACADÉMICOS 5

2. MARCO DE REFERENCIA **6**
2.1. DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS 6
2.1.1. RAYOS NUBE-TIERRA DESCENDENTES NEGATIVOS 7
2.1.2. RAYOS NUBE-TIERRA DESCENDENTES POSITIVOS 8
2.1.3. RAYOS NUBE-TIERRA ASCENDENTES 8
2.2. MECANISMOS DE LESIÓN 9
2.1.1. LESIÓN ELÉCTRICA POR RAYOS 9
2.1.2. LESIÓN NO ELÉCTRICA POR RAYOS 10
2.3. DESCRIPCION GEOGRÁFICA DE COLOMBIA 11

3. METODOLOGÍA Y ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN **13**
3.1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN 13
3.2. FILTRADO Y DECODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES 14
3.3. GEOLOCALIZACIÓN DE LAS MUERTES POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS 15
3.4 TEMPORADAS DE LLUVIAS 20
3.5 AGRUPACIÓN Y GENERALIZACIÓN DE LOS ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS 21
3.5.1 EDAD 21
3.5.2 OCUPACIÓN 22
3.5.3 NIVEL DE EDUCACIÓN 23

4. MORTALIDAD POR RAYOS EN COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON DIVERSOS FACTORES 25
4.1 ESTIMACIÓN DE MUERTES POR RAYOS 25
4.2 MORTALIDAD DISTRIBUIDA POR REGIONES 26
4.3 MORTALIDAD POR DEPARTAMENTOS 27
4.4 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y TEMPORADAS DE LLUVIAS 30
4.5 MORTALIDAD Y SU RELACIÓN CON CONDICIONES SOCIO-ECONÓMICAS . 36
4.6 MORTALIDAD Y SU RELACIÓN CON LA OCUPACIÓN 38
4.7 MORTALIDAD Y SU RELACIÓN CON LA EDUCACIÓN 39

5. COMPARACION DE ESTUDIOS DE MORTALIDAD POR RAYOS 42
5.1 ESTUDIOS DE MORTALIDAD EN COLOMBIA 42
5.2 TASA DE MORTALIDAD POR RAYOS EN EL MUNDO 44
5.3 AGRUPACIÓN DE VICTIMAS POR SEXO 48
5.4 AGRUPACIÓN DE VICTIMAS POR EDAD 49
5.5 UBICACIONES Y ACTIVIDADES 50

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS 53
6.1 CONCLUSIONES 53
6.2 TRABAJOS FUTUROS 55

REFERENCIAS 56

ANEXO A. MORTALIDAD, TASA DE MORTALIDAD Y DENSIDAD POBLACIONAL POR DEPARTAMENTOS 60

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 a) Tipo de descarga entre nube: i) intranube, ii) nube-ionosfera, iii) internube. (b) Tipos de descargas a tierra: i) descendente negativa, ii) descendente positiva, iii) ascendente positiva iv) ascendente negativa 7

Figura 2.2 Mecanismos de lesión. (A) Directo. (B)Tensión de contacto. (c) Rayo lateral. (d1) Tensión de paso. (D2) Tensión de escalonada. (D3) Suelo arqueado a través de una cueva. (E) Streamer ascendente. 10

Figura 3.1 Ejemplo de la base de datos de las defunciones de un año ocurridas en el país. 14

Figura 3.2 Metodología para el tratamiento de la información 15

Figura 3.3 División de las regiones naturales de estudio 17

Figura 3.4 Geolocalización de las muertes por descargas eléctricas atmosféricas para el periodo 2008-2018. 18

Figura 3.5 Metodología de la geolocalización y mortalidad por departamentos y regiones. 18

Figura 3.6 Metodología para la estimación de la tasa de mortalidad y densidad de población. ... 19

Figura 3.7 Metodología para la correlación de precipitación y mortalidad por regiones. 21

Figura 4.1 Tasa de mortalidad y mortalidad en Colombia para el periodo 2008-2018. 25

Figura 4.2 Tasa de mortalidad y mortalidad en las subregiones de Colombia para el periodo 2008 2018. 26

Figura 4.3 Distribución espacial de las muertes por rayos en Colombia para el periodo 2008-2018. 27

Figura 4.4 Tasa de Mortalidad por rayos en Colombia para el período 2008-2018. 28

Figura 4.5 Densidad de población en Colombia para el periodo 2008-2018. 29

Figura 4.6 Distribución mensual de muertes por rayo en Colombia. 31

Figura 4.7 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Amazonia. 32

Figura 4.8 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Orinoquia. 32

Figura 4.9 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Andina Norte.. 33

Figura 4.10 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Andina Sur 34

Figura 4.11 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Caribe Norte 34

Figura 4.12 Distribución mensual de muertes por rayo vs Temporadas de lluvias en la región Caribe Sur 35

Figura 4.13 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Pacifico. 35
Figura 4.14 Relación de las muertes según su rango de edad y su sexo. 37
Figura 4.15 Relación de número de muertes según el rango de edad agrupada en regiones. 37
Figura 4.16 Numero de mueres según la ocupación y su sexo 38
Figura 4.17 Relación de número de muertes según la ocupación agrupada en regiones 39
Figura 4.18 Numero de mueres según el nivel educativo y su rango de edad 40
Figura 4.19 Relación de muertes según la ocupación y su nivel de estudios 41

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Topografía de Colombia 12

Tabla 3.1 Clasificación de edades según el Ministerio de la salud 22

Tabla 3.2 Clasificación de nivel educativo según el Ministerio de Educación Nacional. 24

Tabla 5.1 Resumen de los resultados a comparar en investigaciones realizadas en Colombia respecto a la mortalidad por descargas eléctricas atmosféricas 44

Tabla 5.2 Tasas anuales publicadas de muertes por rayos por millón de personas y número de muertes por país 46

Tabla 5.3 Porcentaje según el sexo en cada país 48

Tabla 5.4 Edades con mayor mortalidad según cada país 49

Tabla 5.5 Actividades y Lugares que se relacionan con la mortandad según el país. (AGC) Agrícolas. (PAS) Pastoreo. (PES) Pesca. (CON) Construcción (CTS) Caminatas. (JUG) Jugar Golf. (ESC) Escuelas. (IGL) Iglesias. (CAM) Campamentos. (PSB) Paseo de bote. (CER) Cercanas a ríos. (PLY) Playa 52

1. INTRODUCCIÓN

Las descargas eléctricas atmosféricas son uno de los fenómenos naturales más espectaculares que han intrigado al ser humano a lo largo de los siglos. Varias sociedades de la antigüedad asociaron en su mitología al fenómeno con dioses, entre estas: la nórdica, la griega, las precolombinas y la maya [1]. Este interés y curiosidad se debe en buena medida a la gran cantidad de energía que se genera durante un rayo, la cual tiene manifestaciones tanto visible como auditiva. Lo visible es generado por la ionización de las moléculas del aire produciendo corrientes y a su vez formado relámpagos (luz), mientras que lo auditivo se deriva del choque de temperaturas producidas por la temperatura del aire y la carga eléctrica, originando truenos (sonido). Sin embargo, el rayo constituye una amenaza real para la sociedad, lo que pone en riesgo la vida de personas y animales y también produce daños económicos.

Los rayos han causado lesiones y muertes en casi todos los lugares del mundo especialmente en zonas tropicales y subtropicales. Esto ha despertado en las últimas décadas un especial interés orientado hacia la comprensión del cómo y cuántas muertes producen [2]. Según algunas publicaciones se estima un total de 6000 muertes al año por rayos a nivel mundial [3]-[4]. No obstante, la estimación del número exacto de víctimas es compleja debido a los factores sociodemográficos y demás características propias de cada país [5]-[6]. Teniendo en cuenta que las muertes y lesiones por rayos, con algunas excepciones, tienden a afectar solo a una o dos personas a la vez, es considerado un fenómeno natural poco interesante para llamar la atención de medios de comunicación o ser considerado como una amenaza real por entes gubernamentales, especialmente en áreas rurales donde no se tiene información de este fenómeno [7].

Considerando el caso particular de Colombia, el país se encuentra ubicado en la zona intertropical que está marcada por un clima lluvioso donde predominan grandes cúmulos de nubes, favoreciendo la generación de tormentas y la ocurrencia de rayos que afectan gran parte de su territorio [8]. La existencia del fenómeno del rayo en estas condiciones se relaciona con la vulnerabilidad de un cierto tipo de población, aunque al igual que en el resto del mundo, el fenómeno suele considerarse de menor impacto debido el bajo número de muertes que produce en cada evento. Sin embargo, se ha evidenciado que el número acumulado de decesos por rayos en Colombia a lo largo del tiempo no es despreciable [1]-[9] .

La existencia de una población vulnerable convierte al fenómeno del rayo en un riesgo, siendo la razón de esta investigación el análisis de un conjunto de datos relacionada al número de

víctimas por rayos en Colombia durante el periodo 2008-2018. Esta ventana de tiempo fue definida por el Grupo de Investigación en Sistemas Eléctricos y Eficiencia Energética (GISE3), teniendo en cuenta que a la par con este trabajo se desarrollan estudios complementarios enfocados en el análisis de algunos parámetros del rayo, cuya información disponible está limitada por dicho rango de tiempo. Estas investigaciones contribuyen al proyecto de investigación institucionalizado "Desarrollo de un mapa de riego por descargas eléctricas atmosféricas para Colombia".

A partir de lo anterior, se identificaron los grupos de población más afectados por medio de patrones que resaltan una mayor mortalidad en ciertas características sociodemográficas (sexo, edad, nivel de educación y ocupación). La agrupación de estas características contribuiría al desarrollo e implementación de programas para la prevención de fatalidades por rayos. A su vez, la comparación con otros países que han realizado estudios similares permitirá entender el nivel de vulnerabilidad de nuestra población y establecer criterios comunes que promuevan el desarrollo de políticas generales orientadas a la protección de personas contra rayos.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El fenómeno de las descargas eléctricas atmosféricas o rayos ha sido objeto de investigación en el mundo debido a que es un evento inesperado, repentino y su trayectoria limita la actuación preventiva de las personas. Estas situaciones han despertado en las últimas décadas un gran interés por conocer los efectos producidos por el rayo, como son las lesiones y muertes de personas, daños físicos y fallas en los sistemas eléctricos [3].

Los rayos son causas de múltiples de muertes en el mundo. En algunos países africanos y asiáticos, estas descargas se ubican como el mayor riesgo natural respecto a otros fenómenos naturales. Por esto, en Colombia es necesario determinar de una forma medible el impacto que este fenómeno tiene sobre las personas. Esto se pueden conseguir estimando del número de fallecidos y las zonas de mayor riesgo a través del cálculo de la tasa de mortalidad, cuya medida ha evidenciado en el pasado que la población rural es la más afectada [10].

De igual forma, teniendo en cuenta investigaciones realizadas en diversas regiones, se ha estimado la tasa de la mortalidad por descargas eléctricas en el mundo. En este sentido, al estimar la tasa de mortalidad en Colombia se tiene información con la cual comparar con países de ubicación geográfica similar y/o diferente. Adicionalmente, es posible analizar la relación entre fatalidad por rayos y aspectos tales como: actividades económicas, nivel de educación, lugar de residencia, sexo y edad.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la siguiente pregunta problema ¿Cuál es la relación existente entre la tasa de mortalidad por descargas eléctricas atmosféricas y aspectos socioeconómicos de las regiones naturales en Colombia?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Colombia, por ubicarse en una Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y en el meridiano del ecuador tiene un clima muy variado. Asimismo, tiene diversidad de regiones que se pueden clasificar como: selvas tropicales, sabanas, estepas, desiertos y regiones montañosas [1]. Estos factores hacen que Colombia sea un país con alta actividad de rayos, lo cual genera un mayor riesgo para las personas y ha causado un número de muertes considerable.

La presente investigación se enfoca en determinar si el fenómeno del rayo y la mortalidad que provoca sobre la población colombiana se relacionan con actividades socio-económicas típicas de las regiones. Para esto, se analiza la información estadística proporcionada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y, a partir de ella, se estima la mortalidad y la tasa de mortalidad por rayos en Colombia para el periodo 2008-2018. Posteriormente, se identifican las zonas con mayor vulnerabilidad por rayos. Adicionalmente, durante la investigación se compara la tasa de mortalidad de distintos países con distintas características geográficas. Esto con el propósito de comprender si en diferentes lugares del mundo las descargas eléctricas atmosféricas afectan al mismo tipo de población, incluyendo las diversas actividades económicas y sociales.

Adicionalmente, el Grupo de Investigación en Sistemas y Eléctricos y Eficiencia Energética (GISE3), como parte del fortalecimiento de su línea de investigación en alta tensión y física atmosférica, se están desarrollando varios proyectos de investigación enfocados al estudio de rayos. De manera específica, este trabajo de grado buscar contribuir al proyecto de investigación *"Desarrollo de un mapa de riesgo por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) para Colombia"* financiado por el CIDC de la Universidad Distrital, y para lo cual es necesario tener información sobre la mortalidad producida por rayos a lo largo del territorio nacional.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la relación entre la tasa de mortalidad por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) en Colombia y diversos aspectos sociales, económicos y productivos de la población vulnerable para el periodo 2008-2017, incluyendo su comparación con otras regiones del mundo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estimar el número de muertes y la tasa de mortalidad por rayos en Colombia para el periodo 2008-2017, a partir de la información suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).
- Identificar los departamentos y las zonas del país con mayor tasa de mortalidad por rayos usando un software de información geográfica.
- Establecer la relación entre la mortalidad calculada y aspectos sociales, económicos y productivos tales como la densidad de población, sexo, edad, actividad económica, nivel de estudios y lugar de residencia
- Comparar la tasa de mortalidad y las características de la población vulnerable obtenidas para Colombia con resultados presentados por estudios realizados en otras regiones del mundo.

1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente documento refleja el desarrollo del trabajo de grado basándose en la formulación del problema y buscando cumplir con los objetivos planteados. Gran parte del contenido de este documento se basa en el análisis y manejo información y el uso de Software de Información Geográfica (GIS). Los resultados mostrados se apoyan en los registros de mortalidad reportados por el DANE en Colombia durante el periodo 2008-2018.

El presente documento se encuentra estructurado en 5 capítulos que cumplen con los objetivos propuestos, más una sección final que incluye las conclusiones y los posibles trabajos futuros. De este modo, el capítulo 1 presenta la introducción, la formulación del problema, la justificación, los objetivos y los productos académicos obtenidos de la investigación. El capítulo 2 presentara brevemente los conceptos básicos de rayos, y conceptos generales de la demografía en Colombia. El análisis y manejo de la información suministrada por el DANE se incluye en el capítulo 3. En esta sección se presenta el proceso de manipulación y codificación de la información y las herramientas empleadas para obtener la mortalidad por

rayos en los departamentos y regiones de Colombia. Adicionalmente, se incluye la agrupación de características socioeconómicas que buscan estimar el nivel de vulnerabilidad según cada aspecto económico.

En el capítulo 4 se mostrará y analizarán los resultados obtenidos con la metodología mencionada del capítulo anterior. Asimismo, se organizarán las estadísticas de mortalidad para rayos en Colombia, sus regiones y departamentos. Por otro lado, se presenta una correlación con el nivel de precipitación y el número de muertes de cada región. Por último, se analizarán las estadísticas de cada aspecto socio-económico encontrado en la base de datos. El capítulo 5 presenta la comparación de resultados de este trabajo desde diferentes aspectos: edad, sexo, ocupación, entre otros. La información usada en esta etapa fue recolectada de artículos y/o publicaciones presentadas por la comunidad científica y relacionada con mortalidad por rayos en el mundo. De esta manera, se analizarán similitudes y diferencias respecto a las investigaciones realizadas en Colombia y en otras regiones del mundo.

1.5. PRODUCTOS ACADÉMICOS

El producto mostrado a continuación es el resultado de la investigación realizada y están directamente relacionados con el alcance y objetivos que plantea este trabajo, adicionalmente algunos resultados asociados a estos productos se presentan dentro del documento.

- Jiver Alexander Barreto, Juan Sebastián Fernández, Daniel Esteban Villamil, Herbert Enrique Rojas, Francisco Santamaria, “Analysis of the Certified Lightning Fatalities and their Relation with Rainfall in Colombia for the Period 2008-2018”. ICLP 2021 37th International Conference on Logic Programming September 27 2021. 5 pp.

2. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se presentan algunos conceptos necesarios para comprender diversos temas tratados a lo largo de la investigación. Dado que este trabajo de grado se enfoca en el estudio de la mortalidad por descargas a tierra, dichos conceptos y términos están directamente relacionaos con el fenómeno del rayo. Por lo tanto, se tratarán temas relacionados con los tipos de descargas atmosféricas y los mecanismos de lesión por impactos directos o indirectos. Posteriormente, se realizará una descripción geográfica de Colombia que permitirá poner en contexto de este trabajo el territorio, así como sus características topográficas y geográficas.

2.1. DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

Los rayos se pueden definir como procesos transitorios de alta corriente con un ancho de banda de menos de 1 Hz hasta cerca de 300 MHz [2]. Dentro de los procesos físicos que interfieren en una descarga eléctrica atmosférica se asocian principalmente la corriente, el campo eléctrico y magnético con altas liberaciones de energía. Para producir la descarga eléctrica se tiene que dar una transferencia de carga la cual es generada por colisiones entre partículas de granizo y pequeños cristales de hielo. En una estructura generalizada, la carga positiva es transportada hacia la parte superior de la nube, a una altitud aproximada de 10 km sobre el nivel del mar, mientras el granizo cargado negativamente se dispone entre una altitud de 6 a 8 km a nivel del mar [5].

Una vez se realice la separación de cargas dentro de la nube, y hasta el punto en que el campo eléctrico excede la rigidez dieléctrica local de la atmosfera, se produce ionización en el aire formando caminos de conducción de la carga (líderes) hacia un punto de menor potencial o potencial cero. Por lo general, la polaridad de estos líderes puede ser positiva o negativa, dependiendo de la carga que predomine en la parte baja de la nube, mientras su dirección de desplazamiento permite la clasificación de los rayos como: rayos nube-tierra, rayos intra-nube, rayos internube y rayos nube-aire [5]-[11]. Una clasificación se muestra en la en la Figura 2.1(a).

La descarga eléctrica ente las nubes son aquellas que mayor ocurrencia tiene (80%), mientras la descarga eléctrica nube-tierra, conocida como flash, tiene características como una duración aproximada de 500ms y puede estar compuesta de uno o varios impulsos de corriente denominados return strokes [8]. Generalmente, las descargas nube-tierra son las más

estudiadas debido a afectaciones que se originan, tales como: muertes y heridos de personas y/o animales, así como el deterioro de equipos y/o sistemas eléctricos. Estos rayos también se clasifican por su polaridad (positiva y negativa) y dirección, la cual depende del origen y destino de la descarga: dirección nube a tierra (descendente), o desde un punto muy alto en la tierra como en un edificio y torre en dirección hacia la nube (ascendente). Esta clasificación se muestra en la Figura 2.1 (b). [2]-[6]-[8] -[12].

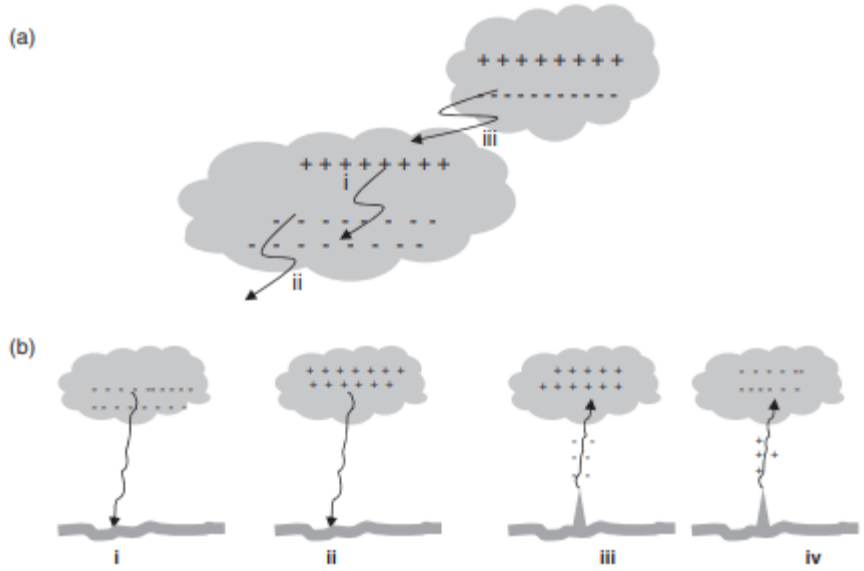


Figura 2.1 a) Tipo de descarga entre nube: i) intranube, ii) nube-ionosfera, iii) internube. (b) Tipos de descargas a tierra: i) descendente negativa, ii) descendente positiva, iii) ascendente positiva iv) ascendente negativa. Fuente: tomada de [6]

2.1.1. RAYOS NUBE-TIERRA DESCENDENTES NEGATIVOS

Esta descarga comienza dentro en la nube tormenta, donde ocurre el proceso preliminar (preliminary Breakdown), aunque la duración del proceso no tiene una definición exacta de duración, se puede estimar que durar unos milisegundos hasta decenas de milisegundos. Esta condición preliminar permite la formación de líder escalonado (Stepped Leader), formando un camino conductor descendente que conecta la nube con la tierra cargado negativamente este proceso dura aproximadamente entre 10 y 20 ms [8] -[10].

Un líder escalado tiene alrededor de 5 Coulombios y se deriva a lo largo del canal finalizando en el suelo. Justo antes de encontrarse en el suelo, el campo eléctrico cerca de la superficie se eleva hasta llegar a un valor límite con lo cual produce lideres ascendentes. Este efecto en algunos casos produce una corriente DC de varios Amperios que dura algunas decenas de microsegundos siendo el responsable de efectos visuales y auditivos [10]-[8]. Una vez finalizado el proceso la descarga de retorno (return stroke) atraviesa el camino establecido

por el líder desde la tierra hasta la nube neutralizando la carga negativa. La primera descarga de retorno negativa alcanza valores pico promedio de 30 kA y puede alcanzar hasta 150 kA a una alta temperatura y presión que se generan en el canal dando como resultado una radiación óptica intensa [13]-[14].

Finalizado el primer Retun Stoke, la descarga puede concluir, proceso llamado como Single Stoke (ss). Aunque no todos los procesos se comportan de la misma forma y suele ser precedido por un nuevo lider "Dart Leader" (DL) que atraviesa el canal residual de la primera descarga y conecta directamente a tierra. Durante el intervalo de que ocurre primer RS y es presidido por DL, aparecen los procesos J y K. Donde los procesos J equivalen a redistribución de la carga de la nube respuesta al RS anterior. Los procesos K son cambios que ocurren en el capo eléctrico dentro de la nube tormenta, estos procesos sirven para desplazar carga negativa adicional a lo largo del canal existente [8]-[13].

2.1.2. RAYOS NUBE-TIERRA DESCENDENTES POSITIVOS

Los rayos nube-tierra descendentes positivos trasportan carga positiva de nube a tierra y sus características de formación y desarrollo son similares a las descargas descendentes negativas. El inicio de dicha descarga ocurre cuando la nube se carga positivamente y la superficie se carga negativamente. A partir de esto ocurre el proceso de crear el camino descendente a tierra. Estas descargas son al menos el 10% de los rayos que ocurren a nivel global y principalmente ocurren en temporadas frías [15]. Algunas publicaciones indican que en Colombia este evento ocurre aproximadamente un 25% [16]. Adicionalmente, las corrientes de rayos positivos son más altas, las transferencias de carga a tierra son más grandes (cientos de Culombios).

Dentro de las características electicas importantes de las descargas positivas se tiene su corriente pico, cuyo valor promedio es aproximadamente 35 kA. Sin embargo, alrededor del 5% de descargas positivas pueden alcanzar un valor cercano a 250 kA. Adicionalmente, se ha estimado que los líderes positivos suelen ser menos luminosos que los líderes negativos y el evento completo (flash) se compone de un solo return stroke, el cual es seguido de un periodo de alta corriente DC [12] -[10].

2.1.3. RAYOS NUBE-TIERRA ASCENDENTES

Generalmente, se considera que estas descargas tienen origen en objetos fijados en tierra y se propagan en dirección hacia la nube, estos objetos generalmente son torres muy altas que superan los 100m. Se ha estimado que las estructuras con alturas inferiores a los 100 m son

impactadas únicamente por rayos descendentes, y que por lo contrario, las estructuras con alturas superiores a los 500 m experimentan solamente rayos ascendentes [11].

Según investigaciones estas descargas se presentan por un aumento del campo eléctrico en los puntos más altos de la estructura, iniciando con ello líderes ascendentes desde la parte superior del objeto en tierra y en dirección a la nube [17]-[11]-[18]. Este proceso ocurre de forma similar que con las descargas descendentes en donde el líder positivo, que ascendente desde tierra, cierra el camino entre el objeto y la nube estableciendo con ello un camino de corriente.

2.2. MECANISMOS DE LESIÓN

Los rayos pueden causar lesiones devastadoras. Generalmente, se tiene la creencia que la mayoría de lesiones son producidas por impactos directos, descociendo las demás lesiones como quemaduras graves, fallas en el corazón u otros órganos, conmoción cerebral o lesión explosiva [19]. Para entender mejor la descarga eléctrica a tierra se deben mencionar los tipos de lesiones que los producen.

2.1.1. LESIÓN ELÉCTRICA POR RAYOS

Los rayos pueden causar lesiones como quemaduras o fallas en el corazón, entendiéndolo como lesiones explosivas y siendo relacionados con las lesiones de impactos directos. Los rayos pueden causar lesiones a través de 5 mecanismos debido a su corriente como se observa en la Figura 2.2. A continuación, se describen cada uno de ellos.

- Directo: se describe comúnmente como mecanismo de lesión y los estudios muestran que representan la porción más pequeña de muertes y lesiones [20]. Es más probable al aire libre o en un vehículo completamente cerrado con techo de metal [21].
- Tensión de contacto: ocurre cuando una persona está tocando o sosteniendo un objeto que fue impactado el rayo, tales como cables de teléfono interior de una vivienda o tubos de plomería. En este caso, se estable un gradiente de tensión desde el punto de contacto y el punto de contacto de tierra, fluyendo corriente a través del cuerpo [21].
- Rayo lateral: ocurre cuando la persona está cerca de un objeto que es impactado por un rayo, al bajar la corriente por este objeto puede saltar hacia el cuerpo. Se da por lo general cuando una posible victima está cerca de un punto con potencial a tierra [22].
- Tensión de paso: El rayo cae y viaja a través de la tierra la cual se comporta como

conductor. Con ello, se genera una diferencia de potencial en el suelo provocando posibles flujos de corriente a través del cuerpo. Los efectos de la corriente pueden ser temporales, leves y con menor probabilidad de producir fatalidades. Sin embargo, son frecuentes las víctimas y las lesiones múltiples. Si el terreno es irregular la corriente del rayo se propaga desarrollando una descarga de arco superficial [21].

- Streamer ascendente: Cualquier campo eléctrico inducirá una carga opuesta en los objetos cercanos, incluidos torres de comunicación, árbol o ramas y personas [23]. Esto puede formar un leader ascendente generando suficiente energía para lastimar una persona [24].

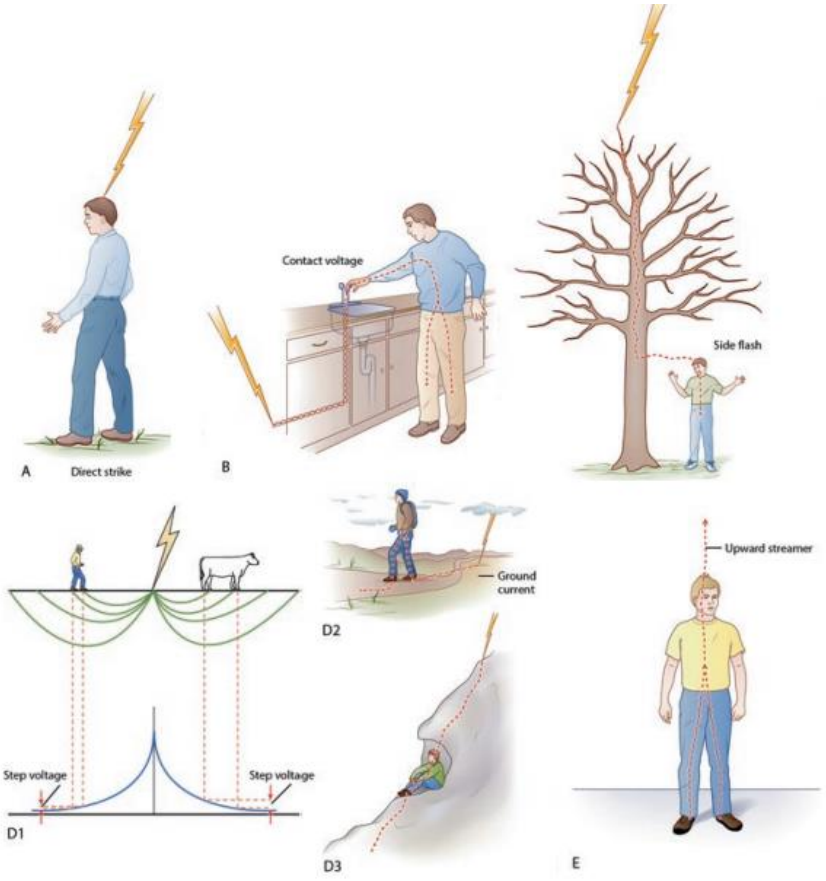


Figura 2.2 Mecanismos de lesión. (A) Directo. (B)Tensión de contacto. (c) Rayo lateral. (d1) Tensión de paso. (D2) Tensión de escalonada. (D3) Suelo arqueado a través de una cueva. (E) Streamer ascendente. Fuente: tomada de [24]

2.1.2. LESIÓN NO ELÉCTRICA POR RAYOS

Las personas pueden resultar por lesionadas debido a varios mecanismos que no involucran la corriente del rayo directamente, para este tipo de lesiones encontramos dos métodos:

- Barotrauma (conmoción cerebral, explosión, fuerza contundente o lesión explosiva): si la persona está muy cerca de un canal de rayo puede experimentar un movimiento rápido, expulsándolo por el aire, siendo esto suficiente para provocar lesiones por conmoción cerebral o en órganos internos [24]. Aunque no hay muchos estudios que hayan descrito este tipo de lesiones, un patólogo forense ha calculado la onda expansiva de un rayo a una distancia de 10 metro del impacto y concluyo que la fuerza era similar a una bomba de TNT de 5kg [25].
- Lesión por metralla o proyectil: Una persona puede recibir una lesión proviene de fragmentos de un objeto que impactan a la persona. Esta metralla se puede relacionar con fragmentos de cortezas de árbol o pequeñas piedras producidas por el impacto del rayo en asfalto o cemento [26].

El rayo tiene un diferencial de tensión y un alta corriente pero su tiempo de exposición es corto, aproximadamente de microsegundos. Como ya se mencionó, las descargas positivas a tierra se pueden producir entre un 10%-20%, mientras las descargas negativas a tierra se suele producir entre un 80%-90% [27]. Además, la forma de la onda electromagnética del rayo es muy diferente la forma de onda de corriente alterna. Cuando se logra exponer a este fenómeno por cierto tiempo se crea una gran cantidad energía proporcionado un aumento de temperatura razonable. Cuando la persona se expone a este choque de temperatura tan espontanea, el tejido humano no es capaz de soportarlo proporcionando quemaduras, las cuales, al no ser bien tratadas, pueden causar detenciones cardiacas y daño en los nervios [24]-[27].

La energía del rayo que fluye alrededor del cuerpo puede causar lesiones secundarias debido a la evaporación del sudor o el agua de lluvia (a veces rasga la ropa o los zapatos de la explosión del vapor), chamusca el cabello, calienta el metal de objetos como monedas, collares o hebillas de cinturón, adhiriéndose a la piel causando quemaduras [24].

2.3. DESCRIPCION GEOGRÁFICA DE COLOMBIA

Colombia se encuentra situada al noroccidente de América del Sur entre los 12º30’40” de latitud norte y los 4º13’30’’ de latitud sur, con una extensión territorial de 1.141.758 millones de ⟦km⟧^2 y una extensión marítima de 928.660 ⟦km⟧^2 [28]. Una de las características de Colombia es la topografía que incluye el sistema montañoso de los Andes y una región llana al oriente que hace parte de la Orinoquia y Amazonia. Las características de las tres cordilleras (occidental, central y oriental) se muestran en la Tabla 2.1.

El clima del país está determinado por el hecho de se encuentra en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo que ocasiona que el clima varié en diferentes regiones del país. Adicionalmente, el clima se encuentra determinado por el sistema montañoso y las diferentes alturas que dan lugar a los diferentes pisos térmicos (cálido, templado, frio, paramo y nieves permanentes) [29]. Colombia está dividida territorialmente en 32 departamentos y 1122 municipios, los cuales se agrupan en seis regiones naturales: Amazonia, Andina, Caribe, Insular, Orinoquía y Pacífico, divisiones realizadas a partir de características como relieve, clima y vegetación. La diversidad de clima y relieve permite identificar factores tales como promedio de lluvias y las condiciones de suelos para cultivos, entre otros [29].

Tabla 2.1 Topografía de Colombia. Adaptada de: [28]-[29]

Características topográficas	**Cordillera Oriental**	**Cordillera Central**	**Cordillera Occidental**
Longitud [km]	1200	1000	1200
Extensión[m]	130.000	110.000	76.000
Elevación [m]	5.775	5.364	4.764
Mayor elevación	Alto Ritacuva en la Sierra Nevada de Guican 5.493 con m.s.n.m	el Nevado del Huila con 5.750 m.s.n.m	los Farallones de Cali con 4.280 m.s.n.m
Anchura[km]	517	449	376
Departamentos	Caquetá, Huila, Cundinamarca, Meta, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Cesar y las intendencias de Arauca y Casanare	Cauca, Valle del Cauca, Tolima, Huila, Caldas, Quindío, Risaralda, Antioquia y Bolívar	Antioquia, Chocó, Nariño, Valle del cauca, Córdoba, Cauca, Risaralda Y caldas

3. METODOLOGÍA Y ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN

Este capítulo describe el proceso de manejo y manipulación de la base de datos asociados al número de muertes por rayos que se produjeron en Colombia para el periodo 2008-2018. Esta base de datos fue obtenida través del portal web del DANE e incluye información personal del fallecido y causa de su muerte. Gracias a ello, se clasificaron las muertes por rayo para cada departamento y región. A su vez, se presenta la clasificación de algunas condiciones socio-económicas que se empleará en capítulos posteriores, permitiendo analizar su relación con las muertes por descargas eléctricas atmosféricas nube-tierra.

3.1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La primera etapa se enfocó en la búsqueda de información confiable para estimar el número de muertes y las posibles causas de dicha muerte. De esa forma se revisaron diferentes fuentes de información como: medios de comunicación (noticieros, noticias en periódicos impresos y virtuales), la Dirección de Prevención de la Integridad y Seguridad del Ejercito (DISPE) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). No obstante, la fuente más confiable respecto a la información del fallecido es el DANE, ofreciendo información en aspectos industriales, económicos, agropecuarios y de población, entre otros.

La información del DANE proviene de certificados de defunción físicos o digitales diligenciadas por médicos. Este reporte de fatalidades es digitalizado para cada año y permite al público tener acceso libre a dicha información por medio de su página web[1]. Para este estudio se descargaron las bases de datos de defunciones no fetales de cada año desde el año 2008 hasta el año 2018. El análisis de información durante este periodo aportará al desarrollo de un mapa de riesgo por descargas eléctricas atmosféricas en Colombia enmarcado dentro del GISE3. La base de datos dispone de la siguiente información del fallecido: departamento y municipio de ocurrencia de la muerte, sexo, edad, nivel de educación, última ocupación y causa de muerte, entre otros. Estos datos son básicos para construir perfiles de riesgo, calcular indicadores como tasa bruta de mortalidad y tasas específicas de mortalidad que más adelante serán analizadas. Un ejemplo de la base de datos analizada se observa de la Figura 3.1.

Cada archivo analizado se compone del número total de muertes que sucedieron durante el año respectivo, presentando la información por medio de columnas y filas. Las columnas

[1] http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/MICRODATOS/about_collection/22/5

definen datos personales del fallecido y muestra una codificación con el fin de facilitar el trámite del médico en los certificados de defunción. Las filas por su parte son el número de muertes que ocurrieron en ese año.

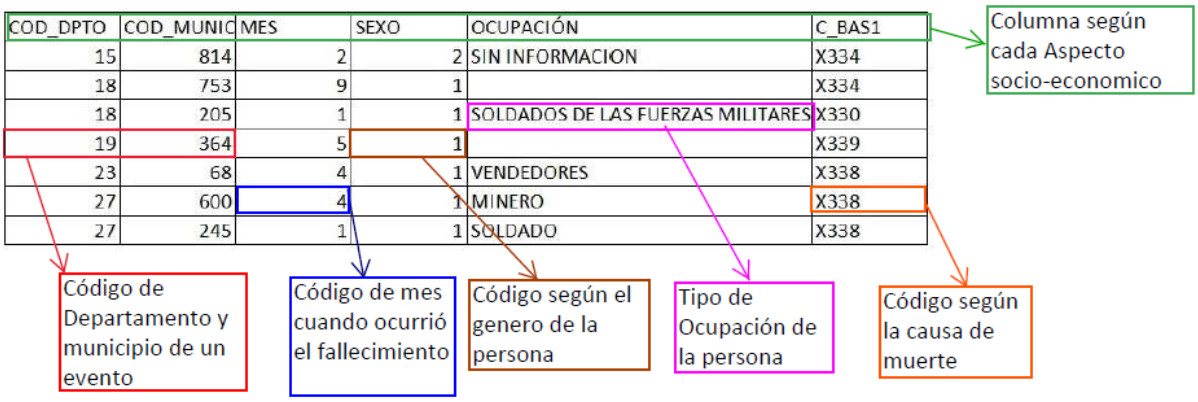


Figura 3.1 Ejemplo de la base de datos de las defunciones de un año ocurridas en el país. Fuente: Autor

3.2. FILTRADO Y DECODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

La primera actividad que se realizó fue el filtrado de la base de datos por causa de muerte. Para esto, se llevó a cabo una búsqueda preliminar del código que identifica a la víctima por rayo por medio del CIE-10 (Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas relacionados con la salud - Edición 10). Esta clasificación define las causas básicas de muerte[2] y se encuentran los códigos asociados a las muertes por rayo identificados con el código desde X330 a X339 y T750 [30]. De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se realiza el filtrado en la columna de causa de muerte y se obtiene la base de datos del número de muertes por rayos para los 11 años.

Luego se procedió a hacer la decodificación de la información personal del fallecido a través del reporte generado por el DANE [31], el cual hace una descripción sobre el proceso metodológico y publicación de las estadísticas vitales. En este documento se da a conocer un glosario de palabras que identifican los códigos (números) al que pertenece cada columna, ayudando al lector a reconocer el lenguaje de la base de datos y facilitando el reconocimiento de aspectos, tales como: socio-económicos, departamento, municipio y la fecha en que se produjo el deceso. La Figura 3.2 describe el proceso realizado de las secciones 3.1 y 3.2 de manera sintetizada.

[2] Muerte: enfermedad o lesión que desencadenó la sucesión de eventos patológicos que condujeron directamente a la muerte o las circunstancias del accidente o acto de violencia que produjeron la lesión mortal.

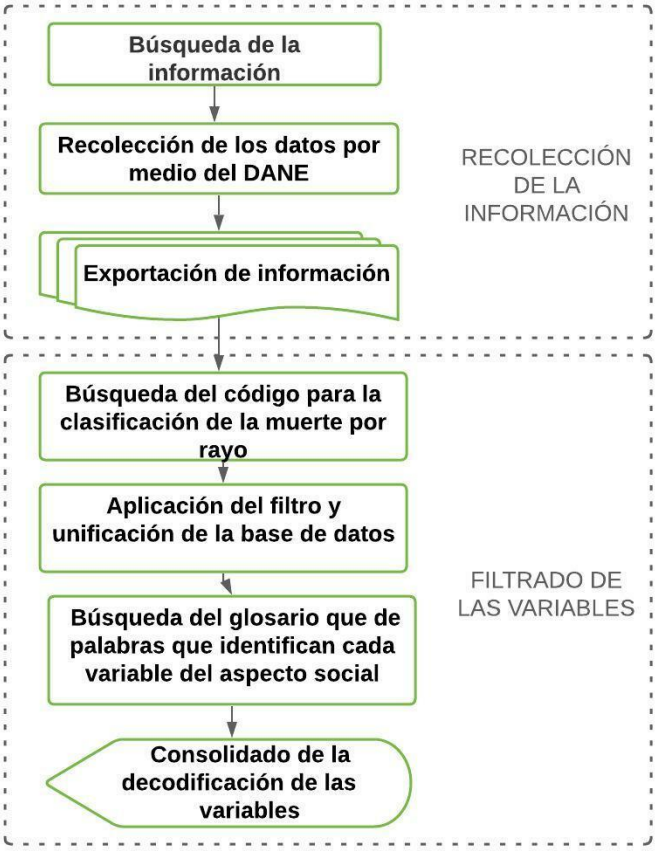


Figura 3.2 Metodología para el tratamiento de la información. Fuente: Autor

3.3. GEOLOCALIZACIÓN DE LAS MUERTES POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

Una vez realizada la decodificación de las columnas con mayor relevancia para la investigación, se identificada el nombre del departamento y el municipio más cercano al lugar donde ocurrió la muerte por rayo. Cabe aclarar que no se encontró la ubicación exacta debido a que la base de datos no proporciona las coordenadas del suceso. De ese modo, se realizó una aproximación tomando las coordenadas de la cabecera municipal y haciendo una búsqueda preliminar de las coordenadas geográficas (latitud y longitud) en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía de Colombia.

El proceso a seguir es la georreferenciación de los eventos en un mapa. Para esto, se usó la herramienta ArcMap de ArcGIS® el cual es un software de información geográfica (GIS) que facilita la ubicación de cualquier tipo de referencia espacial en la superficie de la tierra. A su

vez, permite la interacción de los datos, realizando actividades como: capturar, organizar, almacenar y administrar, permitiendo la realización de mapas, gráficos y estadísticas [32]. El mapa de la división política de Colombia que se empleó para la geolocalización de los eventos por mortalidad por rayos se obtuvo del SIG-OT (Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial Nacional) del instituto Agustín Codazzi [3].

El entorno de trabajo para el ArcMap permite usar diferentes archivos como (.txt), (.cvs) y (.xlsx). No obstante, para su debida manipulación (tablas o mapas), el programa emplea un formato llamado *shapefile* (*.shp) que almacena la ubicación geométrica y la información de los atributos de las entidades geográficas y pueden ser representados en puntos por medio de coordenadas o polígonos (áreas). Con el mapa de Colombia en formato *shapefile* se procede a la agrupación de los departamentos en las regiones naturales mencionadas en la sección 2.3. Sin embargo, se agregó una subdivisión de dos regiones naturales, la región Caribe (Caribe norte y Caribe sur) y la región Andina (Andina norte y Andina sur). Esto se hizo considerando que tienen un número de habitantes mayor comparadas con las demás regiones y se busca comparar regiones que mantengan poblaciones similares. Esta división se muestra en la Figura 3.3.

El sistema que se utilizó para la georreferenciación de los eventos es el sistema de coordenadas WGS84 (World Geodetic System 1984), el cual es una referencia mundial que permite la ubicación de cualquier punto en la tierra.

[3] https://geoportal.igac.gov.co/contenido/consulta-catastral



Figura 3.3 División de las regiones naturales de estudio. Fuente: Autor

En la Figura 3.4 se observan las regiones naturales y los casos de muerte por rayo (identificados con puntos rojos). Teniendo la ubicación de los eventos se realiza el conteo de los casos por cada región usando la función *Stapial Join* de ArcMap. Esta función hace una relación entre el *shape* de las coordenadas y el *shape* del mapa, lo que relaciona el número de eventos en la región o departamento al que pertenecen. La Figura 3.5 se observa la serie de pasos nombrados anteriormente en esta sección para la estimación de la mortalidad.

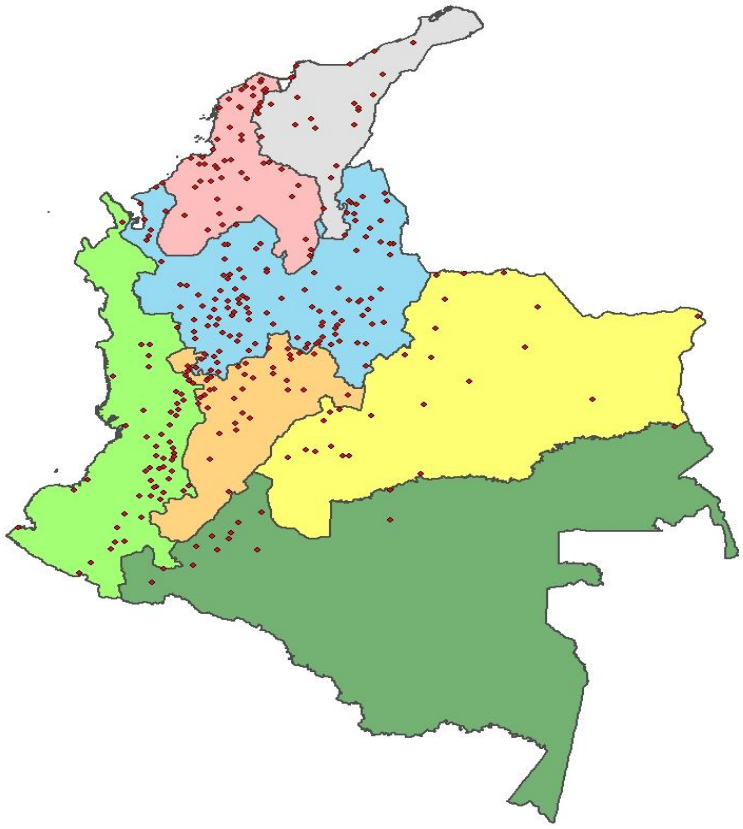


Figura 3.4 Geolocalización de las muertes por descargas eléctricas atmosféricas para el periodo 2008-2018. Fuente: Autor

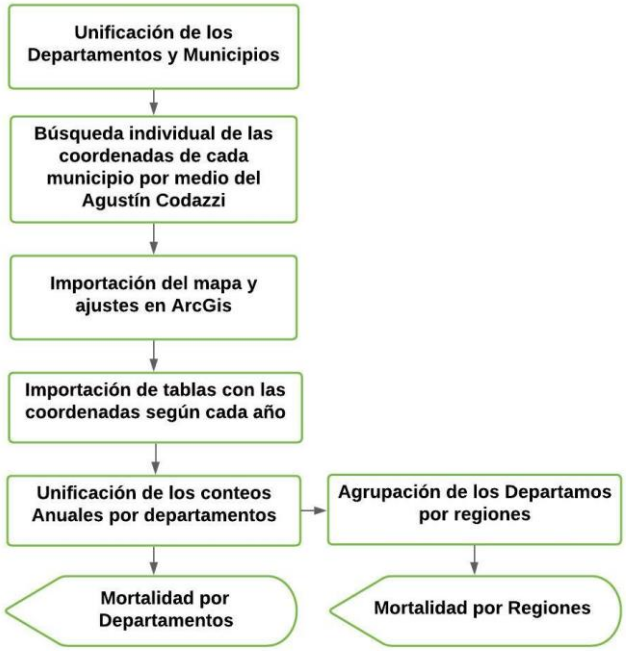


Figura 3.5 Metodología de la geolocalización y mortalidad por departamentos y regiones. Fuente: Autor

El proceso para el cálculo de tasa de mortalidad se debe retomar desde la unificación del conteo de las muertes anuales, como se puede observar en el diagrama de la Figura 3.6. Con el propósito de analizar la información de muertes por rayos, se calculó la tasa de mortalidad, interpretada como la relación entre el número de muertos ocurridos y la población expuesta al riesgo de morir durante un periodo de tiempo determinado. De esta forma, se calculó la Tasa de Mortalidad Anual (TMA) con la Ecuación 3-1 y la Tasa de Mortalidad Multianual (TMM) con la Ecuación 3-2, siendo utilizadas para el cálculo por regiones y departamentos. Este indicador representa el número de muertes por rayos para el periodo 2008-2018 por cada millón de habitantes. Cabe aclarar que la población fue obtenida por medio de proyecciones que son tomadas según el último censo realizado por el DANE [4] en 2018.

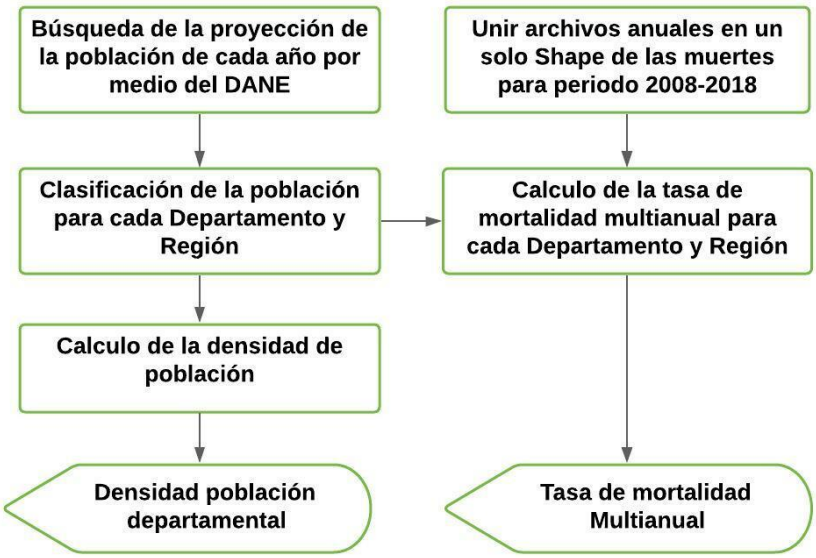


Figura 3.6 Metodología para la estimación de la tasa de mortalidad y densidad de población. Fuente: Autor

Ecuación 3-1

$$Tasa\ de\ Mortalidad\ Anual = \frac{Numero\ de\ muertes\ por\ rayos\ anual}{Poblacion\ anual} * 1.000.000$$

Ecuación 3-2

$$Tasa\ de\ Mortalidad\ Multianual = \frac{\sum_{i=2008}^{2018} Numero\ de\ muetes\ por\ rayo(i)}{\sum_{2008}^{2018} Poblacion(i)} * 1.000.000$$

[4] https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion

3.4 TEMPORADAS DE LLUVIAS

Como se mencionó previamente, el clima de Colombia está determinado por su ubicación geográfica dado que la totalidad de su territorio se encuentra dentro de la franja de desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual es la asíntota de la confluencia de los vientos del hemisferio norte y los providentes del hemisferios sur encontrándose en la zona del ecuador [33]. La interacción de estos vientos predomina en dos temporadas del año. La primera entre abril y mayo es producida por vientos provenientes del cinturón de las altas presiones del caribe que entran hacia el país, encontrándose con el aire ecuatorial marítimo que avanza del suroeste. El segundo periodo, entre septiembre y octubre, ocurre cuando los vientos regresan a su posición más alta (norte), los cuales fueron alcanzados en julio y agosto y en su retorno hacia el sur ocasionan un segundo periodo que generalmente es más fuerte que el primero [33].

De esta manera, se conoce el proceso meteorológico el cual origina las dos temporadas que son acompañadas de una alta precipitación (lluvias) y bajas temperaturas. En este trabajo se empleó la información de precipitación de lluvias tomadas de la subdirección de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual se encarga de los estudios relacionados con la atmosfera, el tiempo y el clima en Colombia. Por medio de su página web[5] se obtuvieron los promedios climatológicos históricos de buena parte de las estaciones meteorológicas del país.

En este caso, el promedio climatológico utilizado corresponde al periodo 1981- 2010. Dentro del conjunto de datos se encontró información de precipitación de 2046 estaciones meteorologías distribuidas por todo el país y clasificadas por departamentos. El paso a realizar es la agrupación de estaciones meteorologías según el departamento y por región. Posteriormente, se calculó el promedio mensual de cada estación y el promedio multianual de cada departamento y región. Con estos datos se tratará de establecer una correlación con la mortalidad por rayos.

La metodología utilizada para el desarrollo de la correlación entre la precipitación y número muertos anteriormente nombradas se puede observar en la Figura 3.7. Cabe aclarar que no se encontraron datos de precipitación más recientes debido a que el procedimiento de petición de datos para años más recientes no estaba disponible en la página web y su petición en físico

[5] http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima

no permitía obtener la información de todas las estaciones meteorológicas en conjunto, debía ser realizada una petición para cada una de las estaciones, lo cual se sale del alcance del proyecto.

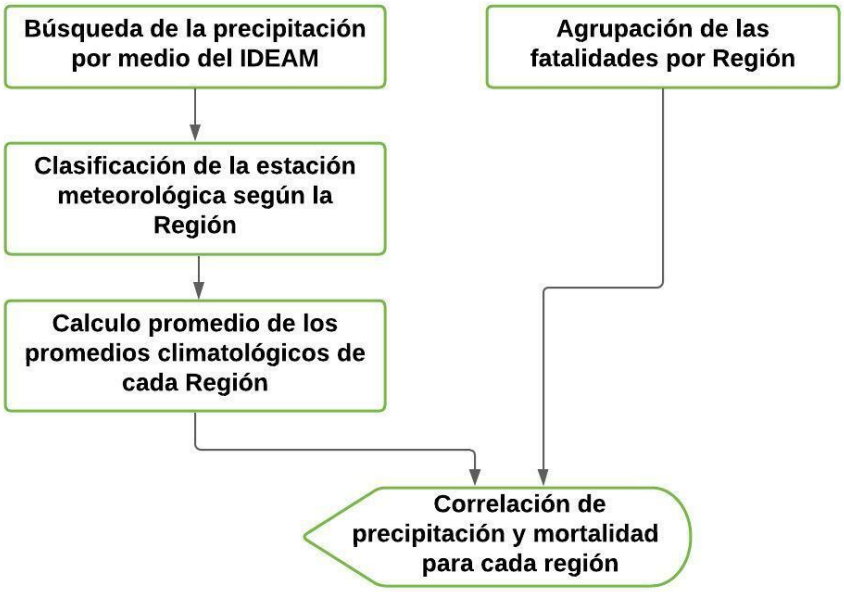


Figura 3.7 Metodología para la correlación de precipitación y mortalidad por regiones. Fuente: Autor

3.5 AGRUPACIÓN Y GENERALIZACIÓN DE LOS ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

Como se mencionó en la sección 3.2, los aspectos socioeconómicos (ocupación, edad y el nivel de estudios) se incluyen dentro de la información suministrada por el DANE. Dado que estos aspectos no son puntuales, ya que en esta investigación se determinará la relación entre la mortalidad y diferentes características socio-económicas, se agruparon y generalizaron los datos de tal modo que los resultados fueran comprensibles y así poder enfocar el análisis en grupos específicos.

3.5.1 EDAD

Dentro de la base de datos se encuentra la edad del fallecido, la cual es clasificada por el DANE por medio de rangos de edades. Estos rangos poseen un código que especifica la edad a la cual corresponde y se organizan en una secuencia que aumenta cada 5 años. Dado que esta codificación no es clara, se realizó la clasificación se observa en la Tabla 3.1, la

cual está basada en las etapas de desarrollo de una persona y es utilizada por el Ministerio de salud [34]. Esta clasificación es usada para entender la vulnerabilidad y oportunidades de intervenir durante etapas tempranas del desarrollo humano, facilitando la identificación de riesgos, y priorizando su intervención.

Tabla 3.1 Clasificación de edades según el Ministerio de la salud

RANGO DE EDAD	CLASIFICACIÓN
de 0 a 4 años	Primera infancia
de 5 a 9 años	Infancia
de 10 a 19 años	Adolescencia
de 20 a 29 años	Juventud
de 30 a 59 años	Adultez
Mayores a 60 años	Adulto Mayor

Fuente: Tomada de [34]

3.5.2 OCUPACIÓN

Los diferentes tipos de actividades productivas que se realizan en Colombia dan a entender la posible vulnerabilidad que tiene la población frente a los rayos, en especial con aquellos trabajos realizadas al aire libre. Para considerar esta relación se tiene en cuenta la ocupación de la persona, siendo el único aspecto social tramitado de una forma diferente en la base de datos. Esto se debe a que es diligenciada a mano y no obtiene código como tal. Se debe aclarar que esta ocupación es la última reportada por la persona antes de fallecer, y no especifica si en dicho momento estaba ejecutando realmente dichas actividades.

Para agrupar las diferentes ocupaciones que se obtuvieron en la base de datos se tuvo en cuenta la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones, adaptada para Colombia. Esta clasificación se realiza para contemplar la dinámica del mercado laboral, permitiendo trazar planes o programas de trabajo hacia el crecimiento económico del país y su respectiva comparación internacional [35]. Esta clasificación considera tareas homogéneas que constituyen un conjunto de empleos los cuales presenta una similitud y tiene en cuenta la educación y experiencia que se debe tener para realizar la ocupación. A continuación, se describen las ocupaciones que serán tomadas como referencia en esta investigación.

- Fuerza Pública: planificar, dirigir, comandar, controlar y ejecutar, vigilancia y protección del territorio, espacio aéreo y aguas territoriales, participar y brindar apoyo en operaciones armadas.
- Agricultura: pulverizar, fertilizar y cosechar los cultivos agrícolas, plantar y cuidar otros árboles y arbustos, conservar y explotar bosques; criar, cuidar o cazar animales para obtener carne, leche, pelo, piel, cuero, cera, miel u otros productos; criar peces o pescar; cultivar o recolectar otras especies acuáticas.
- Construcción y minería: Extraer y transformar minerales sólidos, construir, mantener y reparar edificios y otras obras y estructuras, ajustar diversas máquinas herramientas para uso por sus operadores o para el manejo propio; ajustar, conservar y reparar máquinas industriales, incluidos motores y vehículos, así como máquinas e instrumentos eléctricos y electrónicos y otros equipos.
- Trabajadores de los servicios y vendedores: Atender a pasajeros y turistas durante los viajes, preparar y servir alimentos y bebidas, prestar y atender servicios personales, proteger personas y bienes contra incendios y actos ilegales, compradores en tiendas, almacenes, quioscos, puestos de mercado o en forma ambulante.
- Educación: Investigar, analizar; formular desarrollar conceptos, teorías, métodos y asesorar
- Empleados de oficina: Registran, organizan, archivan, procesan y recuperan datos e informaciones relacionados con el trabajo que se les confía; ejecutan diversas tareas de oficina, en especial las que atañen a los trabajos de secretaría, operaciones auxiliares de contabilidad, estadística y otras funciones que requieren el manejo de datos numéricos.
- Hogar: Barrer, limpiar, lavar, encerar pisos manualmente o con máquina; limpiar o lavar puertas, ventanas, muebles y diversos objetos; lavar, planchar y arreglar ropa de cama, preparar, cocinar y servir alimentos y bebidas

3.5.3 NIVEL DE EDUCACIÓN

La educación de una persona se relaciona con el nivel conocimientos y competencias que pueden ser empleados tanto en su vida profesional, como en el ámbito personal. Dentro de la base de datos se encontró el último nivel educativo que la persona tuvo antes de su fallecimiento por causa de una descarga atmosférica. Este aspecto social permite evaluar la relación entre el nivel de estudios y su posible vulnerabilidad ante los rayos. Lo anterior,

entendiendo que uno de los factores determinantes de la muerte puede ser la poca información que se tiene sobre el fenómeno y sus efectos, los mecanismos de protección y su posible actuación ante este tipo de fenómenos.

La clasificación del nivel educativo fue tomada del Ministerio de Educación Nacional y define el proceso de formación de una persona. Según esta fuente, dicho nivel fundamenta conceptos, formación moral, intelectual y física. En este sentido, el sistema educativo establece los grados que deben cursarse para cumplir cada nivel. La Tabla 3.2 muestra la clasificación que será empleada en este estudio e incluye la definición dada por el Ministerio.

Tabla 3.2 Clasificación de nivel educativo según el Ministerio de Educación Nacional.

Datos según el DANE	**Clasificación**	**Definición según el Ministerio de Educación**
Preescolar	Primaria	Educación para los menores de 6 años
Básica primaria		5 primeros grados de educación básica
Básica secundaria	Educación secundaria	Comprende grado 6˚ a 11˚
Media academia y Técnica		Permitirá al estudiante, según sus intereses y capacidades, profundizar en un campo específico de las ciencias, las artes o las humanidades y acceder a la educación superior.
Técnica profesional. Tecnológica. Profesional	Educación superior	Es aquella que ofrece programas de formación en ocupaciones de carácter operativo e instrumental y de especialización

Fuente: Adaptada de [36]

Una vez finalizado el proceso de agrupación y filtrado de la información que se obtuvo en el proceso metodológico anteriormente nombrado, en el siguiente capítulo se plantea la identificación de los departamentos y regiones con mayor número de fatalidades y tasa de mortalidad. Así mismo las posibles relaciones entre la mortalidad por rayos y los aspectos socio economicos, permitiendo evidenciar la susceptibilidad en estos grupos sociales hasta el momento evaluados.

4. MORTALIDAD POR RAYOS EN COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON DIVERSOS FACTORES

En este capítulo se presentarán y analizarán los resultados obtenidos con la implementación de la metodología y las fuentes de información descritas previamente. Esto incluye el análisis de la base de datos que relaciona las muertes oficiales por descargas eléctricas atmosféricas en Colombia durante el periodo 2008 a 2018, así como la identificación de la región y el departamento con mayor mortalidad y la tasa de mortalidad por rayos. Adicionalmente, se comparará la precipitación y el número de muertes según la época del año y la región. Por último, se estudiará la relación las muertes por rayos y algunos aspectos socio-económicos. Esto con el fin de establecer si existe vulnerabilidad para ciertos grupos de población.

4.1 ESTIMACIÓN DE MUERTES POR RAYOS

Una vez recolectada la información de muertes proporcionada por el DANE, se estimó el número de muertes por rayos para cada año comprendido en el periodo 2008-2018. También, se estimaron dos tasas de mortalidad diferente: la primera para cada año; la segunda para todo el periodo de estudio (mortalidad promedio total). La Figura 4.1 muestra el número de casos (muertes) por año y su correspondiente tasa de mortalidad. La mortalidad promedio para los once años analizados fue 1.24 muertes por millón de habitantes.

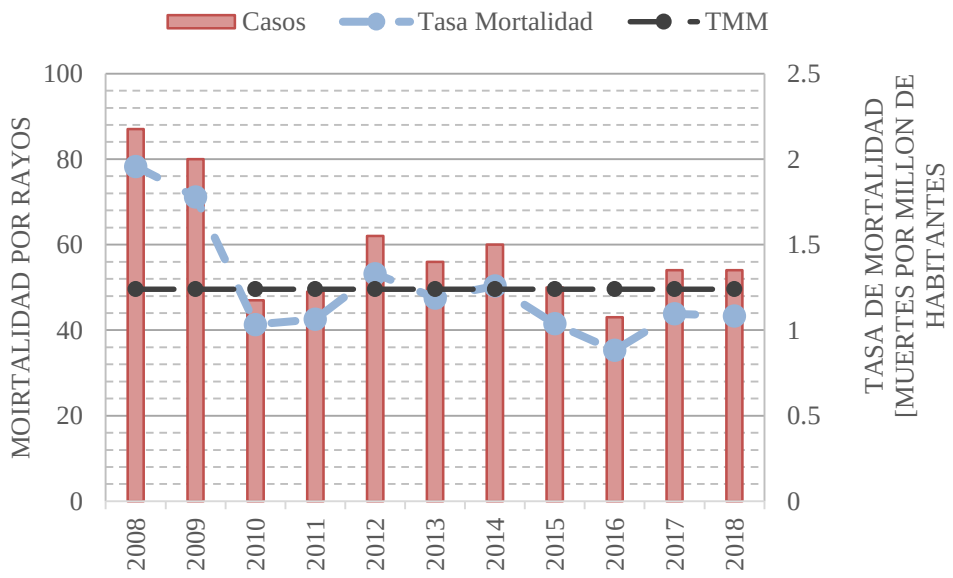


Figura 4.1 Tasa de mortalidad y mortalidad en Colombia para el periodo 2008-2018. Fuente: Autor

De la información recolectada se estimó un total de 642 fatalidades por rayos a nivel nacional durante el periodo en estudio, registrando un promedio de 59 muertes por año, con un valor máximo y mínimo de 87 muertes en 2008 y 43 muertes durante 2016. Asimismo, se puede observar en la Figura 4.1 durante los años 2008, 2009, 2012 y 2014 se presentaron valores por encima de la mortalidad promedio.

Aunque no se evidencia una tendencia en la disminución de muertes, se puede apreciar que entre los años 2015 y 2018 se mantiene un comportamiento con ligeras variaciones y la tasa de mortalidad anual es inferior a la tasa de mortalidad promedio total. Esta reducción de muertes con respecto a los primeros años puede relacionarse con la promoción y aplicación de la norma técnica NTC 4552 “Protección contra descargas eléctricas atmosféricas”, mayor pedagogía y mejor conocimiento del riesgo potencial que tienen los rayos.

4.2 MORTALIDAD DISTRIBUIDA POR REGIONES

La Figura 4.2 presenta los resultados obtenidos en las 7 regiones definidas para el desarrollo de esta investigación. Se observa una mayor mortalidad en la región de Andina Norte con 218 casos (34%), seguido de la región Pacífica con 135 casos (21%) y la región Caribe Sur con 93 casos (15%). Estas tres regiones representan el 70% de los casos reportados durante el periodo de estudio. Por otra parte, las regiones con menor mortalidad son Orinoquía con 48 casos (7%) y Amazonía con 28 casos (4%).

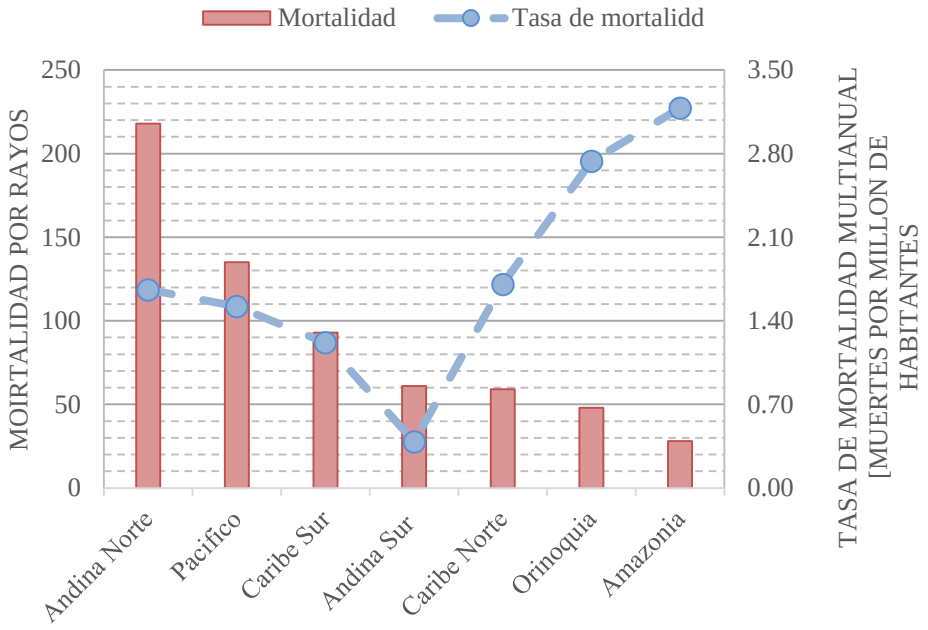


Figura 4.2 Tasa de mortalidad y mortalidad en las subregiones de Colombia para el periodo 2008 2018. Fuente: Autor

Asimismo, en la Figura 4.2 se puede observar una tasa de moralidad alta en regiones con baja población. Este comportamiento es evidente en Caribe Norte (1.71 muertes por millón de habitantes), Orinoquia (2.74 muertes por millón de habitantes) y Amazonia (3.18 muertes por millón de habitantes). Lo anterior, representa una mayor vulnerabilidad en estos lugares debido a que en su mayoría son áreas rurales cuyas estructuras y viviendas poseen baja o nula protección contra rayos. De igual manera, las regiones Amazonia y Orinoquia tienen la particularidad de ser regiones con gran extensión de tierra, pero con poca población, lo que provoca que la tasa de mortalidad sea mayor respecto a otras regiones. Muestra de esto es la región Andina Norte y la región Pacifico que poseen poblaciones muy superiores a la región Amazónica, pero registran tasas de mortalidad de 1.66 y 1.52 muertes por millón de habitantes, respectivamente.

4.3 MORTALIDAD POR DEPARTAMENTOS

Para determinar el porcentaje de mortalidad por departamentos se realizó un análisis del número de decesos ilustrado en el mapa de la Figura 4.3. Dicho mapa muestra con puntos la distribución espacial de las muertes por rayos en Colombia entre 2008 y 2018. En este sentido, la distribución completa de las muertes por departamento se sintetiza en la Figura 4.3.

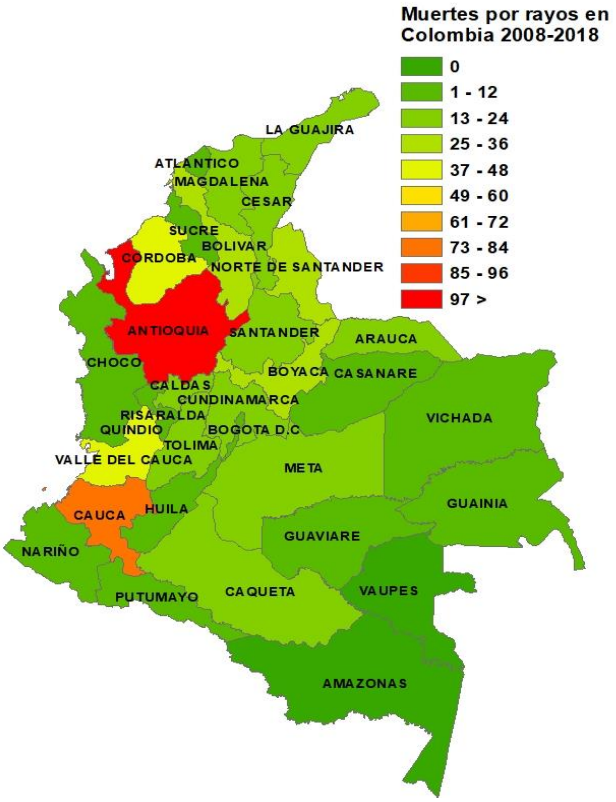


Figura 4.3 Distribución espacial de las muertes por rayos en Colombia para el periodo 2008-2018.
Fuente: Autor

Los departamentos que reportaron mayor número de casos son: Antioquia, Cauca, Valle del Cauca, Córdoba, Bolívar y Norte de Santander con una distribución porcentual de 20%, 12%, 6.4%, 6.2% 5.3% y 5%, respectivamente. Estos casos suman el 54.7% de todas las muertes reportadas en el periodo bajo estudio. Por su parte, los departamentos en los que observó el menor número de reportes son aquellos situados en la parte sur y oriente del país y el departamento de Chocó ubicado en la zona noroccidente.

Una vez agrupado el número de muertes se estimó la tasa de mortalidad multianual por departamento, tal y como se observa en la Figura 4.4. El mapa obtenido muestra altas tasas de mortalidad en aquellos departamentos que poseen baja mortalidad por rayos y baja población (identificados con color rojo). De esta manera, Vichada, Guainía, Guaviare, Cauca y Arauca poseen las mayores tasas de mortalidad a nivel nacional con valores que oscilan entre 10.61 y 4.96 muertes por millón de habitantes.

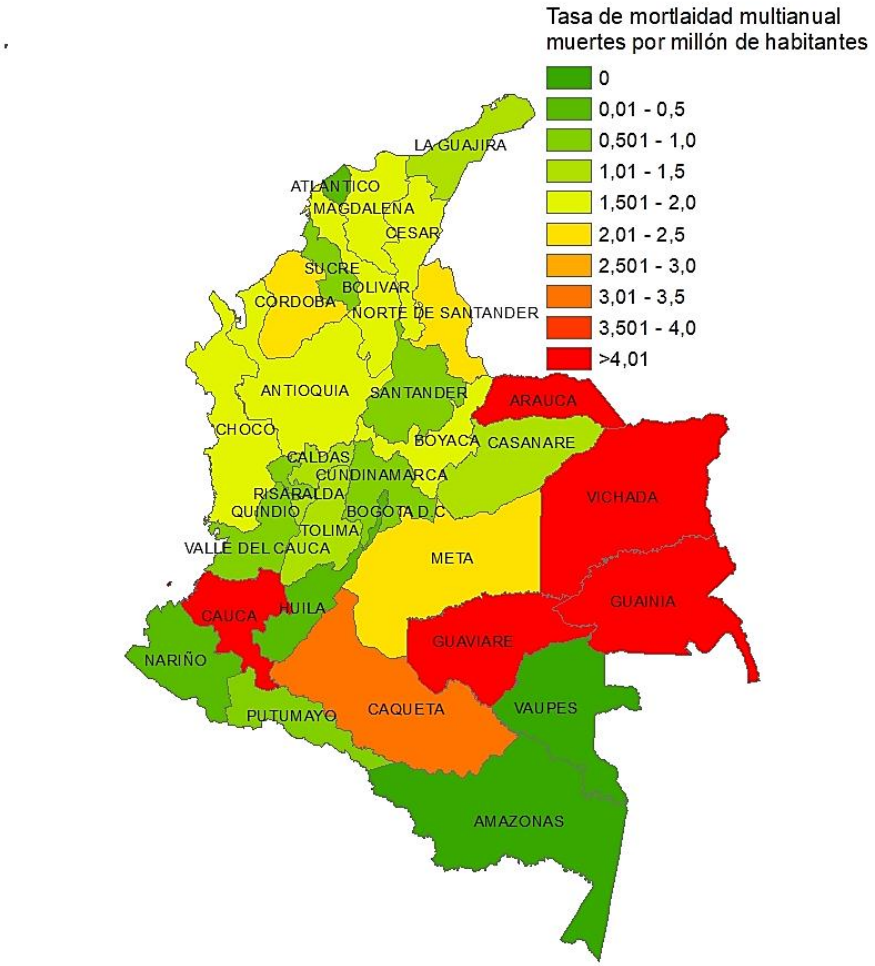


Figura 4.4 Tasa de Mortalidad por rayos en Colombia para el período 2008-2018. Fuente: Autor

Vale la pena mencionar que, aunque la mortalidad reportada en Cauca (5.16 muertes por millón de habitantes) es similar a la de Arauca (4.96 muertes por millón de habitantes), el primero tiene una población cinco veces mayor que el segundo. Esto muestra que la tasa de mortalidad no es un factor que dependa directamente de la cantidad de muertes ocurridas en cierta región. En este sentido, departamentos como Antioquia y Córdoba, que tienen una alta mortalidad y alta población, exhiben una tasa de mortalidad que oscila entre 1.5 y 2.5 muertes por millón de habitantes, mientras departamentos con baja mortalidad y alta población no superan las 1.5 muertes por millón de habitantes.

Para respaldar lo anterior, la Figura 4.5 muestra el rango medio de habitantes por unidad de superficie (km^2) a lo largo del territorio colombiano usando la información suministrada por del DANE[6].

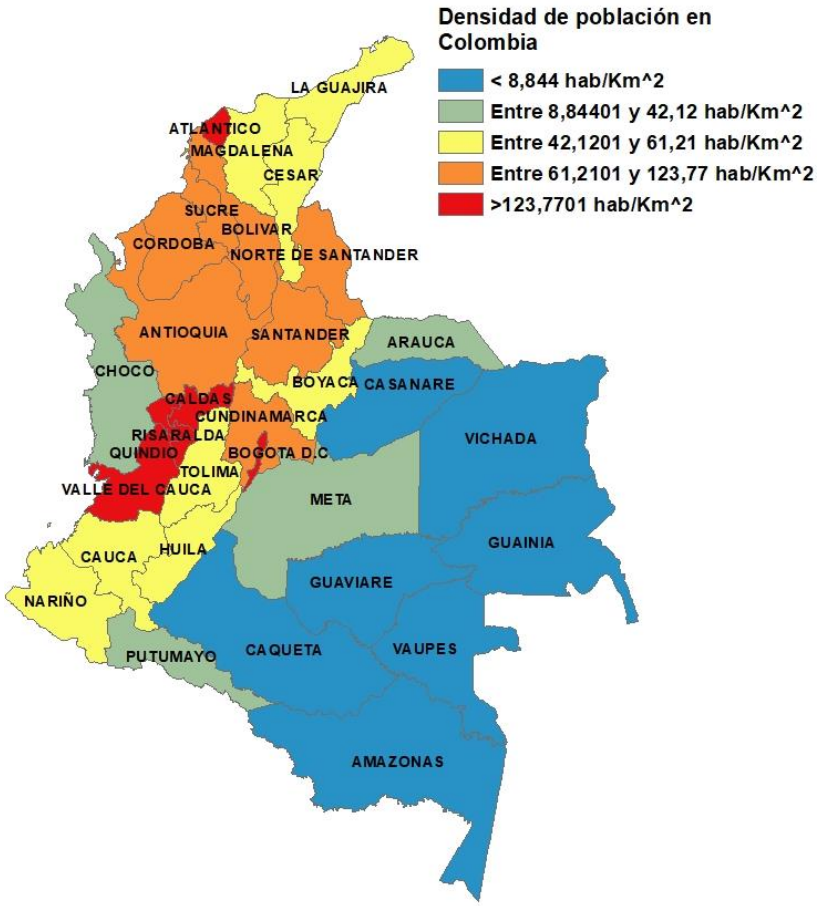


Figura 4.5 Densidad de población en Colombia para el periodo 2008-2018. Fuente: Autor

De esta manera, se evidencia una baja densidad de población en el suroriente del país, específicamente en las regiones de Amazonia y Orinoquia, los cuales como ya se mencionó

[6] https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/?lt=4.4560073532932 81&lg=-73.2781601239999&z=5

poseen una la alta tasa de mortalidad. Por otra parte, se observa una alta densidad de población en departamentos como: Caldas, Risaralda y Valle del cauca, y ciudades como Bogotá, donde se reportó una tasa de mortalidad similar (1.2 muertes por millón de habitantes) a la de los departamentos ubicados en la región Andina.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es importante mencionar que los departamentos con alta tasa de mortalidad, pertenecientes a las regiones de Amazonía y Orinoquia, representan una porción del país con alta vulnerabilidad ante el fenómeno de los rayos. Por esta razón, es importante realizar un seguimiento particular de estos lugares y promover campañas pedagógicas y de prevención de riesgo. También es necesario fijar atención en el departamento del Cauca, el cual reportó un número importante de fallecidos, tiene una alta tasa de mortalidad y es el único departamento que presenta estas características si se compara con los demás departamentos con altas tasas de mortalidad, ya que presenta una densidad de población por encima de la registrada en los departamentos del suroriente del país. La información de mortalidad, tasa de mortalidad y densidad poblacional discriminada por departamentos se incluyen en el ANEXO A.

4.4 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y TEMPORADAS DE LLUVIAS

Respecto a la relación entre las temporadas de lluvias y la distribución geográfica de muertes, esta se estableció primero por departamentos y luego por regiones a partir del comportamiento mensual de la mortalidad por rayos y la precipitación promedio mensual de lluvias referida en la sección 3.4. Dicha distribución de lluvias responde a la variación climática, topográfica y a la presencia del país en la zona intertropical, produciendo a lo largo del año épocas secas y épocas lluviosas.

En primera instancia se determinó la distribución anual de muertes a nivel nacional, la cual se presenta en la Figura 4.6. Durante el periodo 2008-2018, el número máximo de muertes ocurre en dos periodos. El primero, entre marzo y mayo (219 muertes), mientras el segundo ocurre entre agosto y octubre (217 muertes). Lo anterior, se relaciona con las dos temporadas de lluvias en Colombia, las cuales coinciden con los meses ya mencionados. Adicionalmente, se observa que los dos picos de mortalidad son similares entre temporadas. En los siguientes meses se evidencia una reducción de las víctimas que coincide con las temporadas secas en Colombia.

Siguiendo el mismo proceso, para las siete regiones del país se realizó el análisis de relación entre la mortalidad mensual por rayos y la variable de precipitación. Teniendo en cuenta qué

región posee características diferentes, ya sea por su relieve, su clima o por tener zonas costeras, es de esperar que las precipitaciones tengan un comportamiento diverso. Entre la Figura 4.7 y la Figura 4.13 se presenta el comportamiento de las muertes y la precipitación mensual.

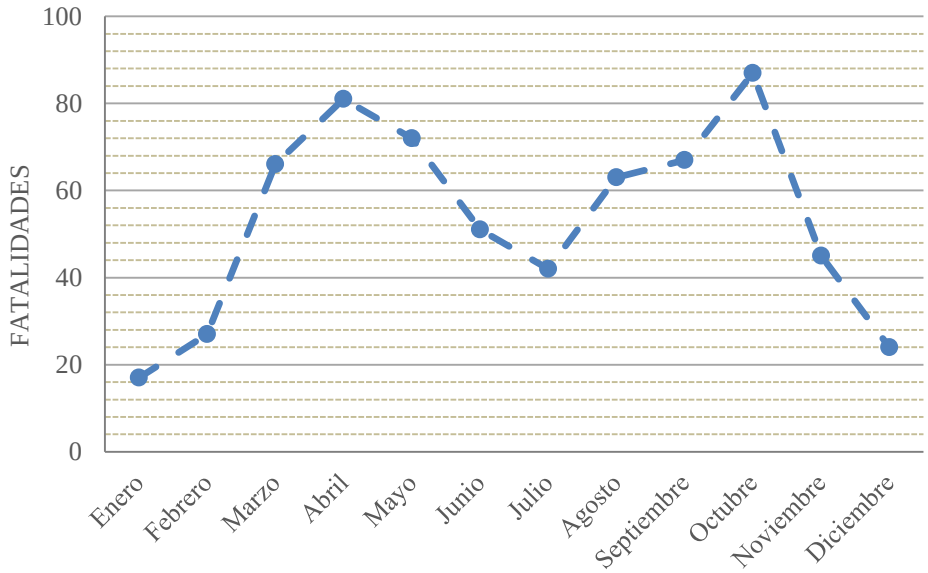


Figura 4.6 Distribución mensual de muertes por rayo en Colombia. Fuente: Autor.

La Figura 4.7 presenta los resultados para la región de Amazonía, la cual tiene un promedio de precipitación de 273 mm y exhibe un comportamiento unimodal. El pico de lluvias se presenta entre mayo y junio (máximo de 390 mm). Por su parte, la distribución mensual de muertes no presenta picos significativos (por debajo de 5 muertes por mes), aunque sus puntos más bajos son en junio y diciembre con 0 muertes. El primero de ellos coincidiendo con el valor más alto de precipitación. Esta situación puede explicarse si se tiene en cuenta que durante la época de lluvias intensas se producen inundaciones en zonas planas y selváticas que restringen la movilidad de las personas y disminuye las actividades a la intemperie.

Siguiendo con los resultados, se analizó la región Orinoquía. Como se observa en la Figura 4.8 se puede identificar un comportamiento unimodal con una precipitación media de 230 mm. La época de concentración de lluvias inicia en abril y se prolonga hasta octubre alcanzando su pico en junio (404 mm). No obstante, las muertes por rayos se concentran en abril, septiembre y octubre con 7, 9 y 8 fatalidades, respectivamente. Estos meses coindicen con el inicio y finalización de la temporada fuerte de lluvias y las razones para su comportamiento son similares a las expuestas para la región Amazonía.

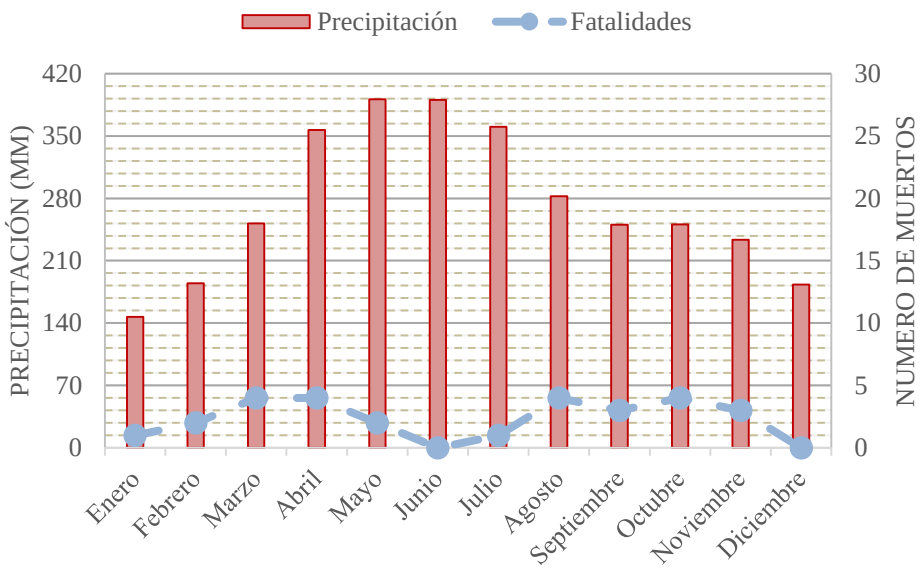


Figura 4.7 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Amazonia. Fuente: Autor.

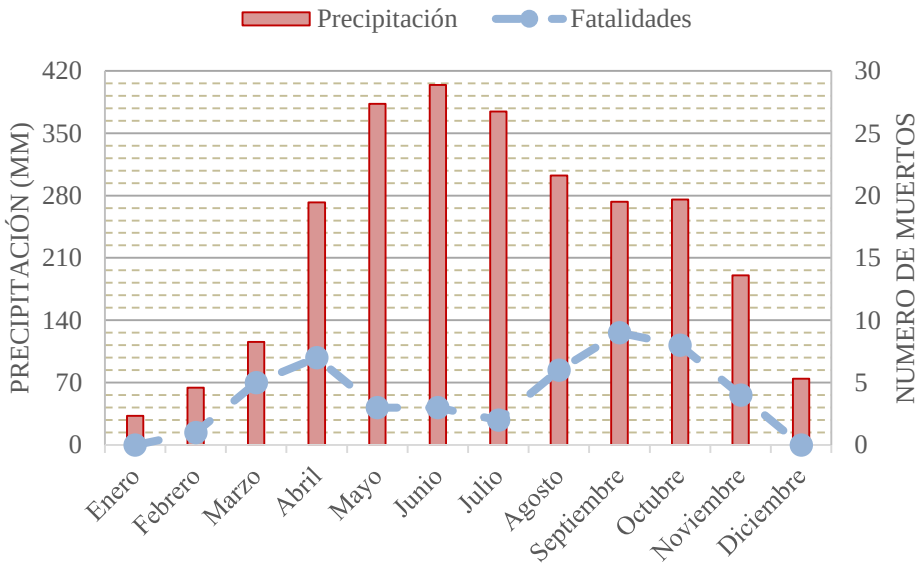


Figura 4.8 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Orinoquia. Fuente: Autor.

En lo que se refiere a la región Andina Norte, la Figura 4.9 permite observar un comportamiento bimodal de lluvias asociado a dos temporadas cuya duración está entre dos o tres meses cada una. La primera temporada ocurre entre marzo y mayo, mientras la segunda aparece entre septiembre y noviembre. Estas dos temporadas superan la precipitación promedio de la región (184 mm). Respecto a la distribución mensual de muertes se puede apreciar relación directa con las precipitaciones. En este caso, el aumento de fatalidades (entre

23 y 27 muertes) coincide con la primera temporada de lluvias, luego disminuye ligeramente en julio (17 muertes) y vuelve a aumentar alcanzando en octubre las 24 muertes.

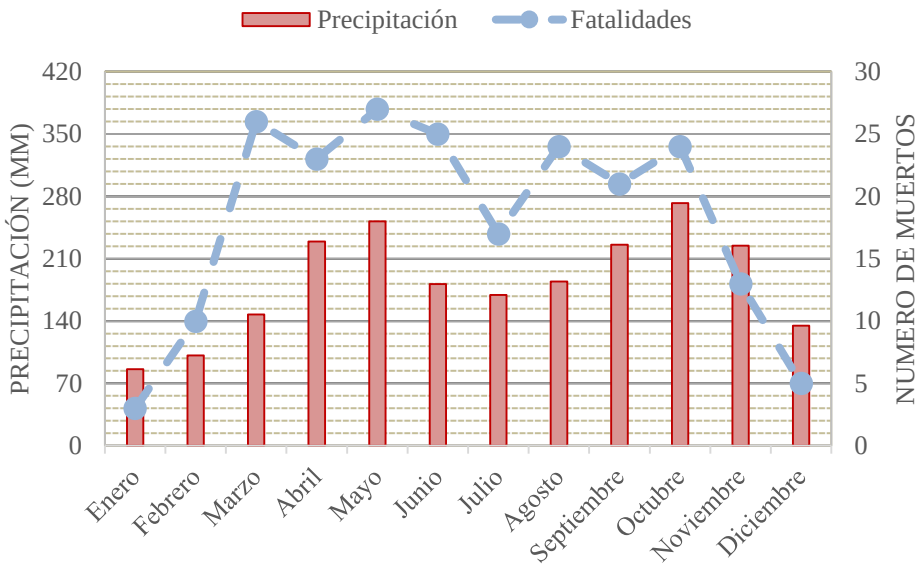


Figura 4.9 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Andina Norte. Fuente: Autor.

En la Figura 4.10 se logra apreciar para la región Andina sur una fuerte relación entre la precipitación y la distribución de muertes mensual. Respecto a la primera variable, el comportamiento es bimodal, mostrando puntos altos en abril (193 mm) y entre octubre y noviembre (205 mm). Lo anterior, concuerda con los puntos máximos de muertes en abril (14 muertes) y octubre (9 muertes). Además de coincidir con los valores máximos, se observa que en los meses restantes que a medida que disminuyen las lluvias también lo hacen las muertes por rayos.

El comportamiento de la región Caribe norte es representando en la Figura 4.11, al igual que la región Andina, exhibe una distribución de lluvias bimodal. El primer periodo se concentra entre abril y mayo, mes donde alcanza su valor máximo (162 mm). Para el segundo periodo se da una mayor concentración de lluvias entre agosto y octubre alcanzando 215mm. Entre diciembre y marzo se registra una concentración de lluvias por debajo del promedio anual de la región (108mm). Comparando este comportamiento con la distribución de muertes se observa nuevamente relación entre variables. En este sentido, durante la época de menor concentración de lluvias (diciembre–marzo) se tienen menos de cuatro muertes mensuales, en mayo se reportaron 8 muertes y el máximo pico de fatalidades se alcanza en octubre con 17.

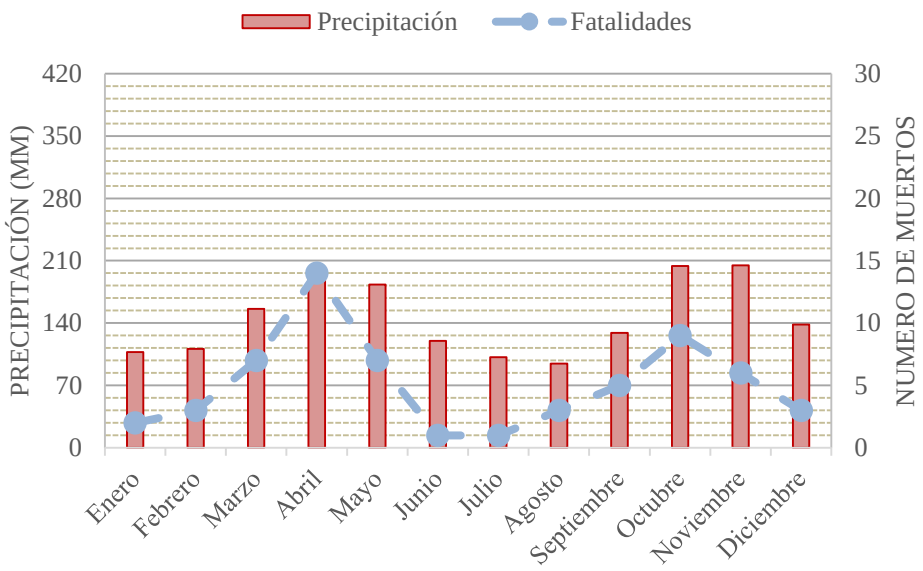


Figura 4.10 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Andina Sur. Fuente: Autor

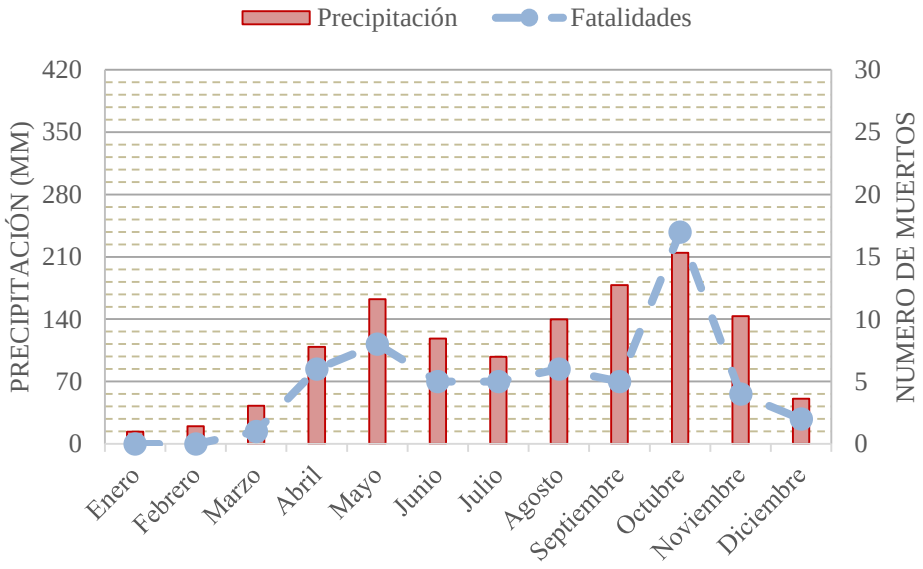


Figura 4.11 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Caribe Norte. Fuente: Autor

Al analizar los datos para la región del Caribe sur, la Figura 4.12 muestra una intensificación de lluvias desde mayo hasta noviembre, muy por encima del promedio de precipitación anual de la región, la cual fue estimada en 92 mm. En este mismo periodo, la mortalidad alcanzó su valor máximo en abril con 12 casos, mientras en cada uno de los meses siguientes se acumularon en promedio 8 muertes, disminuyendo entre diciembre y marzo (3 muertes o menos). Vale la pena mencionar que los meses donde se tiene mayor precipitación no con coincide con el pico de mortalidad (agosto con 14 muertes).

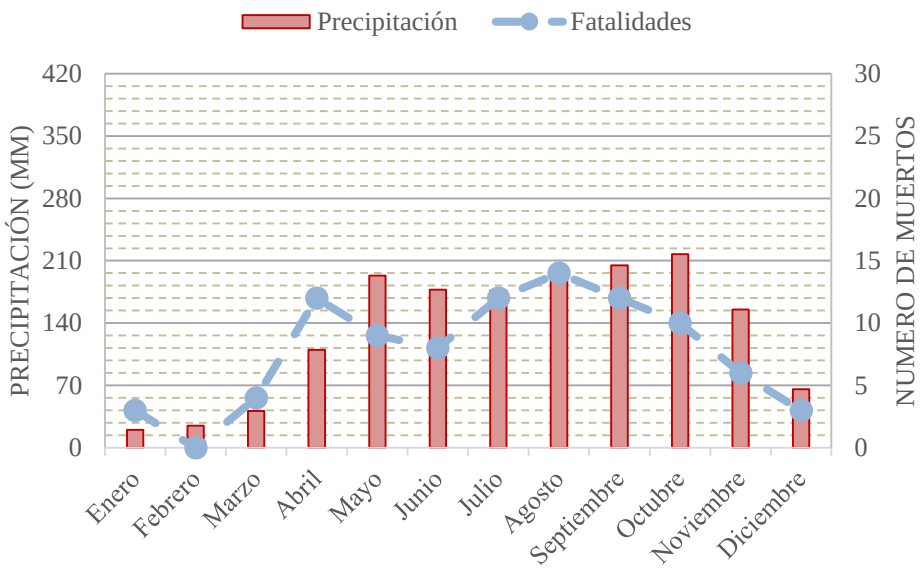


Figura 4.12 Distribución mensual de muertes por rayo vs Temporadas de lluvias en la región Caribe Sur. Fuente: Autor

.

Finalmente, en la región del Pacifico se observa un comportamiento bimodal con mayor concentración de lluvias durante octubre y noviembre y un promedio de 261 mm (Figura 4.13).

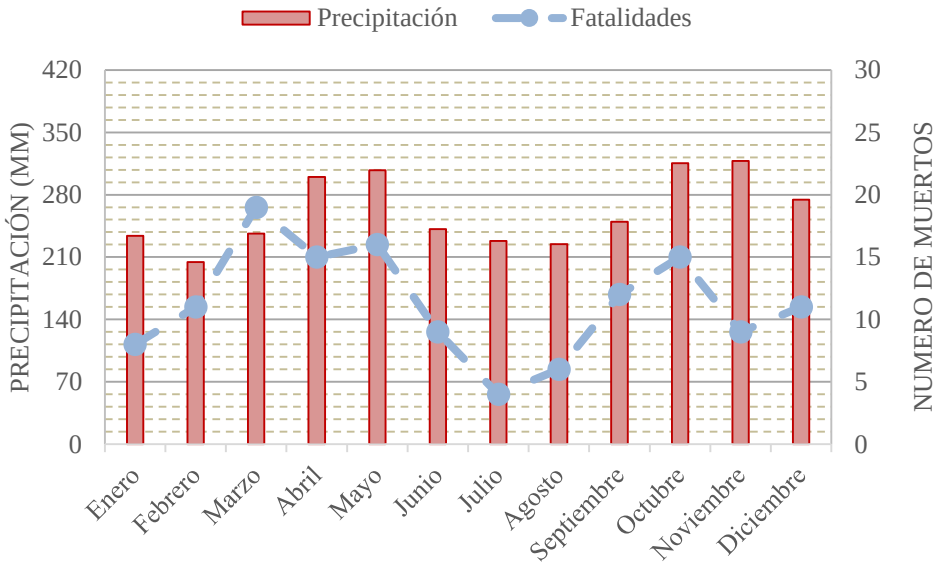


Figura 4.13 Distribución mensual de muertes por rayo vs temporadas de lluvias en la región Pacifico. Fuente: Autor.

La Figura 4.13 muestra que durante el primer periodo de lluvias (marzo-junio) se tuvo un ascenso en el número de fatalidades, las cuales variaron ligeramente entre 15 y 19 casos. Respecto a la segunda temporada de lluvias (septiembre-diciembre), se aprecia que el mes

crítico de muertes es octubre (15 muertes). Para los meses donde ocurre un descenso de la precipitación la mortalidad también disminuye, alcanzando un mínimo de 4 muertes en julio.

4.5 MORTALIDAD Y SU RELACIÓN CON CONDICIONES SOCIO-ECONÓMICAS

Una vez realizado el análisis de mortalidad por regiones, en esta sección se presentan los resultados obtenidos según los aspectos socio-económicos previamente identificados en el Capítulo 3. Además de un análisis individual de estos aspectos, se realiza una correlación entre ellos, esto con el fin de estimar, al menos de manera preliminar, la vulnerabilidad que posee cada grupo con respecto al fenómeno del rayo.

Los diferentes daños que puede causar una descarga eléctrica atmosférica a tierra pueden variar desde lo económico hasta lo social, asociando lo económico a las pérdidas causadas por apagones, incendios, daños en instalaciones, equipos y electrodomésticos entre otros. Si se analiza desde lo social, se estima que el número de muertes anuales en el mundo alcanza las 6000 víctimas [4]. Esto, además de ser una cifra relevante, permite enfocar los esfuerzos en el tipo de población que es más vulnerable debido a estos eventos y enlazar la pérdida de vidas con diversos grupos etarios, actividades laborales, etc.

El primer aspecto social que se analizó es el sexo. Se encontró que durante el periodo 2008-2018, de un total de 642 muertes relacionadas con rayos, el 84% eran hombres y el 16% restante mujeres. De igual manera, de las muertes ocurridas en las siete regiones seleccionadas se observa que el sexo masculino es el más afectado con más de 75%. Esta tendencia se mantiene en otros aspectos sociales como la edad y el nivel educativo.

De manera específica, y en la relación con la edad (según la sección 3.5.1), la distribución de muertes por sexo se puede apreciar en la Figura 4.14. Excluyendo la primera infancia, donde la mitad de las muertes fueron 50% para cada sexo, en el resto de los rangos de edad el sexo masculino fue el más afectado por rayos con el 80% de las muertes. No obstante, cabe aclarar que la primera infancia reporto solo el 1% de los eventos. En este sentido, las personas más afectadas están en el rango de la adultez con 43% de las muertes, seguido por la juventud con el 28% y la adolescencia con el 18%. Esto se relaciona con las edades donde la persona es más activa, tanto socialmente como laboralmente, por lo cual mantiene buena parte de su tiempo fuera de la vivienda.

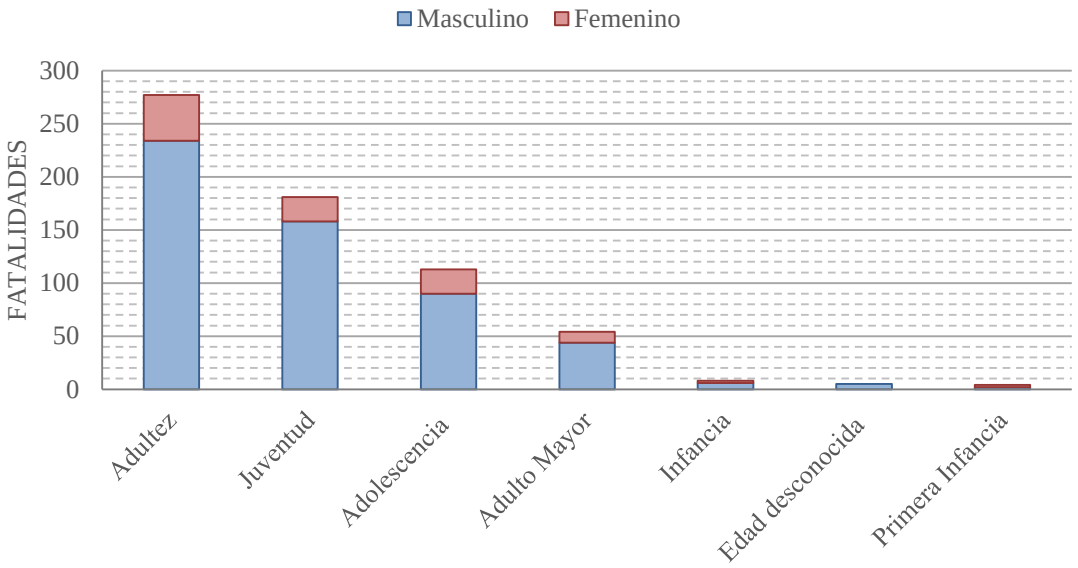


Figura 4.14 Relación de las muertes según su rango de edad y su sexo. Fuente: Autor.

Si se analiza el rango de edad respecto a las regiones, tal como se muestra en la Figura 4.15, se puede establecer que la etapa adulta (adultez) tiene una afectación similar en Andina norte, Pacifico, Caribe sur, Caribe norte y Orinoquia. En estas regiones, el 40% de las víctimas eran adultos. Respecto a los jóvenes, esta población es afectada en un 30% en la región Andina sur y Andina norte, mientras en la Amazonia alcanza el 57% de las muertes. Este resultado se relaciona con los indicadores del DANE, los cuales muestran que esta es una de las regiones con mayor población joven alcanzando el 29% [37].

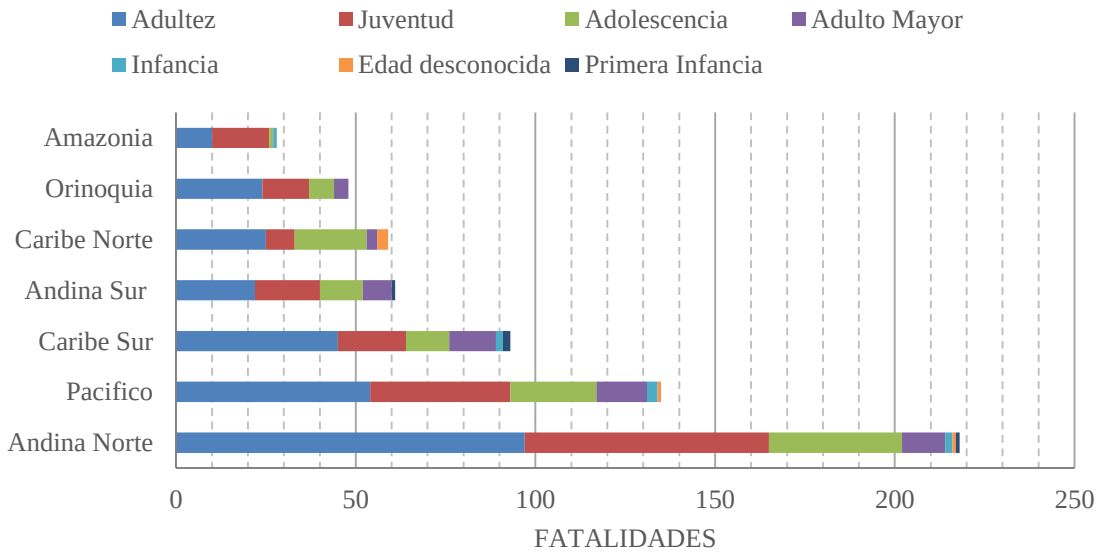


Figura 4.15 Relación de número de muertes según el rango de edad agrupada en regiones. Fuente: Autor.

4.6 MORTALIDAD Y SU RELACIÓN CON LA OCUPACIÓN

Por lo general, las muertes por descargas eléctricas a tierra se han relacionado a actividades rurales o actividades al aire libre. No obstante, en este estudio se relacionó el deceso con la última ocupación que la persona realizaba antes del suceso y sus resultados se muestran en la Figura 4.16. Cabe aclarar que el 55% de los certificados de defunción presentados ante el DANE no informó sobre la ocupación socio-económica que realizaba la víctima. Esto se debe a que la mayoría de las actividades no están registradas por código y el médico forense obtenía dicha información a través de terceros como familiares.

A partir de la información disponible (45% del total de casos) se concluyó que el 21% de las personas afectadas por rayos pertenecían al sector agrícola[7], seguido por los miembros de la fuerza pública con 8%, educación-hogar con 5% y construcción-minería con el 4%. Muchas de estas ocupaciones son actividades realizadas al aire libre lo que hace que la persona esté más expuesta a los rayos. Esto se relaciona con la dificultad de garantizar adecuada protección contra rayos en campos o lugares abiertos y distantes, los cuales rara vez tienen un lugar seguro para evitar la amenaza que trae consigo una tormenta eléctrica. Adicionalmente, en estos sectores laborales no se imparten capacitaciones adecuadas para prevenir esta amenaza.

Con respecto al sexo, como ya se mencionó, los hombres son más afectados por rayos teniendo en cuenta que desarrollan buena parte de sus labores al aire libre. La única ocupación en el que las mujeres reportan mayor cantidad de víctimas es el hogar con 76% de las muertes de este grupo. En Colombia, esto se relaciona con una vieja tradición que aún se mantiene en las zonas rurales donde la mujer realiza trabajos relacionados directamente con el hogar.

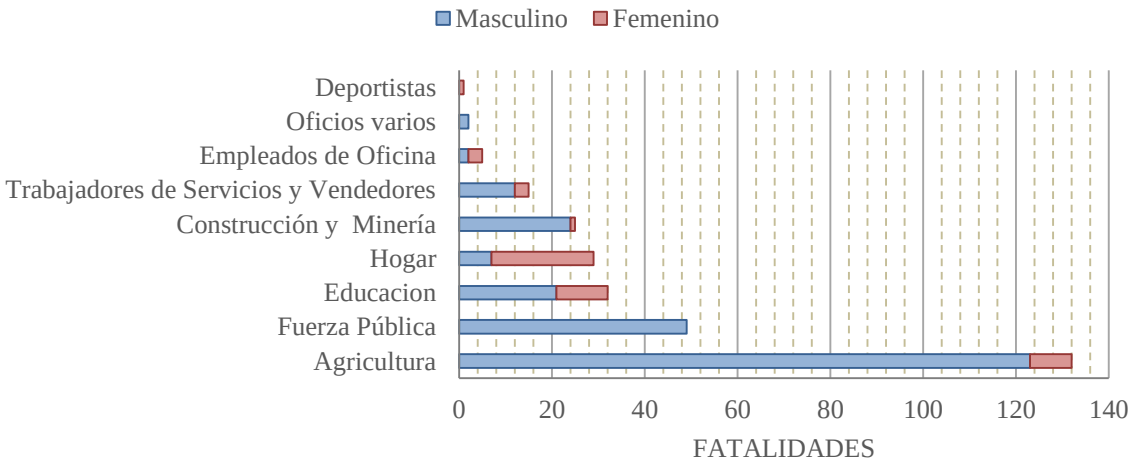


Figura 4.16 Numero de mueres según la ocupación y su sexo. Fuente: Autor.

[7] Dentro de la ocupación agricultura también se tuvieron en cuenta ocupaciones como pescador y vaquero.

La Figura 4.17 sintetiza la distribución de muertes por ocupación y de acuerdo a las regiones. Se puede observar que las muertes asociadas al sector agrícola son mayoría en la Región Orinoquia (73%), seguido de Andina norte (54%), Andina sur y Caribe norte (50%) y Pacifico con (46%). Al realizar una comparación con aquellas regiones que poseen mayor número de hectáreas para uso agrícola, se tiene que la región Andina tiene 2 millones de hectáreas (44%), seguido de Pacifico con 0.87 millones (19%) y Orinoquia con 0.82 millones (18%) [38]. Esta distribución de tierra guarda relación con la distribución de víctimas por rayos presentada en este estudio.

Respecto a la segunda ocupación con mayor número de muertes (fuerza pública) se establecieron los siguientes porcentajes de mortalidad: Amazonia 36%, Andina norte 22%, Caribe sur 18% y Pacifico con el 17%. Aunque no es fácil determinar la ubicación exacta de las fuerzas públicas (policías, soldados, fuerza aérea, marines, entre otros), ya que se trasladan de un sitio a otro, se pueden identificar las zonas donde hay más presencia de batallones o comandos. Según la página oficial de las fuerzas militares se encontraron más batallones en la parte centro del país, la región caribe norte y en puntos concretos de la amazonia [39], región donde se reporta el mayor porcentaje de fatalidades de este grupo

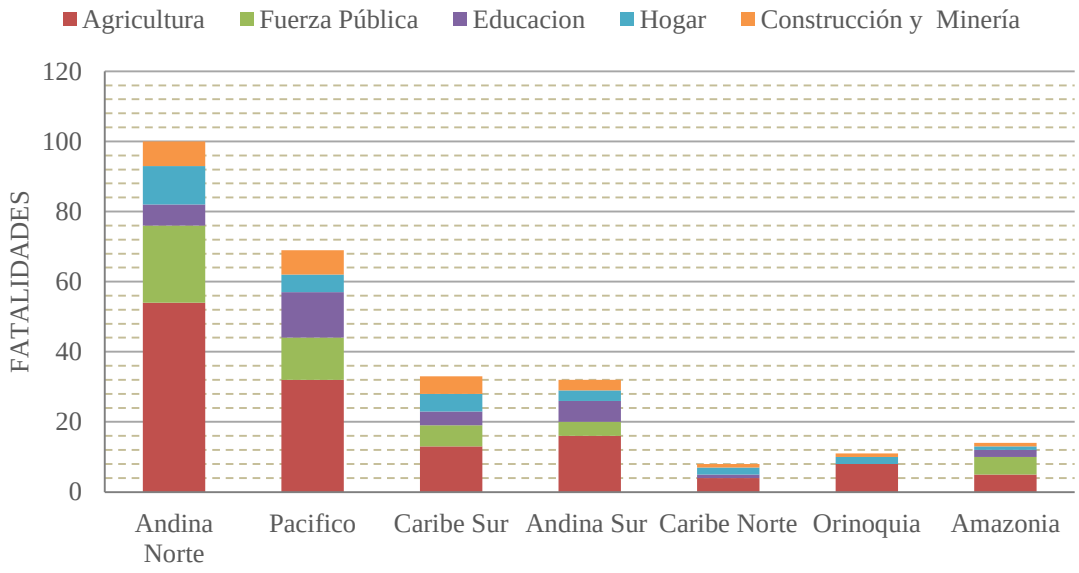


Figura 4.17 Relación de número de muertes según la ocupación agrupada en regiones. Fuente: Autor.

4.7 MORTALIDAD Y SU RELACIÓN CON LA EDUCACIÓN

Durante esta investigación se identificó el nivel educativo o el último grado que aprobó la persona antes de su muerte. De esta manera, en la Figura 4.18 se presenta la distribución

porcentual de las muertes por rayos versus el último grado aprobado. Observe que, excluyendo el 25% de los casos que no reportó información, el 40% corresponden a educación primaria, el 26% se asocia con educación secundaria y el 6% no tenía ningún nivel de educación formal. Aunque estos resultados son circunstanciales, se puede evidenciar que las personas con bajos grados de escolaridad son las más afectadas. Esto permite enfocar esfuerzos hacia la mayor capacitación y difusión de conocimiento para reducir el riesgo ante el fenómeno del rayo.

La Figura 4.18 también incluye información relacionada con la edad. Se puede notar que, de los 258 fallecidos con educación primaria, el 50% corresponde a adultos, seguido de 21% para juventud, 16% adolescencia, 11% adulto mayor y 2% infancia. Por su parte, de las 39 muertes que se reportaron sin ningún grado de escolaridad, 67% son adultos y adultos mayores, 13% jóvenes, 10% adolescentes y 10% infantes. Esto permite apreciar una relación entre los grados de escolaridad bajos y algunos rangos de edad (adultos y jóvenes). De hecho, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE el 42% de la población de 25 a 64 años en Colombia tiene mínimo educación secundaria [40].

Algo diferente ocurre para el rango de educación secundaria, el cual reportó 164 muertes distribuidas así: 43% juventud, 29% adolescencia, 27% adultez y 1% adulto mayor. Por último, de las 17 muertes que se relacionan con la educación superior el 65% se registró en adultez, 18% adulto mayor, 12% juventud y 6% adolescencia.

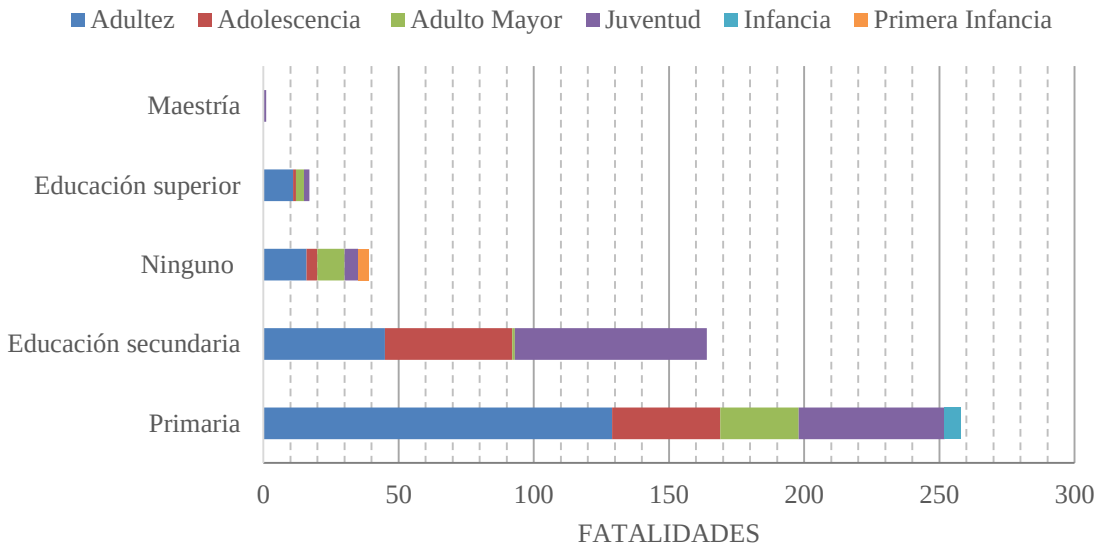


Figura 4.18 Numero de mueres según el nivel educativo y su rango de edad. Fuente: Autor

La Figura 4.19 muestra las muertes por rayos clasificadas según la ocupación y el nivel de educación. De esta relación se tiene que en actividades asociadas con agricultura, hogar y construcción-minería el máximo nivel educativo es la primaria con 75%, 67% y 50%, respectivamente. Por su lado, ocupaciones como fuerza pública y educación más del 60% de las víctimas tenían la secundaria terminada. Por último, en agricultura, fuerza pública y construcción-minería menos del 11% de los fallecidos tenían educación superior. Estos resultados indican que las personas fallecidas con trabajos u ocupaciones de mayor exposición, y sujetos a un mayor riesgo por rayos, contaban con bajo nivel de escolaridad. Esto se refleja en que, aunque la mayoría de personas conozcan el sonido del rayo (trueno), buena parte desconoce qué se debe hacer cuando se presenta una tormenta eléctrica.

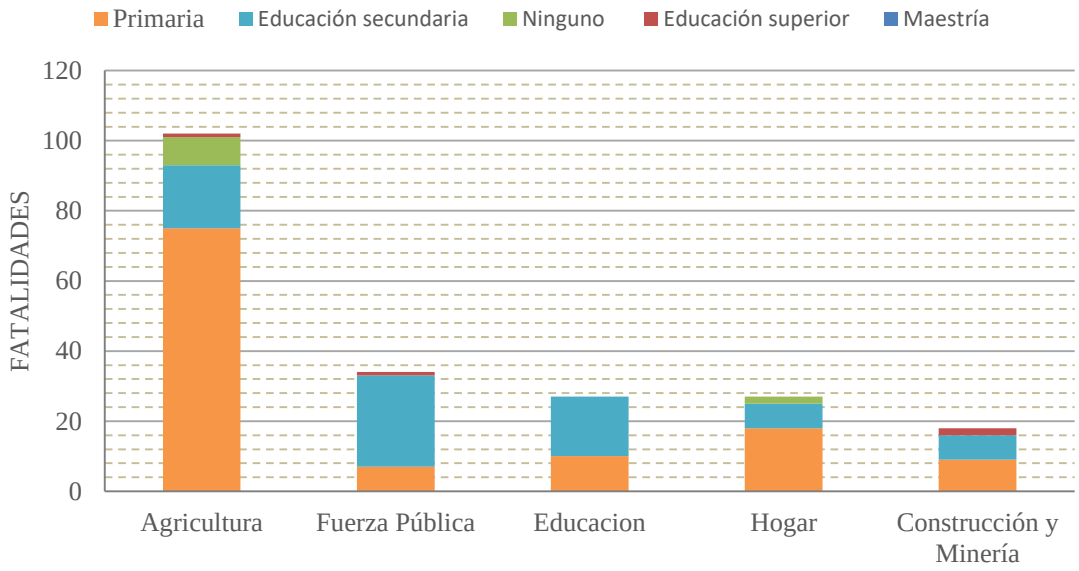


Figura 4.19 Relación de muertes según la ocupación y su nivel de estudios Fuente: Autor

De conformidad con lo propuesto en esta investigación, en el capítulo presentado se evidenciaron diferencias entre las regiones y departamentos de Colombia respecto a la tasa de mortalidad, fatalidades y densidad de población. Además, se estima un comportamiento similar en algunas regiones relacionado con la precipitación y fatalidades, aunque esta comparación se basa en promedios, posibilitan una aproximación del comportamiento de dichas regiones. Igualmente, los resultados socio-económicos proponen de manera preliminar la susceptibilidad en grupos sociales específicos como en hombres entre edades jóvenes, trabajos relacionados al aire libre (agricultura, fuerza pública y construcción-minería) y nivel de escoliad bajo, la identificación de estos grupos permite conducir acciones preventivas para reducir el riesgo por rayos.

5. COMPARACION DE ESTUDIOS DE MORTALIDAD POR RAYOS

Este capítulo presenta una comparación de los resultados obtenidos en esta investigación y otros estudios de mortalidad realizados en el ámbito nacional e internacional. Para esto, se presentan las tasas de mortalidad y las características socio-económicas reportadas en diversas regiones del mundo.

5.1 ESTUDIOS DE MORTALIDAD EN COLOMBIA

En Colombia, a la fecha se han presentado tres estudios de mortalidad por rayos, los cuales han establecido el número de muertes y lesiones causadas por este fenómeno, la tasa de mortalidad nacional, regional y departamental, el número de muertes según el sexo y rango de edad. En el año 2014 se realiza la primera investigación por Navarrete-Aldana a partir de la información suministrada por el DANE [1]. Este trabajo incluye un resumen integral de muertes por rayos para el periodo 2000-2009, identificando 757 víctimas y una tasa de mortalidad de 1.78 muertes por millón de habitantes por año. De igual forma, el estudio analizó el rango de edades de las victimas encontrando más de 100 muertes reportadas entre 16 y 25 años.

Del grupo total de muertes, se estableció que el 80.3% de víctimas eran hombres, mientras 19.7% eran mujeres. Además, se identificaron dos picos de muertes en los meses de abril y octubre, siendo este último el de mayor mortalidad con 101 casos. Finalmente, se analizó el número de muertes y la tasa de mortalidad por departamentos, encontrando mayor mortalidad al noroeste del país: Antioquia (124), Cauca (71), Santander (55), Córdoba (41), Boyacá (41) y Valle del Cauca (38). Los departamentos de Orinoquia y Amazonia (entre 5.27-7.69) se relacionaron con altas tasa de mortalidad.

La segunda investigación se enfocó en el periodo 2003-2012. Este trabajo, realizado por C. Cruz en 2014, realiza una valoración de los diferentes efectos que ocasiona un rayo clasificándolos en tres grupos: lesiones a seres vivos, daños físicos, fallas en sistemas eléctricos y electrónicos [41]. De este estudio, se determinó que el 81% de los reportes se relacionaban con lesiones de seres vivíos y el 19% restante con animales. Del primer grupo, 24% de las personas murieron y 57% resultaron heridas. La mayoría de los reportes analizados se encontraron en el Valle del Cauca, la región montañosa antioqueña y el altiplano cundiboyacense.

De igual manera, en dicho trabajo se evidenció que las lesiones a los seres vivos ocurren con mayor frecuencia en lugares donde la densidad poblacional es alta. La tasa de mortalidad estimada fue de 2.04 muertes por millón de habitantes. Esta diferencia respecto al trabajo de Navarrete se debe a que los datos analizados se obtuvieron por medio de la Dirección de Prevención de la Integridad y Seguridad del Ejercito (DIPSE), los medios de comunicación, noticias y el DANE. Esta investigación estimó 242 muertes, incluyendo las personas fallecidas por factores indirectos ocasionados por rayos como es el caso de incendios o caídas de objetos.

La investigación más reciente fue realizada por S. Cruz, quien presenta un periodo de análisis de 21 años (1997 al 2014) [42]-[9]. En este periodo se registraron un total de 1313 muertes por rayos, evidenciando que 535 casos afectaron personas con edades entre 15 a 29 años. De igual manera, el sexo masculino fue el principal afectado con 82% de las víctimas. Respecto a la distribución de muertes totales se observó que el 31% ocurrieron en el periodo marzo-mayo, mientras el 34% se reportó entre septiembre y noviembre. El estudio incluye una tasa de mortalidad multianual para Colombia de 1.42 muertes por millón de habitantes al año, y encontró tasas de mortalidad por encima de 5 muertes por millón de habitantes en departamentos tales como: Vichada, Guanía, Cauca y Guaviare. Finalmente, se obtuvo mayor mortalidad en departamentos como Antioquia (218), Cauca (124) Valle del Cauca (74) y Santander (77).

La Tabla 5.1 sintetiza los resultados obtenidos por cada estudio realizado en Colombia. Respecto al número de fatalidades y tasa de mortalidad no pueden ser comparables debido a que los años de estudio son diferentes y establecen tanto un numero de fatalidades como de estimación de la población distinta, lo que permite una de tasa de mortalidad sea diferente para cada estudio. En cuanto a los aspectos sociales como el sexo y edad se establece una similitud en tres estudios, determinado que el sexo masculino es el más afectado con un porcentaje superior al 80%, de igual manera los jóvenes presentaron mayor mortalidad. A razón de los resultados obtenidos, todos los estudios mencionan la necesidad de desarrollar programas para la educación y prevención del riesgo por rayos en Colombia.

Tabla 5.1 Resumen de los resultados a comparar en investigaciones realizadas en Colombia respecto a la mortalidad por descargas eléctricas atmosféricas

	Periodo	Fatalidades	Tasa de mortalidad	Sexo (Masculino)	Rango de edad
Navarrete	2000-2009	757	1.78	80,30%	30% de las muertes entre 16 y 25 años
C. Cruz	2000-2015	242	2.04	N/D	N/D
S. Cruz	1997-2014	1313	1.42	82%	40,74% de las muertes entre 15 y 29 años
J. Barreto	2008-2018	642	1.24	84%	Adultez 43%

Comparando la distribución de muertes por departamento, se observó que en los cuatro estudios se presentó mayor mortalidad en Antioquia, Cauca, Santander y Córdoba. De igual manera, los departamentos que presentaron una mayor tasa de mortalidad se encuentran en Amazonía y Orinoquia. Lo anterior, se debe a la baja densidad de población que se encuentra en estas regiones.

5.2 TASA DE MORTALIDAD POR RAYOS EN EL MUNDO

En esta etapa, se realizó una búsqueda de documentos y artículos que reportaran la mortalidad por rayos en otros países. Cabe mencionar que a nivel mundial la información sobre este tema es escaza, demostrando que uno de los principales inconvenientes para evaluar este tipo de accidentes es la falta de seguimiento y visibilización. En total, se realizó una revisión de 22 documentos cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 5.2. Teniendo en cuenta que cada investigación emplea diversas metodologías y herramientas para la recolección de datos y la obtención de resultados, se empleó la siguiente clasificación de fuentes de información, la cual fue propuesta inicialmente en [3].

A. Meteorológico: Desarrollados por agencias meteorologías que monitorean los impactos climatológicos de tormentas, ciclones, huracanes, lluvias entre otros. Estas agencias han proporcionado resúmenes de actividades producidas por los rayos.
B. Médico: Informes que utilizan certificado de defunción, y este a su vez es publicado por medio de un sistema nacional.
C. Personal: individuos que se encargan de la recolección de información de las víctimas de rayos mediante encuestas.
D. Medios de Comunicación: coberturas o reportes periódicos informan de algunos incidentes relacionados a muerte por rayos.
E. Amenazas naturales: La comunidad recopila una base datos sobre los riesgos de algunos fenómenos naturales.

F. Mezcla: Combinación de varias fuentes disponibles en el país, sin repetir información.

En cuanto a la fuente de información, países como Burundi, Malawi y Sri Lanka desarrollaron su metodología a través de recolección personal (encuestas o medios de comunicación) obteniendo una estimación de muertes baja debido a la dificultad de obtener información. En estos trabajos se resaltaron los eventos con mayor impacto y aquellos que generaron múltiples muertes. Por otro lado, doce trabajos obtuvieron datos de agencias que hacen seguimiento de amenazas naturales o de entidades del estado (médico). Estas organizaciones poseen una buena infraestructura para la recolección de datos. Ejemplo de esto se observa en algunos países europeos, México, Sudáfrica y Colombia.

Tabla 5.2 Tasas anuales publicadas de muertes por rayos por millón de personas y número de muertes por país

Países	Periodo	Fuente	Fatalidades	Tasa de Mortalidad por millón de habitantes	Referencia	Continente
Colombia	2000-2009	B	757	1.78	[1]	América
Colombia	2000-2015	F	242	2.04	[41]	
Colombia	1997-2014	B	1313	1.42	[9]-[42]	
Colombia	2008-2018	B	642	1.24	Este estudio	
Estados Unidos	1959-1994	A	3229	0.42	[43]	
México	1979-1997	B	5448	3.75	[44]	
	1998-2011		1904	1.32		
Canadá	1999-2003	F	53	0.11	[45]	
Brasil	2000-2009	E	1321	0.8	[46]	
Grecia	2000-2010	E	22	0.1	[47]	Europa
Turquía	1930-2014	F	895	0.32	[48]	
Inglaterra y Gales	1850-1990	F	1755	0.078	[49]	
Rumania	1999-2015	E	724	1.88	[50]	
Polonia	2001-2006	E	60	0.81	[51]	
Suiza	1946-2011	E	164	0.42	[52]	
Sudáfrica	1997-2000	B	264	6.3	[53]	África
Uganda	2007-2011	F	150	0.9	[54]	
Burundi	2012-2013	C	52	2.5	[55]	
Malawi	2010-2017	C	124	5.5	[56]	
Swazilandia	2000-2007	F	123	15.5	[57]	
Australia	1910-1919	F	650	0.21	[58]	Oceanía
	1920-1929			0.13		
	1930-1939			0.14		
	1940-1959			0.05		
	1960-1969			0.03		
	1970-1979			0.02		
	1980-1989			0.01		
India	1979-2011	E	5259	0.25	[59]	Asia
China	1997-2009	E	5033	0.31	[60]	
Singapur	1956-1979	F	80	1.7	[61]	
Bangladesh	1990-2016	F	3086	0.92	[62]	
Sri Lanka	2008	C	48	2.6	[63]	
Malasia	2008-2017	F	125	4	[64]	

Respecto a los estudios que obtuvieron la información a través de diferentes entidades y medios de comunicación (mixta), se resaltan periodos extensos de análisis en Inglaterra, Gales, Australia y Turquía. Asimismo, en países asiáticos como Singapur y Bangladesh se implementan estudios durante periodos cortos y se cruzan múltiples fuentes de información, lo que evita la duplicación de datos. Por otro lado, la única investigación que utilizó agencias meteorológicas fue adelantada en Estados Unidos, siendo uno de los países en donde más se ha investigado los fenómenos naturales y uno de los pioneros respecto al estudio de mortalidad por rayos.

A partir de la información presentada en la Tabla 5.2, a continuación, se hace un resumen de las tasas de mortalidad por continente. Todas las cantidades están expresadas en muertes por millón de habitantes al año:

- América: Canadá y Estados Unidos mantienen una tasa de mortalidad baja (debajo de 1), mientras México, Brasil y Colombia poseen tasas de mortalidad intermedias entre 1 y 3.
- Europa: las investigaciones reportan una tasa de mortalidad inferior a 1, exceptuando Rumania que reporta 1.88 muertes.
- Oceanía: Australia exhibe tasas de mortalidad muy bajas (entre 0.01 y 0.21) sin importar el periodo en el que se analice.
- Asia: India, China y Bangladesh reportan tasas de mortalidad baja (menor a 1), Sri Lanka y Singapur reportan tasas de mortalidad intermedia (entre 1 y 3). Por su parte, Malasia reporto una tasa de mortalidad de 4.
- África: altas tasa de mortalidad (por encima de 5.5) se han reportado en países como Swazilandia, Sudáfrica y Malawi. Una tasa de mortalidad intermedia se reportó en Burundi (2.5), mientras Uganda reportó una tasa de mortalidad por debajo de 0.9.

Se debe resaltar que las investigaciones realizadas en Estados Unidos, Inglaterra, Gales y Canadá han mencionado que el número de muertes por rayos ha disminuido debido al traslado de personas de las zonas rurales a zonas urbanas, la mejora de estructuras y la tecnificación de algunos trabajos rurales, proporcionando mejor protección contra rayos. En estos países se han impulsado programas para reducir el riesgo por rayos durante los últimos años.

Las investigaciones con mayor tasa de mortalidad corresponden a los países ubicados en Asia y África. Estos resultados se pueden relacionar a que muchos de ellos son países en vía de desarrollo, poseen altos niveles de analfabetismo y su economía se basa en actividades y trabajos como la agricultura, ganadería y pastoreo.

5.3 AGRUPACIÓN DE VICTIMAS POR SEXO

En la Tabla 5.3 se sintetizan los resultados obtenidos por aquellos estudios que analizaron el sexo de la víctima afectada por los rayos. Se puede apreciar que en la mayoría de reportes más del 70% de las víctimas eran hombres. Algunas de estas investigaciones asocian la mortalidad en varones debido a las actividades de trabajo. De igual manera, el sexo masculino destaca en el desarrollo de actividades al aire libre como: alpinismo, caminatas y campamentos o deportes como el béisbol, golf y futbol.

Tabla 5.3 Porcentaje según el sexo en cada país

Países	Grupo de hombres fallecidos	Referencia
Colombia	80.3%	[1]
Colombia	82%	[9]-[42]
Colombia	84%	Este estudio
Estados Unidos	84%	[43]
México	79%	[44]
Canadá	77%	[45]
Brasil	81%	[46]
Turquía	67%	[48]
Inglaterra y Gales	85%	[49]
Rumania	75,50%	[50]
Polonia	75%	[51]
Suiza	73,30%	[52]
Sudáfrica	79%	[53]
Malawi	52%	[56]
Swazilandia	68%	[57]
India	89%	[59]
Singapur	82,50%	[61]
Bangladesh	73,30%	[62]
Malasia	95%	[64]

Las investigaciones donde el sexo masculino es afectado por debajo del 70% de las muertes fueron realizadas en Malawi (52%), Swazilandia (68%) y Turquía (67%). Los resultados reportados en los países africanos se pueden deber a que mantienen su economía de la agricultura y poseen una cultura que relacionan a la mujer en actividades rurales, lo cual aumenta su exposición ante el fenómeno del rayo. Esta hipótesis se puede confirmar con los datos del banco mundial[8]. Analizando el empleo en agricultura, gran parte de los países

[8] https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.FE.ZS?name_desc=false&type=shad

africanos reporta que las mujeres ocupan el 48% de las vacantes. Por ejemplo, en Malawi dicho porcentaje es del 82%. Por su parte, en Turquía el porcentaje de empleo femenino es 25%, mientras que en Estados Unidos es 0.76%, Canadá 1% e Inglaterra 0.58%. Por otro lado, Colombia presenta un porcentaje de 6.6%, muy cercano al de México 3.61% y Brasil 4.02%. de igual manera los porcentajes de muertes del sexo masculino es superior al 79% en estos tres países.

5.4 AGRUPACIÓN DE VICTIMAS POR EDAD

La Tabla 5.4 relaciona las investigaciones que abordan la edad de las víctimas por rayos. Se debe aclarar que cada investigación presenta una categoría por rangos de edad diferente. Sin embargo, se puede observar una cierta vulnerabilidad en las personas entre 10 y 30 años. De hecho en México, Turquía, Suiza, Malawi, Swazilandia, Australia, Singapur, Bangladesh y Malasia las edades entre 10 y 30 años representan la mitad las víctimas reportadas.

Tabla 5.4 Edades con mayor mortalidad según cada país

Países	Distribución de edad	Referencia
Colombia	30% entre 16 y 25 años	[1]
Colombia	40.74% entre 15 a 29 años	[9]-[42]
Colombia	72% de muertes entre 20 a 59 años	Este estudio
México	45.8% de muertes entre 10 a 25 años	[44]
Canadá	72% de muertes entre 6 a 45 años	[45]
Brasil	43% de muertes entre 20 a 39 años	[46]
Turquía	59% de las muertes entre 10 a 30 años	[48]
Inglaterra y Gales	65% de las muertes entre 15 a 35 años	[49]
Rumania	35% de las muertes entre 10 a 39 años	[50]
Suiza	56.1% de muertes entre 10 a 30 años	[52]
Malawi	65 % de muertes entre 0 a 30 años	[56]
Swazilandia	67 % de muertes entre 10 a 30 años	[57]
Australia	1824 a 1963 70% de muertes entre 15 a 19 años 1964 a 1991 50% de muertes entre 20 a 34 años	[58]
Singapur	57.5% de muertes entre 10 a 29 años	[61]
Bangladesh	68.9% de muertes entre 10 a 39 años	[62]
Malasia	25% de muertes entre 21 a 30 años	[64]

Por su parte, el rango entre 40 y 60 años es el segundo grupo que presenta mayor mortalidad por rayos en Colombia, México, Turquía, Brasil y Malawi. Las edades por encima de 60 años presentan un menor porcentaje de mortalidad, exceptuando Rumania cuya población en este rango vive en su mayoría en las zonas rurales.

Algunos autores relacionan la edad con el tipo de actividad que realizaban las víctimas, señalando una relación con actividades al aire libre tales como: desplazamientos, deporte y agricultura, las cuales son realizadas por población joven. Algunos ejemplos son las investigaciones realizadas de África donde se mencionan varios casos de niños entre los 10 y 17 años los cuales fueron afectados por rayos debido a largas caminatas para llegar a sus colegios o puntos de trabajo.

5.5 UBICACIONES Y ACTIVIDADES

En la Tabla 5.5 se incluyen los estudios que analizaron la localización o actividad que realizaba la persona antes de su muerte. Este aspecto es uno de los más difíciles de analizar debido a la poca información disponible. No obstante, varios trabajos emplearon bases de datos que incluyen el lugar donde se produjo el deceso y establecieron su relación con la actividad realizada. Otros estudios establecen los lugares y actividades a través de noticias permitiendo ampliar la información de los casos.

Analizando los reportes, se lograron identificar las actividades y los lugares referidos con mayor frecuencia. Las actividades de agricultura, pastoreo y construcción se mencionan en varios países como Colombia, México e India sin importar la ubicación geográfica de la muerte. Adicionalmente, se identificaron actividades como paseo de bote, caminatas o prácticas deportivas. Estas actividades pueden ser realizadas por cualquier persona y no se relacionan a una ocupación como tal. En países como Australia, Canadá e Inglaterra-Gales no se especifica si la persona que realizaba caminata lo hizo por recreación o para trasladarse a su lugar de trabajo. Lo contrario se observa en varios países de África donde se relacionan muertes por rayos debido a la distancia que debe recorrer la persona entre su casa, el colegio o su punto de trabajo.

En el caso de África se ha reportado un gran número de pérdidas humanas ocurridas en escuelas o iglesias. Una parte de estos eventos ocurrió en construcciones hechas de ladillos de barro y paja. Asimismo, los edificios no tienen materiales metálicos conductores, plomería o elementos estructurales conectados a tierra que disipen la corriente del rayo cuando este impacta directamente. Otros eventos ocurren en iglesias que celebran cultos y sus ceremonias al aire libre.

En Estados Unidos y Canadá se menciona con gran preocupación las actividades realizadas a campo abierto como jugar golf, campamentos y entretenimiento cercano a ríos. Por otro lado,

como ya se mencionado a lo largo de este documento, existe una reducción de muertes por rayos en personas dedicadas a la agricultura. Esto se ha logrado gracias a la inversión en tecnología para protección de vehículos o estructuras. Este tipo de estrategias pueden ser implementadas en los demás países.

Tabla 5.5 Actividades y Lugares que se relacionan con la mortandad según el país. (AGC) Agrícolas. (PAS) Pastoreo. (PES) Pesca. (CON) Construcción (CTS) Caminatas. (JUG) Jugar Golf. (ESC) Escuelas. (IGL) Iglesias. (CAM) Campamentos. (PSB) Paseo de bote. (CER) Cercanas a ríos. (PLY) Playa

Países	**Actividades y lugares relacionados**												**Referencia**
	AGC	PAS	PES	CON	CTS	JUG	ESC	IGL	CAM	PSB	CER	PLY	
Colombia	■	■		■									Este estudio
Estados Unidos	■					■				■	■		[43]
México	■												[44]
Canadá					■	■			■	■			[45]
Brasil	■												[46]
Grecia	■	■											[47]
Turquía	■	■											[48]
Inglaterra y Gales	■				■	■							[49]
Rumania	■	■											[50]
Uganda							■	■					[54]
Burundi	■				■		■						[55]
Swazilandia	■				■								[57]
Australia	■	■			■								[58]
India	■	■		■									[59]
China	■												[60]
Singapur										■		■	[61]
Bangladesh	■		■								■		[62]
Sri Lanka	■				■						■		[63]

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en el presente trabajo, a continuación, se presentan las conclusiones de la investigación realizada y los posibles trabajos futuros.

6.1 CONCLUSIONES

- Las regiones con mayor riesgo por rayo no necesariamente se relacionan con el número de muertes. De hecho, se debe tener en cuenta factores como el número de habitantes y la densidad de rayos que se presentan en estas regiones. Por ejemplo, en regiones como Andina norte, Pacifico, Caribe sur y Andina sur se registró en promedio 446 casos en el periodo de estudio, pero al tener una gran población su tasa de mortalidad es baja, mientras que en regiones como Caribe norte, Orinoquia y Amazonia se registran tasas más altas: 1.71, 2.74 y 3.18 por millón de habitantes respectivamente, esto a causa de una baja densidad de población.

- Tres departamentos: Vichada, Guainía y Guaviare comparten una tasa de mortalidad superior a cuatro muertes por millón de habitantes, a pesar de la baja densidad de población y los pocos fallecimientos que se registraron (por debajo de 14 muertes). Mientras que el departamento del Cauca registra un mayor número de fallecimientos (77 muertes) y una alta densidad poblacional; sin embargo, tiene una tasa de mortalidad de 5.16 muertes por millón de habitantes. Esta región es atípica, por lo que se puede afirmar que este departamento posee un mayor riesgo por decesos a causa de rayos.

- Teniendo en cuenta la correlación realizada entre la precipitación y la distribución mensual de muertes se estableció en varias regiones un comportamiento bimodal que coincide con las dos temporadas de lluvias y el aumento del número de fatalidades por rayos. Esta tendencia se observa claramente en Pacífico, Caribe y Andina donde se pueden establecer estrategias para reducir el número de fatalidades por rayos durante estas temporadas. Por otro lado, en las regiones Amazonía y Orinoquía se encontró que la temporada de lluvias es continua e intensa a lo largo del año, gracias a la presencia de los vientos provenientes del sur.

- El sexo masculino tiene mayor riesgo por rayos, representando el 84% de las muertes. De igual manera, entre los 20 y 59 años se reportó el 71% de los decesos. Esta relación entre el sexo masculino y el rango de edad se atribuye al tipo de actividades que se desarrollan (ocupación laboral y recreación). Del mismo modo, esta relación es establecida en estudios

realizados en Colombia, demostrando que la vulnerabilidad en estos grupos no ha variado a lo largo del tiempo. Esta identificación debe orientar acciones preventivas para disminuir el riesgo por rayos en este grupo poblacional.

- Respecto a las ocupaciones socioeconómicas de los fallecidos por rayos a nivel nacional, se debe señalar la poca información que se obtiene a través del DANE, siendo uno de los aspectos que generó mayor dificultad en su análisis. Sin embargo se logra apreciar una cierta vulnerabilidad en actividades al aire libre relacionados con agricultura (21%), fuerza pública (8%) y construcción-minería (5%). Así mismo, las regiones que actualmente presentan mayor número de hectáreas cultivadas y presencia de batallones o comandos militares exhiben una mayor mortalidad en personas que se desempeñan en agricultura y fuerza pública. Esta vulnerabilidad permite establecer medidas preventivas para este tipo de actividades al aire libre

- Se evidencia una relación directa entre el número de fallecidos por rayos y su bajo nivel de escolaridad, encontrando que el 40% de los afectados contaba con solo estudios de primaria y el 6% no tenía ninguna formación académica. De igual manera, estas fatalidades se relacionan con ocupaciones o actividades al aire libre con bajo nivel de estudios como lo pueden ser la agricultura, fuerzas públicas, construcción y minería aumentando la exposición al fenómeno. Esto, probablemente, se debe a la falta de información sobre el fenómeno del rayo, sus peligros y las acciones necesarias para reducir su amenaza. Este hecho debe ser tenido en cuenta cuando se formulen estrategias de educación para la prevención de riesgo por rayos

- Al comparar los resultados que se reportan en el ámbito internacional, se observaron diferencias entre los países desarrollados y en vía de desarrollo. En este sentido, países como Estados Unidos, Inglaterra-Gales y Canadá, muestran que la tasa de muertes por rayos ha disminuido en los últimos años. Lo anterior, debido a la implementación de edificaciones y estructuras a prueba de rayos (o el efecto de su alta corriente) y la movilización de las personas de zonas rurales a zonas urbanas. Asimismo, se reporta en estas regiones una buena infraestructura para la recolección de datos relacionada a amenazas naturales. Por otro lado, países en vía de desarrollo en África y Asia se caracterizan una alta tasa de mortalidad por rayos. Esto debido a que por sus condiciones económicas se tiene una pobre infraestructura y no se establecen mejoras efectivas para la protección contra rayos.

- Finalmente, al analizar los resultados asociados a las características socio-económicas registradas en Colombia y en otros países, se debe aclarar que el comportamiento de los

rayos varía mucho y depende de las condiciones geográficas. Sin embargo, los estudios muestran una vulnerabilidad por rayos mayor en los hombres con edades entre 20 a 50 años. Por su parte, la condición de actividad u oficio y el lugar donde se reportaron un mayor número de muertes por rayos depende de las características económicas del país, siendo la agricultura la más resaltada en estos estudios.

6.2 TRABAJOS FUTUROS

Durante el desarrollo de este trabajo final se generaron ideas que dan continuidad al trabajo desarrollado. A continuación, se resaltará los trabajos futuros que se plantean al final de esta investigación.

- Aunque durante el análisis socio-económico se realizó el estudio de mortalidad a nivel departamental y nacional, es posible realizar estudios más específicos a nivel municipal, enfocándose en los departamentos que se vieron más afectados. De igual manera, se puede obtener mayor información a través de la recolección de información proveniente de otras entidades y utilizando la metodología de variables cruzadas para no repetir la información.

- Dado que la información de precipitación obtenida del IDEAM fue aquella reportada para el periodo 1981-2010, se puede realizar una recolección de datos particular y actualizada para las diferentes estaciones meteorológicas. Esto con el fin de estimar la distribución mensual de muertes por rayos y contratarla con la actividad meteorológica de los últimos cinco años.

- Teniendo en cuenta que se observó una afectación a edades jóvenes y se identificaron los departamentos con mayor riesgo por exposición a los rayos, se puede desarrollar una aplicación móvil que permita por medio de juegos, actividades lúdicas y módulos entender conceptos básicos sobre las descargas atmosféricas (rayos) y aprender sobre las acciones preventivas que se deben realizar cuando se incrementa la actividad eléctrica en la atmósfera.

REFERENCIAS

[1] N. Navarrete-aldana, M. A. Cooper, and R. L. Holle, “Lightning fatalities in Colombia from 2000 to 2009,” in *2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, 2014.

[2] V. A. Rakov, “Electromagnetic Methods of Lightning Detection,” no. August, pp. 731–753, 2013.

[3] R. L. Holle, “The Number of Documented Global Lightning Fatalities,” in *International Conference on Lightning Protection*, 2014.

[4] R. L. Holle, “Annual rates of lightning fatalities by country,” in *20th International Lightning Detection Conference*, 2015, no. January 2008.

[5] M. A. Uman, *The Art and Science of Lightning Protection*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

[6] V. Cooray, “Lightning Protection,” *Inst. Eng. Technol.*, 2010.

[7] L. Javier, S. Tamara, G. Andres, and E. Morales, “Investigaciones sobre descargas eléctricas atmosfericas en colombia,” 2004.

[8] H. Enrique and R. Cubides, “Técnicas avanzadas para el tratamiento y procesamiento de señales de campos electromagnéticos generados por rayos,” 2018.

[9] A. S. Cruz Bernal, “Evaluación del riesgo por rayos para Colombia,” 2019.

[10] A. Y. Kostinskiy, T. C. Marshall, and M. Stolzenburg, “The Mechanism of the Origin and Development of Lightning from Initiating Event to Initial Breakdown Pulses (v . 2),” pp. 1–40.

[11] L. J. Sierra, T. Gonzalo, and A. E. Morales, “Investigaciones sobre descargas eléctricas atmosféricas en Colombia,” Cartagena de Indias, 2004.

[12] V. A. Rakov, “Lightning phenomenology and parameters important for lightning protection,” *IX Int. Symp. Light. Prot.*, no. November, 2014.

[13] V. A. Rakov, “IX International Symposium on Lightning Protection Lightning phenomenology and parameters important for lightning protection,” 2007.

[14] M. Uman, “The Art and Science of Lightning Protection,” *Cambridge Univ.*, no. May, pp. 1–24, 2008.

[15] V. A. Rakov and A. Borghetti, *Lightning Parameters for Engineering Applications*, no. January 2018. 2014.

[16] D. Aranguren, J. López, J. Inampués, H. Torres, and H. Betz, “Cloud-to-ground lightning activity in Colombia and the in fl uence of topography Barranquilla Montería B / bermeja Cúcuta Rio Negro Tunja C . Rubiales Ibagué Pasto,” *J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys.*, no. 2009, 2016.

[17] J. Hermoso Costa, “Modelado y estudio del líder descendente negativo en una descarga eléctrica atmosférica y su influencia en la localización del punto de impacto del rayo,” Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2012.

[18] H. Dieter Betz, U. Schumann, and P. Laroche, *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Springer, 2009.

[19] M. A. Cooper and R. L. Holle, "Mechanisms of lightning injury should affect lightning safety messages," *Proc 21st intl Light. Detect. conf*, p. 5, 2010.

[20] D. E. Villamil, S. Universidad, D. Francisco, and J. De Caldas, "Characterization of the lightning safety education programs in the world as a first step for the creation of a lightning safety policy in colombia," 2017.

[21] R. L. Holle, "Recent Studies of Lightning Safety and Demographics," in *31st International Conference on Lightning Protection, ICLP 2012*, 2012.

[22] H. Torres, *Protección contra rayos*, 2nd ed., vol. 1. 2010.

[23] K. L. Cummins, E. P. Krider, M. Olbinski, and R. L. Holle, "A case study of lightning attachment to flat ground showing multiple unconnected upward leaders," *Atmos. Res.*, vol. 202, no. December, pp. 169–174, 2018.

[24] R. Maryyannncooperr· and Holle, "Reducing Lightning Injuries Worldwide," *Springer Nat. Hazards*, 2019.

[25] R. Blumenthal and N. J. West, "Investigating the risk of lightning's pressure blast wave," *S. Afr. J. Sci.*, vol. 111, no. 3–4, 2015.

[26] R. Blumenthal, "Secondary missile injury from lightning strike," *Am. J. Forensic Med. Pathol.*, vol. 33, no. 1, pp. 83–85, 2012.

[27] V. A. Rakov, *Fundamentals of Lightning*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.

[28] G. Fabian, M. Rangel, G. Cárdenas-arévalo, and O. V. Castaño-mora, *DIVERSIDAD BIÓTICA Guido Fabián Medina-Rangel*, no. 1. 2014.

[29] D. A. N. de Estadística, "Colombia Estadistica Nacional," *Repub. Colomb.*

[30] O. S. Panamericana, "Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud," *Int. Stat. Classif. Dis. Relat. Heal. Probl.*, no. 554.

[31] D. de C. y D.- DCD, "COLOMBIA - Estadísticas Vitales - EEVV - 2008-2011," pp. 1–487, 2017.

[32] "¿Qué es ArcGIS? | ArcGIS Resource Center." [Online]. Available: https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm. [Accessed: 02-May-2021].

[33] O. Rangel, H. Sánchez, O. Lowy, Aguilar M., and A. Castillo, "Colombia Diversidad Biotica I," *Rangel, O., Ed. Colomb. Divers. Biótica I*, pp. 239–254, 1995.

[34] Ministerio de salud, "Páginas - Ciclo de Vida." [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/Paginas/cicloVida.aspx. [Accessed: 19-Nov-2020].

[35] DANE, "Clacificación Internacional Uniforma de Ocupaciones Adapatada para Colombia," *Dir. Regul. Planeaci'on, Estandarización y Norm.*, pp. 32–529, 2005.

[36] M. de E. N. de Colombia, "Normatividad - Ministerio de Educación Nacional de Colombia," *Ministerio de Educación*. [Online]. Available:

https://www.mineducacion.gov.co/portal/Normatividad/. [Accessed: 18-Dec-2020].

[37] D. A. N. de Estadistica, “Geoportal del DANE - Geovisor Indicadores Regionales.” [Online]. Available: https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/indicadores-regionales/?lt=3.500848237068641&lg=-70.77408281447104&z=6. [Accessed: 28-Feb-2021].

[38] D. A. N. de Estadistica, “Geoportal del DANE - Encuesta Nacional Agropecuaria.” [Online]. Available: https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/resultados-ena/?lt=4.456007353036737&lg=-73.27816012329103&z=5. [Accessed: 02-Mar-2021].

[39] Comando General Fuerzas Militares de Colombia, “Localiza Tus Héroes.” [Online]. Available: https://www.cgfm.mil.co/es/localiza-tus-heroes. [Accessed: 02-Mar-2021].

[40] P. Letonturier, “Panorama de la educacuión 2014,” *Nota Pais*, pp. 571–572, 2014.

[41] C. Alberto and C. Mosquera, “Evaluación del Riesgo por Rayos Incluyendo un Sistema de Alarma de Tormentas (SAT) en Colombia,” Universidad Nacional de Colombia, 2015.

[42] A. S. Cruz-Bernal, H. Torres, H. D. Aranguren-Fino, and J. Inampués, “Lightning mortality rate in Colombia for the period 1997 - 2014,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, no. 2, pp. 65–74, 2018.

[43] E. B. Curran, R. L. Holle, and R. E. Lopez, “Lightning casualties and damages in the United States from 1959 to 1994,” *J. Clim.*, vol. 13, no. 19, pp. 3448–3464, 2000.

[44] G. B. Raga, M. G. De La Parra, and B. Kucienska, “Deaths by lightning in Mexico (1979-2011): Threat or vulnerability?,” *Weather. Clim. Soc.*, vol. 6, no. 4, pp. 434–444, 2014.

[45] B. Mills, D. Unrau, C. Parkinson, and B. Mills, “Striking Back : An Assessment of Lightning- related Fatality and Injury Risk in Canada,” *Nat. Hazards*, no. November, 2008.

[46] I. Pinto and R. L. Holle, “Lightning casualty demographics in Brazil and their implications for safety rules,” *Atmos. Res.*, no. December, 2013.

[47] G. D. Peppas, E. Pyrgioti, and V. P. Charalampakos, “Analysis of Lightning Impacts in Greece,” *Int. Conf. Light. Prot.*, no. January 2016, 2012.

[48] A. Kahraman and D. M. Schultz, “Lightning fatalities and injuries in Turkey,” no. June 2014, pp. 1881–1888, 2015.

[49] D. M. Elsom, “Deaths caused by lightning in England and Wales, 1852-1 990,” *R. Meteorol. Soc.*, no. March, p. 4, 1990.

[50] F. C. Bogdan Antonescu, “Lightning-Related Fatalities in Romania from 1999 to 2015,” *Am. Meteorol. Soc.*, no. April, pp. 241–252, 2018.

[51] M. Loboda, “Lightning Deaths and Injuries in Poland in Period of 2001-2006,” *Light. Prot. (ICLP), 2008 Int. Conf.*, no. June, pp. 1–6, 2008.

[52] A. Badoux, N. Andres, F. Techel, and C. Hegg, “Fatalities in Switzerland from 1946 to 2015,” *Nat. hazard*, no. July, p. 41, 2016.

[53] R. Blumenthal, “Lightning fatalities on the South African Highveld: a retrospective descriptive study for the period 1997 to 2000,” *Am. J. Forensic Med. Pathol.*, vol. 26, no.

March, p. 4, 2005.

[54] A. K. Mary, “Lightning Accidents In Uganda,” *Int. Conf. Light. Prot.*, 2012.

[55] E. Nibigira, “Lightning environment in Burundi Lightning Environment in Burundi,” *Int. Conf. Light. Prot.*, no. April, 2015.

[56] L. Kalindekafe *et al.*, “Lightning fatalities in Malawi : A retrospective study from 2010 to 2017,” *34th Int. Conf. Light. Prot. ICLP 2018*, no. November, 2018.

[57] W. M. Dlamini, “Lightning fatalities in Swaziland : 2000 – 2007,” *Nat. Hazards*, no. July 2008, pp. 179–191, 2014.

[58] L. Coates, R. Blong, and F. Siciliano, “Lightning fatalities in Australia, 1824-1991,” *Nat. Hazards*, vol. 8, no. 3, pp. 217–233, 1993.

[59] O. Singh and J. Singh, “Lightning fatalities over India : 1979 – 2011,” *Meteorol. Appl.*, vol. 778, no. September, pp. 770–778, 2015.

[60] W. Zhang, Q. Meng, M. Ma, and Y. Zhang, “Lightning casualties and damages in China from 1997 to 2009,” *Nat. Hazards*, vol. 57, no. 2, pp. 465–476, 2011.

[61] T. C. Chao, J. E. Pakiam, and J. Chia, “A study of lightning deaths in Singapore,” *Singapore Med. J.*, vol. 22, no. 3, pp. 150–157, 1981.

[62] A. Dewan, M. F. Hossain, M. M. Rahman, Y. Yamane, and R. L. Holle, “Recent lightning-related fatalities and injuries in Bangladesh,” *Weather. Clim. Soc.*, vol. 9, no. 3, pp. 575–589, 2017.

[63] C. Gomes, M. Ahmed, F. Hussain, and K. R. Abeysinghe, “Lightning accidents and awareness in South Asia : Experience in Sri Lanka and,” *Dep. Meteorol. Colombo*, vol. 7, pp. 1–4.

[64] A. R. Syakura *et al.*, “Comparative Study on Lightning Fatality Rate in Malaysia between 2008 and 2017,” *Int. Conf. Light. Prot.*, pp. 1–6, 2018.

ANEXO A. MORTALIDAD, TASA DE MORTALIDAD Y DENSIDAD POBLACIONAL POR DEPARTAMENTOS

Departamentos	Número de muertes	Tasa de mortalidad por millón de habitantes	Densidad de Población hab/km^2
Antioquia	127	1.832	99.045
Cauca	77	5.164	46.253
Valle del Cauca	41	0.824	204.255
Córdoba	40	2.191	66.332
Bolívar	34	1.507	78.959
Norte de Santander	32	2.183	61.541
Boyacá	27	1.928	54.889
Magdalena	23	1.690	53.351
Cesar	22	1.992	43.825
Cundinamarca	21	0.734	114.845
Meta	21	2.063	10.806
Santander	19	0.846	66.825
Tolima	18	1.169	59.413
Caquetá	16	3.122	5.236
La Guajira	14	1.411	43.271
Arauca	14	4.965	10.763
Caldas	13	1.201	124.764
Atlántico	11	0.416	708.951
Chocó	10	1.853	10.544
Risaralda	9	0.869	227.333
Sucre	8	0.871	76.518
Vichada	8	10.612	0.656
Nariño	7	0.374	51.185
Quindío	7	1.138	303.034
Guaviare	6	5.052	1.897
Bogotá	5	0.059	4834.127
Casanare	5	1.321	7.710
Guainía	4	9.039	0.601
Putumayo	2	0.538	13.578
Huila	1	0.081	56.614
San Andrés y Providencia	0	0	1441.304
Amazonas	0	0.000	0.679
Vaupés	0	0.000	0.910