

**EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN DE DESLIZAMIENTOS COMO INSUMO
PARA LA GENERACIÓN DE ALERTAS DEL IDEAM EN EL MARCO DEL
SISTEMA NACIONAL DE GESTION DE RIESGO DE DESASTRES EN LA
CIUDAD DE MANIZALES DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS.**

AUTOR:

ANGIE CAROLINA ROMERO GARZON
COD. 2147176

DIRECTOR:

Jhon Jairo Valencia Monroy
Licenciado en Física
Master en ciencias meteorología
Master en cambio climático
Master en gestión y auditorías ambientales

CODIRECTOR:

Christian F. Euscategui C.
Jefe Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas
INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
(IDEAM)

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
PASANTIA INSTITUTO DE METEOROLOGIA, HIDROLOGIA Y ESTUDIOS
AMBIENTALES (IDEAM)
BOGOTA D.C
2018**

CONTENIDO

RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo General	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3. MARCO REFERENCIAL	12
3.1 Marco Contextual	12
3.2 Marco Teórico.....	13
3.2.1 Condiciones Climáticas.....	13
3.2.2 Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia.	13
3.3 Marco Conceptual	13
3.3.1 Tiempo.....	13
3.3.2 Clima.....	14
3.3.3 Precipitación.	14
3.3.4 Variabilidad Climática.....	14
3.3.5 Vulnerabilidad y Riesgo.	15
3.3.6 Gestión de Riesgo a Desastres.....	15
3.3.7 Fenómenos hidrometeorológicos.....	16
3.3.8 Deslizamientos.....	16
3.3.9 Umbrales	16
3.4 Marco Legal.	17
4. DESARROLLO DE LA PASANTIA	17
5. FASES Y ACTIVIDADES DE LA PASANTIA.....	18
5.1 Descripción de la zona de estudio.	18
5.1.1 Información Geográfica.	18
5.1.2 Información de la zona de estudio.....	19
5.1.3 Condiciones Socioeconómicas.....	21
5.2 Información de las Estaciones Hidrometeorológicas	21
5.2.1 Estaciones IDEAM.....	21
5.2.2 Estaciones CORPOCALDAS.....	22



5.3	Propósito y necesidad de la pasantía.....	23
5.4	Problema de la zona de estudio.	24
6.	DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.	24
6.1	Climatología y Precipitación	24
6.2	Condiciones de Pendiente y Susceptibilidad de la zona de estudio.	27
6.3	Hovmöller	31
6.4	Precipitación Acumulada	34
6.4.1	Precipitación evento de deslizamiento a estudiar	37
7.	INFORMACIÓN ANTECEDENTE.....	39
7.1	Eventos históricos	39
7.2	Registro de precipitación	40
7.3	Lluvia Precedente Acumulada	41
8.	METODOLOGIA PARA LA GENERACIÓN DE UMBRALES DE PRECIPITACIÓN PARA LA ZONA DE ESTUDIO	46
8.1	CHIRPS	48
8.1.1	Procesamiento de la Información.....	48
8.1.2	Estadística Descriptiva.....	59
8.1.3	Generación de umbrales de precipitación.	59
9.	RESULTADOS	60
10.	CONCLUSIONES	66
11.	RECOMENDACIONES	67
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	67
	ANEXO I GRAFICAS ESTACIONES IDEAM (1981-2010).....	71
	ANEXO III.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Metodología de trabajo	18
Tabla 2: Municipios del departamento de Caldas.....	19
Tabla 3: Estaciones Meteorológicas asignadas a fechas eventos de deslizamientos en Manizales	41
Tabla 4: Diferencia de datos con precipitaciones altas en el evento a estudiar	46
Tabla 5: Puntuación Z para obtener el tamaño de la muestra.	51
Tabla 6: Datos de CHIRPS y de IDEAM por fechas del tamaño de muestra	51
Tabla 7: Datos umbrales	60
Tabla 8: Clasificación según intervalos en el modelo de deslizamientos	60

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación de las estaciones de IDEAM en el municipio de Manizales	22
Ilustración 2: Ubicación de las estaciones de CORPOCALDAS en el municipio de Manizales	23
Ilustración 3: Mapa de susceptibilidad por Amenazas de deslizamientos en la ciudad de Manizales.....	28
Ilustración 4: Mapa de susceptibilidad por Amenazas de deslizamientos con los barrios de estudio en la ciudad de Manizales	29
Ilustración 5: Mapa de pendiente de la ciudad de Manizales.....	30
Ilustración 6: Mapa de pendiente con los barrios de estudio de la ciudad de Manizales	31
Ilustración 7: Mapa de precipitación del mes de Abril del 2017 de la ciudad de Manizales estaciones de CORPOCALDAS.....	38
Ilustración 8: Mapa de precipitación del día del evento en la ciudad de Manizales estaciones de CORPOCALDAS.....	39
Ilustración 9: Raster CHIRPS visto desde el programa ArcMap	49
Ilustración 10: Mapa Error Cuadrático Medio	58
Ilustración 11: Amenaza por deslizamientos un día antes con los umbrales actuales	61
Ilustración 12: Amenaza por deslizamientos un día antes con los umbrales al Q50	62
Ilustración 13: Amenaza por deslizamientos un día antes con los umbrales al Q75	62
Ilustración 14: Amenaza por deslizamientos el día del evento con los umbrales actuales	63
Ilustración 15: Amenaza por deslizamientos el día del evento con los umbrales al Q50.....	64
Ilustración 16: Amenaza por deslizamientos el día del evento con los umbrales al Q75.....	64

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 6-1: Promedios mensuales multianuales (2006-2017) estaciones CORPOCALDAS	25
Gráfica 6-2: Promedios mensuales multianuales (1981-2010) estaciones IDEAM26	
Gráfica 7-1: Lluvia precedente acumulada día del evento a estudiar 90 días antes del evento.....	43
Gráfica 7-2: Lluvia precedente acumulada día del evento a estudiar 30 días antes del evento.....	44
Gráfica 7-3: Diferencia de datos 90 días antes del evento a estudiar	45
Gráfica 7-4: Error Medio CHRPS VS ESTACIONES.....	53
Gráfica 7-5: Histograma Error Medio CHIRPS VS ESTACIONES	54
Gráfica 7-6: Error Medio CHIRPS VS ESTACIONES por años	55
Gráfica 7-7: Histograma Error Medio CHRIPS VS ESTACIONES por años	56

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1: Escala Hovmöller	32
Imagen 2: Escala Precipitación Mensual Multianual.....	35
Imagen 3: Raster de precipitación obtenida de CHIRPS	49
Imagen 4: Validación de información estaciones con raster de CHIRPS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hovmöller estación Bosques del Norte (2006-2017)	Figura 2:
Hovmöller estación Aranjuez (2006-2017)	32
Figura 3: Hovmöller estación Apto la Nubia (2006-2017)	33

RESUMEN

En este trabajo se presenta la información de deslizamientos de la ciudad de Manizales, Departamento de Caldas (Colombia) con el fin de obtener una base de datos unificada con estaciones de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y generar umbrales de precipitación para obtener una probabilidad de ocurrencia ante un nuevo deslizamiento utilizando un modelo de deslizamientos para la zona de estudio. La metodología utilizada para recolectar la información de datos diarios fue captada por medio de la CORPOCALDAS y el IDEAM la cual determino toda la climatología de la zona, diagramas del número de días con lluvia histórica, mapas de precipitación y graficas de lluvia precedente acumulada. Adicionalmente se tuvo en cuenta la herramienta Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) con datos diarios de precipitación en un periodo de tiempo de 1981 a 2017 validadas con los datos del IDEAM, a las cuales se les realizo procedimientos para obtener información por meses en dicho periodo de tiempo y generar un valor de umbrales que favorecerán a la probabilidad de ocurrencia ante un deslizamiento. Con base a esta información se obtuvo un insumo para la modificación de una herramienta utilizada dentro de la entidad de la cual la generación de alertas tempranas será más favorable y de gran utilidad para las entidades que tengan alguna relación con este tema.

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones del clima en cualquier parte del planeta se refieren al estado promedio de cada una de las variables atmosféricas de las cuales se caracterizan por evoluciones del estado del tiempo durante un lapso mínimo de 30 años como lo indica la Organización Mundial Meteorológica (OMM) [1]. Con relación a esto, el clima fluctúa de acuerdo a las estaciones del año que se presentan y a lo largo del tiempo que pueden ser de días o hasta años donde los elementos climáticos como la temperatura o la precipitación generan alteraciones dentro de las condiciones del clima. Así mismo estas fluctuaciones se ven controladas por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático como la atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera. Por otro lado, el estado del tiempo permite interpretar la dinámica atmosférica en una fecha en particular en periodos cortos, ya que la distribución del vapor de agua, el calor, más el movimiento, generan algunas alteraciones espaciotemporales dentro de la microescala, mesoescala y escala sinóptica como indica el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Cabe mencionar que las anomalías de precipitación se caracterizan por la separación de la precipitación actual y un valor establecido históricamente (climatología), eso quiere decir que hay una diferencia entre el valor registrado de precipitación y su promedio [1] [2] [3] [4].

Por otro lado, todas las alteraciones climáticas al ser perjudiciales, en cuanto a la generación de amenazas pueden, producir como respuesta indirecta y acumulativa la presencia de deslizamientos, por lo cual las consecuencias de este tipo de alteraciones climáticas se pueden mitigar con ayuda de un sistema de alertas tempranas, las cuales van a brindar información acerca de todo lo que podría pasar en un determinado lugar y proporcionar herramientas con fines de prevención ante una emergencia.

Teniendo en cuenta la importancia del conocimiento del riesgo de desastres para el país, el presente trabajo desarrolla una evaluación de información de deslizamientos por acción de la precipitación, entendiéndose este tipo de eventos como un evento “**hidrometeorológico**”, el cual tiene por génesis un elemento en común el **agua**, debido a que tienen la capacidad de ocasionar efectos negativos en el ámbito ambiental, económico y social cuando se presentan de manera extraordinaria, sobre todo en sitios identificados de alto riesgo, cuyas poblaciones son especialmente vulnerables. Por ende, este trabajo tiene en cuenta información solamente de precipitación ya que es el elemento principal detonador de este tipo de eventos de deslizamientos. Con el análisis de esta información se buscó desarrollar insumos los cuales serán de gran utilidad para la generación de alertas del IDEAM en el marco del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres en el municipio de Manizales del departamento de Caldas, esto con el fin de poder brindar información a otras entidades, ayudar a la población y obtener un

instrumento para la realización de un plan de gestión de riesgos en cuanto a las amenazas generadas en la zona de estudio.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar una evaluación de información de deslizamientos causados por precipitación como insumo para la generación de alertas del IDEAM en función del sistema nacional de gestión de riesgo de desastres en la ciudad de Manizales del departamento de Caldas.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar la información de precipitación de las bases de datos de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en de la ciudad de Manizales, con el fin de generar los mecanismos requeridos para el desarrollo del umbral de precipitación en respuesta a la probabilidad de ocurrencia a deslizamientos
- Realizar mapas de precipitación y diagramas que evidencien el porcentaje de los días de lluvia histórica con base en las estaciones hidrometeorológicas que contengan información completa en la zona de estudio.
- Establecer un umbral de precipitación que desencadene deslizamientos con base en la información de las estaciones establecidas para modificar una herramienta que se utiliza en la entidad.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Marco Contextual

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilita la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general [5].

En 1991, como fruto de la nueva Constitución Política colombiana, se redimensionó la protección medio ambiental, elevándola a la categoría de derecho colectivo y dotándola de mecanismos de protección por parte de los ciudadanos, en particular, a través de las acciones populares o de grupo y, excepcionalmente, del uso de las acciones de tutela y de cumplimiento. En desarrollo de los nuevos preceptos constitucionales, y de acuerdo con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo, de Río de Janeiro en 1992, se expidió la Ley 99 de 1993, que conformó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y creó el Ministerio del Medio Ambiente como su ente rector. Con esta ley quiere dársele a la gestión ambiental en Colombia una dimensión sistemática, descentralizada, participativa, multiétnica y pluricultural [5].

Dentro de este marco se creó el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), como una de las entidades que conforman el SINA. Su función principal es ser el ente científico y técnico encargado de hacer el levantamiento de la información ambiental y el seguimiento al estado de los recursos naturales que constituyen el patrimonio ambiental del país. Con este fin, el IDEAM tiene la función de ser el nodo central del (SINA), en el que se obtiene, procesa y analiza la información ambiental necesaria para que las autoridades ambientales competentes formulen las políticas y adopten las regulaciones en el nivel nacional y regional [5].

Para dar apoyo técnico-científico a los organismos que forman el SINA, la Ley 99/ creó el IDEAM como establecimiento público adscrito al Ministerio del Medio Ambiente. Inició sus labores el 1° de marzo de 1995 integrando algunas de las funciones del Himat (Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras), de Ingeominas (Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química), del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y del Inderena (Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente) [6].

El IDEAM fue creado bajo la ley 99 de 1993, se organizó y estableció a través del decreto 1277 de 1994 y se adoptaron los estatutos bajo el decreto 2241 de 1995 [6]. Dicha entidad cuenta con la Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas (OSPA) la cual suministra pronósticos y alertas para evitar la pérdida de vidas humanas y reducir los impactos negativos de las amenazas de origen hidrometeorológico y climático [6].

3.2 Marco Teórico

3.2.1 Condiciones Climáticas

A lo largo del tiempo se han creado varios estudios acerca de todos los impactos económicos así como algunos aspectos de carácter social, poblacional y ambiental, consecuencia de los eventos climáticos como lo es el estudio de valoración de daños y pérdidas, Ola invernal en Colombia 2010-2011 el cual se desarrolló bajo la dirección de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) que si bien utilizó un nombre inapropiado ya que no se presentan olas de calor ni frío a estas latitudes y con el Departamento Nacional de Planeación lo utilizaron. Este estudio concluye que el valor de los activos destruidos en ese desastre sumaron más de 11 billones de pesos colombianos entre ellos los más afectados fueron las viviendas, las carreteras, instalaciones educativas y de energía, en acueductos y alcantarillado y en el sector productivo agropecuario [7].

3.2.2 Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia.

Colombia es un país en el que por sus características geográficas, geológicas, geomorfológicas y climáticas, los deslizamientos ocurren con frecuencia y por lo tanto causan un gran impacto ambiental socioeconómico. Según los estudios realizados las causas de los eventos desastrosos, como las inundaciones, deslizamientos, avalanchas, etc., son en un 96% meteorológica. El 56% de estas causas se presentan por las lluvias prolongadas o períodos lluviosos, el 37% por lluvias intensas de corta duración y en un menor porcentaje los huracanes, así como lo indica el estudio de la determinación de umbrales de lluvias detonante de deslizamientos en Colombia [8].

3.3 Marco Conceptual

3.3.1 Tiempo.

Según la OMM en su base de datos terminológica llamada Meteoterm define tiempo como “el estado de la atmósfera en un instante dado, definido por los diversos elementos meteorológicos” [9]. Además, según el IDEAM el tiempo es la manifestación de la dinámica de la atmósfera en un lugar y momento determinados. La dinámica de la atmósfera al distribuir el vapor de agua y otros gases y la energía como el calor y movimiento genera variaciones espaciotemporales de elementos como la temperatura, la presión y la humedad, lo cual produce en un lugar y tiempo determinados condiciones cálidas o frías, húmedas o secas, de

cielo nublado o de cielo despejado, situaciones de lluvia, etc. Estos fenómenos se conocen como estado del tiempo [10].

3.3.2 Clima.

Según Organización Meteorológica Mundial (OMM), el clima es la media de las condiciones meteorológicas en una zona durante un largo período de tiempo el cual se determina a partir de un cálculo de las condiciones durante un período de 30 años; este cambia principalmente a causa de las emisiones de gases de efecto invernadero que se dirigen hacia la atmosfera [11].

3.3.3 Precipitación.

Según la OMM en Meteoterm se define la precipitación como “Hidrometeoro consistente en la caída de un conjunto de partículas. Las formas de precipitación son: lluvia, llovizna, nieve, cinarra, nieve granulada, polvo diamante, granizo y gránulos de hielo” [9]. Además según un estudio de la Universidad de Salamanca se define como cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre que incluye lluvia, nieve y granizo de los cuales se puede distinguir en varios tipos como las ciclónicas que son provocadas por los frentes asociados a una borrasca o ciclón; las de convección se producen por ascenso de bolsas de aire caliente y las precipitaciones orográficas cuando las masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa [12].

3.3.4 Variabilidad Climática.

Según la OMM en Meteoterm define la variabilidad climática como la “Denotación de las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa)” [9]. Además, la variabilidad del clima se define como fluctuaciones en el estado medio y otras estadísticas del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de los fenómenos meteorológicos individuales [13] el cual se debe a los ciclos y tendencias en la órbita de la Tierra, la radiación solar, la composición química de la

atmósfera, la circulación oceánica y su interacción con la atmósfera y la biosfera. Además, uno de los principales factores de este cambio son los fenómenos de La Niña y El Niño según la OMM [11].

3.3.5 Vulnerabilidad y Riesgo.

Según El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) Se define riesgo como la probabilidad de que ocurra un daño o una pérdida de carácter económico, social o ambiental sobre un elemento dado ya sean personas, elementos materiales o ambientales; en un determinado sitio y en un periodo determinado. El riesgo es el resultado de la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas y resultan de la interacción de vulnerabilidad, exposición y peligros [14].

Según el documento Climate Change and its Impact on the Agriculture, la metodología para la estimación de la vulnerabilidad establecida por el IDEAM se expresa en las siguientes ecuaciones [15].

$$\text{Riesgo} = [\text{Amenaza} \times \text{probabilidad de ocurrencia}] \times [\text{vulnerabilidad}] \quad (5)$$

$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{Impactos negativos}] - [(\text{Impactos negativos} \times \text{capacidad adaptación})] \quad (6)$$

La vulnerabilidad resulta del funcionamiento de un sistema, cuyos componentes son llamados factores de vulnerabilidad, los cuales pertenecen a campos físicos, naturales, ecológicos, tecnológicos, sociales, económicos, territoriales (uso del suelo, planeación, políticas territoriales), culturales, educativos, funcionales, político-institucionales y administrativos, coyunturales como temporales principalmente [16].

3.3.6 Gestión de Riesgo a Desastres.

Es uno de los objetivos fundamentales para el ordenamiento del territorio donde la creación, protección y defensa del espacio público debe contener una visión preventiva hacia todo tipo de amenazas que afecten la integridad social y comprometan la sostenibilidad de la biodiversidad ecológica para generar un beneficio alguno como lo indica el estudio del ordenamiento territorial para la gestión del riesgo de desastres en Colombia del año 2017 [17].

3.3.7 Fenómenos hidrometeorológicos.

Según la Ley General de Protección Civil de México, un fenómeno hidrometeorológico se define como “Agente perturbador que se genera por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y gélidas; y tornados” [18].

3.3.8 Deslizamientos.

Según la Unidad de Gestión del Riesgo a Desastres (UNGRD) un deslizamiento es el movimiento del suelo, generalmente por acción de una falla o debilidad del terreno y se puede presentar de dos formas:

- Deslizamiento Rotacional: (Hundimientos). Son los desplazamientos de suelos o rocas blandas a lo largo de una depresión del terreno.
- Deslizamiento Traslacional: Consiste en movimientos de capas delgadas de suelo o rocas fracturadas a lo largo de superficies de poca inclinación [19].

3.3.9 Umbrales

Se define umbral como el nivel mínimo o máximo de alguna cantidad necesaria para que se lleve a cabo un proceso o un estado para cambiar. Un umbral mínimo define el nivel más bajo debajo del cual un proceso no ocurre. Un umbral máximo representa el nivel por encima del cual un proceso siempre ocurre.

Para deslizamientos de tierra inducidos por la lluvia, un umbral puede definir la precipitación, la humedad del suelo o condiciones hidrológicas que, cuando se alcanzan o superan, es probable que desencadenen deslizamientos de tierra. Los umbrales se pueden definir en físicos (basados en procesos, conceptuales) o empíricos (históricos, bases estadísticas) [20].

3.3.10 Hovmöller: En 1949, el científico Ernest Hovmöller creó un diagrama que sobresale al mostrar el movimiento en imágenes estáticas el cual genera un porcentaje de probabilidad de lluvia de acuerdo a valores históricos. Además, un cruce entre un mapa y un gráfico se conoce hoy como un Diagrama de Hovmöller; dichos diagramas promedian todos los valores en una sola columna de longitud o fila de latitud y los coloca en un eje [21].

3.3.11 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS): es un conjunto de datos de precipitaciones casi globales de

más de 30 años. Comenzando en 1981 hasta el presente, CHIRPS incorpora imágenes satelitales de resolución de 0.05° con datos de estaciones in situ para crear series temporales de lluvia cuadriculadas para el análisis de tendencias y el monitoreo estacional de la sequía [22].

3.4 Marco Legal.

El Servicio Geológico Colombia (SGC) presenta una guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento de masa con los procedimientos que a la luz del estado actual del conocimiento y de las capacidades técnicas y económicas del país resultan convenientes para la ejecución de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a escalas detalladas, siguiendo la normatividad presentada en el Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en suelos urbanos, de expansión urbana y centros poblados rurales, para la revisión o expedición de planes de ordenamiento territorial) [23].

Por otro lado el país generó un nuevo marco normativo con la ley 1523 de 2012 la cual adopta una política nacional de gestión del riesgo de desastres y estableció el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) sumado a otras disposiciones.; La ley 1454 de 2011 por la cual se dictan normas orgánicas sobre el ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones. El decreto 1640 de 2012 por la cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos [24].

4. DESARROLLO DE LA PASANTIA

Para cumplir los objetivos específicos propuestos, se acordó por medio de un convenio con el IDEAM y la Universidad Santo Tomás desarrollar la pasantía en función de la evaluación de información de eventos de deslizamientos por precipitación como insumo para la generación de alertas en el marco del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres en la ciudad de Manizales del departamento de Caldas de la cual nace de la necesidad de realizar un estudio de deslizamiento en dicha zona ya que no se cuenta con la información pertinente y adaptar una herramienta utilizada en la entidad por lo que será de gran utilidad para la toma de decisiones y generación de alertas. De tal manera se dio cumplimiento a la metodología propuesta en la tabla 1.

Tabla 1: Metodología de trabajo

Objetivo Especifico	Fases	Actividades
Analizar la información de precipitación de las bases de datos de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en de la ciudad de Manizales, con el fin de generar los mecanismos requeridos para el desarrollo del umbral de precipitación en respuesta a la probabilidad de ocurrencia a deslizamientos	Descripción de la zona de estudio	1. Compilar información sobre el municipio de Manizales en el departamento de Caldas en cuanto a su ubicación geográfica, componente biológico, componente abiótico y condiciones socioeconómicas. 2. Recompilar información acerca de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM y CORPOCALDAS en la zona de estudio. 3. verificar el propósito por el cual se desarrolla la pasantía 4. definir el problema de la zona de estudio.
Realizar mapas de precipitación y diagramas que evidencien el porcentaje de los días de lluvia histórica con base en las estaciones hidrometeorológicas que contengan información completa en la zona de estudio.	Diagnostico de las condiciones actuales de la zona de estudio	1. Recopilar información acerca de los datos de precipitación de las estaciones hidrometeorológicas cercanas en donde se ocurrió el evento de deslizamiento a estudiar para generar la climatología específica. 2. Obtener las condiciones de pendiente y susceptibilidad de la zona 3. Realizar diagramas que evidencien el porcentaje de lluvia y no lluvia histórica (Hovmöller) en la zona de estudio.
Establecer un umbral de precipitación que desencadene deslizamientos con base en la información de las estaciones establecidas para modificar y adaptar una herramienta que se utiliza en la entidad.	Información antecedente y Metodología para generar umbrales de precipitación para la zona de estudio.	1. Realizar una base de datos con la precipitación histórica de las estaciones hidrometeorológicas cercanas al lugar en donde ocurrió el evento de deslizamiento a estudiar. 2. Realizar un compilado sobre eventos históricos de deslizamientos en el municipio de Manizales. 3. Generar graficas de lluvia precedente acumulada para los eventos históricos investigados 90 y 30 días antes de cada evento. 4 Generar los umbrales de precipitación acentuando la fecha del evento ya mencionado con la herramienta CHIRPS, con el fin de modificar el modelo de deslizamientos de la entidad y generar alertas a todo el país en especial a la zona de estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

5. FASES Y ACTIVIDADES DE LA PASANTIA

5.1 Descripción de la zona de estudio.

5.1.1 Información Geográfica.

El departamento de Caldas está situado en el Centro-occidente de la región Andina, localizado entre los 05°46'51" y los 04°48'20" de latitud norte, y los 74°38'01" y 75°55'45" de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 7.888 km² lo que representa el 0.69 % del territorio nacional. Limita por el Norte con el departamento de Antioquia, por el Este con el departamento de Cundinamarca, por el Sur con los departamentos del Tolima y Risaralda, y por el Oeste con el departamento de Risaralda. La temperatura del departamento de Caldas varía de acuerdo con la altitud y el relieve, alterada

por los vientos alisios del Noreste y del Sureste. El departamento de Caldas está dividido en 27 municipios, 22 corregimientos, 142 inspecciones de policía, así como, numerosos caseríos y sitios poblados [25].

Tabla 2: Municipios del departamento de Caldas

Municipios del departamento de Caldas			
Manizales	Aguadas	Anserma	Aránzazu
Belalcazar	Chinchiná	Filadelfia	La Dorada
La Merced	Manzanares	Marmato	Marquetalia
Marulanda	Neira	Norcasia	Pacora
Palestina	Pensilvania	Riosucio	Risaralda
Salamina	Samaná	San José	Supia
Victoria	Villamaría	Viterbo	

Fuente: [25].

El municipio de Manizales cuenta con una superficie de $571,84 \text{ km}^2$ la cual cuenta con 102 barrios agrupados, 11 comunas y 7 corregimientos. Manizales está ubicada en el centro de las tres principales ciudades de Colombia, en el llamado triángulo de oro. La distancia entre Manizales y Bogotá es de 290 km. Entre Manizales y Medellín hay 180 km y entre Manizales y Cali hay 384 km. Está comunicada con las capitales vecinas de Pereira y Armenia a través de la Autopista del Café [26].

5.1.2 Información de la zona de estudio.

Se realiza la recolección de información en cuanto al componente biótico y abiótico con el fin de reconocer el área de estudio y tener en cuenta varios factores en el análisis de los procedimientos a ejecutar.

5.1.2.1 Componente Biótico.

5.1.2.1.1 Unidad Cronoestratigráfica.

Según el Servicio Geológico Colombiano, Manizales cuenta con varias unidades cronoestratigráficas las cuales son las divisiones de cuerpos de roca utilizadas en la geología histórica como los son:

- Q-P: Deposito de ceniza y lapilli de composición andesítica, edad Cuaternario.
- Q-VC: Flujo volcanocasticos constituidas por piroclasticos y epiclasticos de composición andesística.
- K1mbg6: Cuarzos, claríticos, cuarcitas, edad Cretacico Inferior.
- K1-vcn5: Basaltos y andesitas intercaladas con arenitas lodosos, lodolitas carbonosas, edad Cretacico Inferior.
- T-pf: ortogneises graníticos, edad Triásico.

- T-mbg3: Esquistos, grafiticos, cloríticos y anbolicos, mármoles y serpentinitas, edad Triásico [28].

5.1.2.2 Componente Abiótico

5.1.2.2.1 Agua e Hidrología

Cuenca hidrográfica: Río Chinchiná· Microcuencas: Quebrada Olivares - Minitas, presentando numerosos nacimientos y corrientes de agua.

5.1.2.2.2 Geología

El entorno de la ciudad de Manizales lo constituyen unidades de roca que se han establecido en distintos periodos de tiempo y cuya historia está contenida dentro de la misma evolución de la Cordillera Central, en un ambiente muy dinámico, que involucró tanto el dominio oceánico como continental. Rocas sedimentarias depositadas en un mar Cretácico poco profundo, intercaladas con productos de vulcanismo submarino constituyen la base de la columna geológica regional en el área de estudio [29].

5.1.2.2.3 Geomorfología y Suelos.

En el caso de Manizales se diferencian cinco unidades como lo son: Unidades Estructurales Erosiónales, Unidades Erosiónales, Unidades Dominicas, Unidades aluviales y Unidades antrópicas. Además, En la ciudad de Manizales se destacan dos formas principales de uso del suelo, uno relacionado con aspectos urbanísticos y otro con la cobertura vegetal natural o antrópica, los cuales inciden negativa o positivamente en la ocurrencia de fenómenos naturales o antrópicos [29].

5.1.2.2.4 Morfometría

La ciudad de Manizales por su ubicación en el flanco Occidental de la Cordillera Central y por la influencia tectónica y volcánica presenta una topografía diversa desde zonas abruptas y escarpadas hasta amplios valles.

- **Pendientes Entre 0° y 15°:** Las áreas comprendidas en este rango, corresponden a pendientes suaves y se encuentran ubicadas principalmente hacia la parte centro y Sureste de la ciudad, en las comunas 3, 4, 6, 7 y 8 en general, coincidiendo en gran parte con la zona urbanizada, debido a las modificaciones del terreno para este fin y cubriendo un 39.76% del área total de la ciudad.
- **Pendientes Entre 15° y 30°:** Comprende zonas con pendientes moderadas a fuertes ubicadas principalmente en la ladera Norte (comunidades 1, 5, y 6) y en ladera Sur (comunidades 9, 10 y 11) y al Oriente en la comuna 7. Cubre el 46.28 % del casco urbano de Manizales.

- **Pendientes Entre 30° Y 45°:** Abarca sectores con pendientes fuertes al Sur de las comunas 8 y 11 y al Este de las comunas 1 y 2, además de algunas zonas de la comuna 7, correspondiendo al 13.21% de la ciudad.
- **Pendientes Mayores a 45°:** Involucra zonas con pendientes muy fuertes. La más representativa para la ciudad se ubica en el escarpe de Chipre y se encuentra distribuida en la ciudad en un 0.34% [29].

5.1.3 Condiciones Socioeconómicas.

La economía del departamento es diversa, esto dado en gran medida por la amplitud de ecosistemas y climas, que ofrece el territorio caldense, ampliando las posibilidades en su economía; el sector de prestación de servicios representado por el comercio, el transporte, las comunicaciones y la banca, son un fuerte del departamento, y el sector agropecuario representado principalmente por el café, representa una fuente importante de ingresos además de ser un elemento identitario para la región, la ganadería también se encuentra presente; en cuanto a manufactura, sobresalen la industria metalmecánica y los productos textiles y de confecciones, también cuenta con el sector minero focalizado en el oro principalmente, actualmente el turismo ha adquirido importancia a nivel departamental

Los principales productos de exportación de Caldas para el 2014 fueron el café (68,1%), refrigeradores (5,8%), desperdicios de cobre (4,4%), layas, palas y hachas (3,5%) y productos de confitería (3,1%) [30].

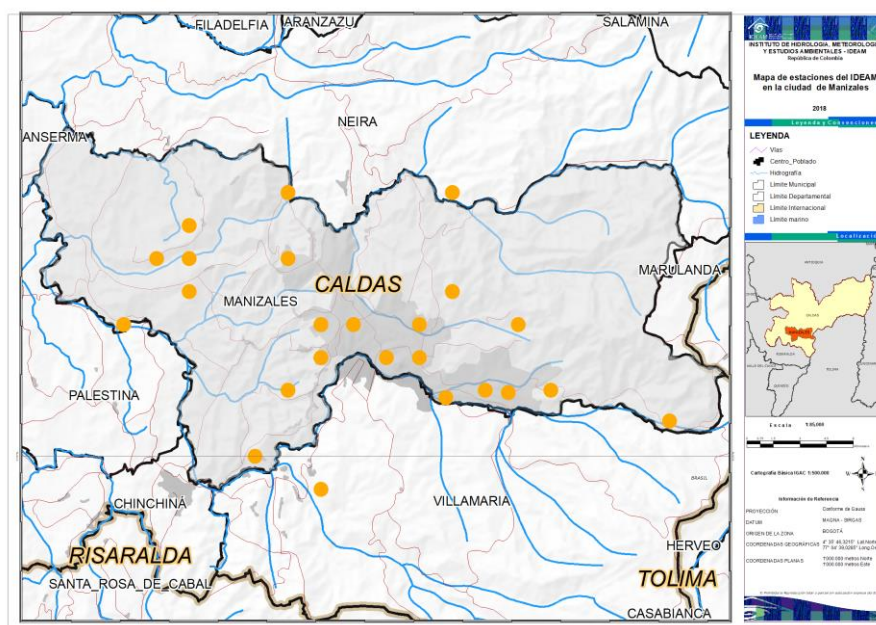
5.2 Información de las Estaciones Hidrometeorológicas

5.2.1 Estaciones IDEAM

El IDEAM cuenta con 28 estaciones meteorológicas en la ciudad de Manizales, las cuales solamente 4 de estas se encuentran activas, como lo son: La esperanza, Apto la Nubia, Tesorito FCA y Emas.

En la Ilustración 1 se puede evidenciar la ubicación de estas estaciones con datos de longitud y latitud proporcionados directamente por la entidad.

Ilustración 1: Ubicación de las estaciones de IDEAM en el municipio de Manizales



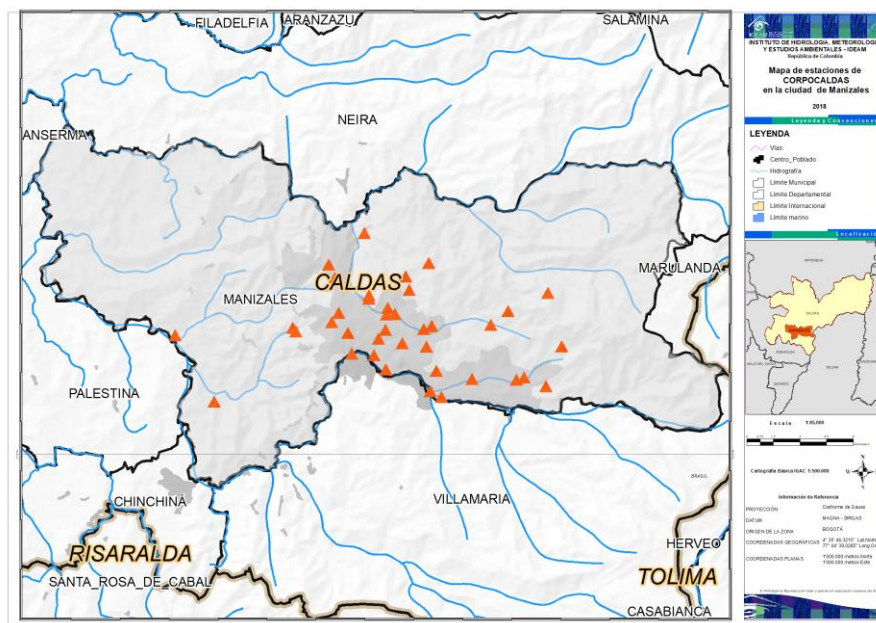
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2 Estaciones CORPOCALDAS

La Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) cuenta con 39 estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas de las cuales se encuentran activas actualmente y recopilan información diaria de precipitación necesaria para los tomadores de decisiones en el municipio.

En la Ilustración 2 se puede evidenciar la ubicación de estas estaciones con datos de longitud y latitud proporcionados directamente por la entidad de Caldas.

Ilustración 2: Ubicación de las estaciones de CORPOCALDAS en el municipio de Manizales



Fuente: Elaboración Propia.

5.3 Propósito y necesidad de la pasantía.

Caldas ha vivido a través de los años diferentes emergencias y desastres que han conllevado no solo a una pérdida económica, sino a la pérdida en muchas ocasiones de vidas humanas, las cuales son invaluable. Las crecientes de los cauces de quebradas y ríos en el departamento, han causado diferentes inestabilidades fundamentalmente en los municipios de Viterbo, Supía, Pensilvania, Manzanares, Victoria y la Dorada. El consejo departamental de Gestión de Riesgo a Desastres (CDGRD) Caldas está debidamente conformado, las instituciones que lo conforman tienen establecidos los procedimientos para actuar en caso de emergencia, de igual forma se cumple con lo establecido en el Plan Departamental Gestión del Riesgo Desastres de Caldas; a nivel departamental se han realizado programas y proyectos encaminados a realizar preparativos tanto institucionales como comunitarios para emergencias donde confluyen entes de orden público y privado, mejorando también la capacidad de respuesta de estas entidades [31].

En relación a esta pasantía que se desarrolló al interior del Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM) se buscó crear una metodología de adaptación para un instrumento utilizado en la entidad con el fin de proporcionar alertas tempranas pertinentes con base en los niveles de precipitación que históricamente se presentaron en la ciudad de Manizales con el fin de poder brindar información que será utilizada en la generación de alertas los cuales serán de gran utilidad para las entidades que tengan alguna relación con este tema y será un instrumento de toma de decisiones. Además a esto, se espera analizar el agente

causante del deslizamiento que se presentó el día 19 de abril del 2017 en la ciudad de Manizales y modificar un instrumento de generación de alertas utilizada dentro de la entidad.

5.4 Problema de la zona de estudio.

El Departamento de Caldas debido a su ubicación geográfica, geológica y condiciones morfológicas especiales, es susceptible a la ocurrencia de procesos, los cuales pueden alterar el común desarrollo de las actividades económicas, sociales y culturales de la región; de igual forma existen comunidades vulnerables ubicadas en zonas donde estos fenómenos se pueden presentar, generando condiciones de riesgo alto. Además, este departamento es susceptible a sufrir los efectos de eventos naturales como sismos, movimientos en masas, inundaciones, erupciones volcánicas, vientos fuertes, incendios forestales y otros relacionados con la intervención del hombre (Antrópicos) tales como: tecnológicos, químicos, incendios, accidentes de tránsito. Cabe mencionar que la amenaza por deslizamiento es general para los 27 municipios del departamento de Caldas, anotando que municipios como La Dorada, si bien su topografía predominantemente es plana, cuenta con los cerros, los cuales han presentado problemas de inestabilidad [31].

6. DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Los datos de precipitación de las estaciones hidrometeorológicas de CORPOCALDAS fueron suministrados directamente por la Universidad Nacional de Manizales, puesto que ellos monitorean toda la información de las estaciones de dicha entidad.

Para obtener los datos diarios de precipitación se realizó un código en Python el cual es un lenguaje de programación con estructuras de datos eficientes en donde se elaboró un procedimiento de juntar los valores de precipitación con el mismo patrón en los datos y obtener valores diarios de precipitación obtenidos cada 5 minutos. Cabe mencionar que estos datos se tomaron como día meteorológico que quiere decir que son valores de lluvia captados de 7:00 am del día anterior a 7:00 am del día actual. Para los datos diarios del IDEAM no se realizó ningún filtro puesto que ellos manejan la información conjunta de día meteorológico.

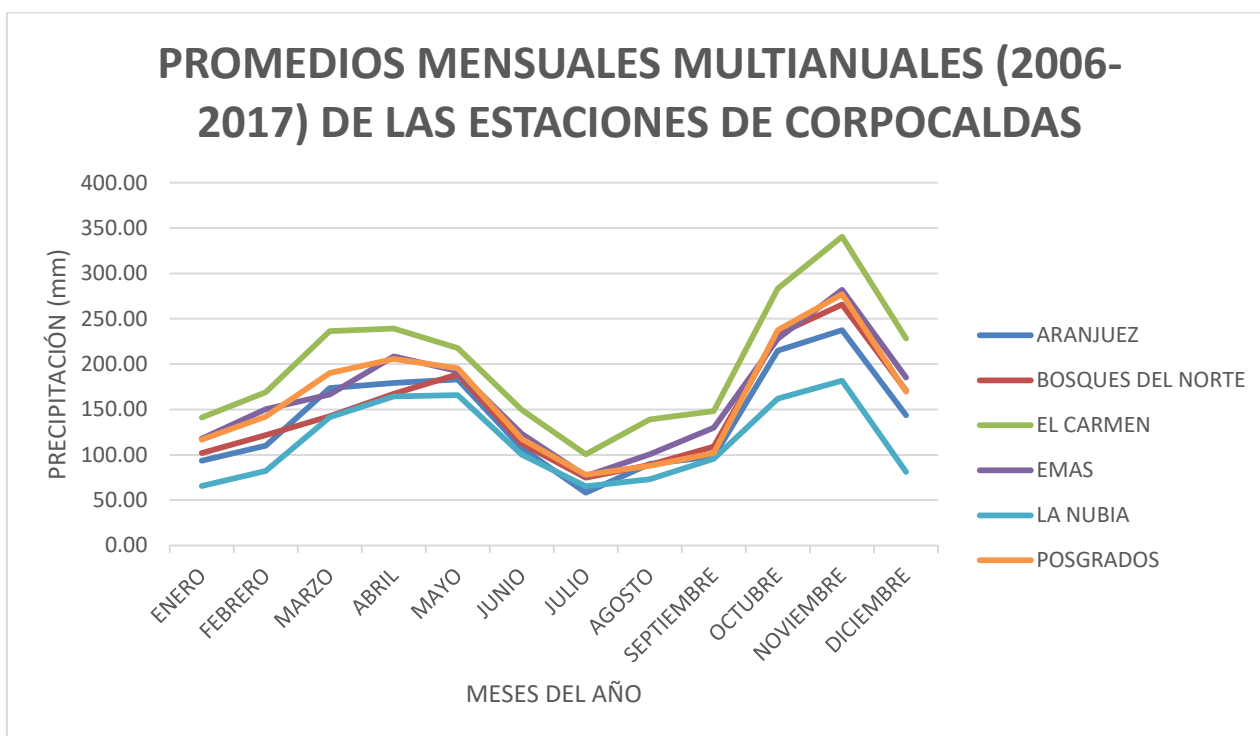
6.1 Climatología y Precipitación

Para la información de precipitación se utilizaron datos de lluvia del día meteorológico de las estaciones de CORPOCALDAS suministrada por la entidad, en donde se determinaron datos mensuales multianuales desde el año 2006 a 2017

con 6 estaciones de CORPOCALDAS como lo son Aranjuez, Bosques del Norte, El Carmen, Emas, La Nubia y Posgrados y la climatología de 3 estaciones del IDEAM con información desde el año 1987 a 2017 como La esperanza, Apto la Nubia y Tesorito. Adicional a esto, se tuvo en cuenta datos promedios mensuales multianuales del año 1981 a 2010 de las estaciones del IDEAM como lo son Apto la Nubia, La esperanza, Montevideo, Alta suiza, Sub Chipre, Sub la Uribe, Sub Marmato, y San Cancio planta. Cabe resaltar que dichas estaciones se tuvieron en cuenta por la disponibilidad de información la cual fue fundamental para obtener un análisis concreto.

- **Estaciones CORPOCALDAS:**

Gráfica 6-1: Promedios mensuales multianuales (2006-2017) estaciones CORPOCALDAS en mm



Fuente: Elaboración Propia

En el ANEXO A1 se encuentran todas las gráficas relacionadas con la información mensual de la zona en donde se puede evidenciar un comportamiento que oscila en dos periodos de tiempo fuertes de lluvia separados con un periodo de menos lluvia como lo es habitual en la zona, puesto que se encuentra localizada en la región Andina la cual por su ubicación geográfica presenta este tipo de comportamiento en cuanto a la precipitación.

Cabe mencionar que julio es el mes de menos lluvia con datos entre los 58 mm y los 100 mm y los meses abril, mayo, octubre y noviembre son los que presentan los

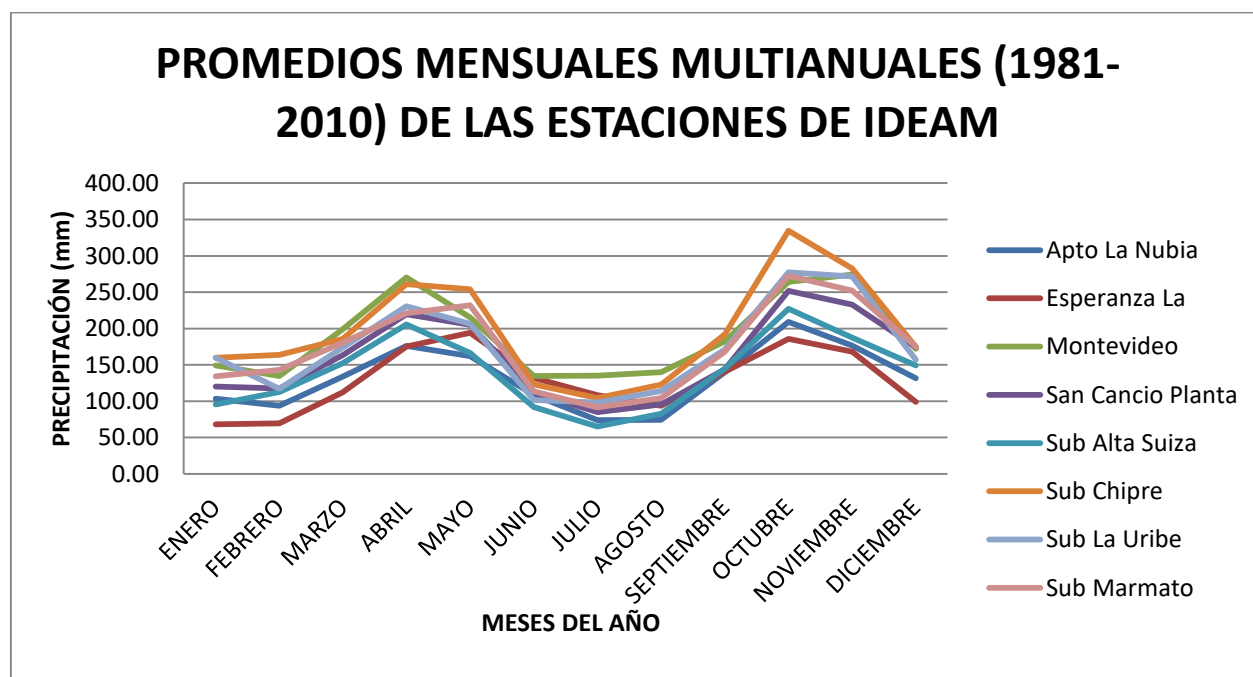
datos más altos de precipitación. Adicional a esto en el primer semestre del año se presentan los valores más bajos de precipitación a diferencia del segundo semestre que evidencia tanto el valor más alto y más bajo de precipitación; una de las principales causas de este comportamiento es afectación de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) la cual marca la convergencia entre el aire del hemisferio Norte y el hemisferio Sur. Además, la afectación de los vientos alisios del Noreste que son originados por el aire que fluye alrededor del anticiclón del Atlántico Norte [32], la circulación atmosférica del Pacífico, los vientos del oeste del Chorro del Chocó y los factores locales asociados con la orografía afectan la zona de estudio en donde se presenta dicho comportamiento.

La variabilidad climática interanual es afectada por los fenómenos El Niño - La Niña - Oscilación del Sur, eventos que generan anomalías en la precipitación.

El mes de octubre se registró el valor más alto en todas las estaciones, en especial en la estación El Carmen con una precipitación de 340.4 mm y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Gráfica 6-1 se pudo observar que todas las estaciones de CORPOCALDAS presentan el mismo comportamiento en cuanto a la precipitación obtenida, esto quiere decir que los valores captados están correctos en comparación entre ellas, puesto que no hay ninguna que presente un comportamiento diferente. Además, todas estas estaciones se encuentran en diferentes puntos de la ciudad de Manizales.

- **Estaciones IDEAM.**

Gráfica 6-2: Promedios mensuales multianuales (1981-2010) estaciones IDEAM en mm



Fuente: Elaboración Propia

De igual manera en el ANEXO A1 se puede deducir que las estaciones del IDEAM tienen el mismo comportamiento de las gráficas de las estaciones de CORPOCALDAS, esto quiere decir que los datos obtenidos son similares en cuanto a la comparación entre ellas mismas. Igualmente el mes de julio es donde se presenta valores más bajos, con un promedio entre 66 mm y 105 mm sin importar el periodo establecido. Además, el mes de agosto en las estaciones La Esperanza y Apto la Nubia presentan un promedio de precipitación un poco más bajo en comparación con el mes ya mencionado.

En la Gráfica 6-2 se pudo evidenciar el mismo comportamiento un poco más visible en cuanto a todas las estaciones utilizadas en la zona de estudio con unos picos altos en los meses abril, mayo, octubre y noviembre. Adicionalmente, este periodo presente una precipitación que fluctúa desde 65.2mm a 334.7mm, en donde en el primer semestre los meses con una mayor precipitación son abril y mayo, mientras que en el segundo semestre los meses más representativos son octubre y noviembre. Por otra parte, los meses con los valores más bajos de precipitación son julio y agosto, junto con los primeros meses de año y diciembre.

En el Anexo I se puede evidenciar las gráficas de climatología de las estaciones Montevideo, San Cancio Planta, Sub Alta Suiza, Sub Chipre, Sub la Uribe y Sub marmato en un periodo de tiempo de 1981 a 2010 donde se presenta un comportamiento bimodal igual a las estaciones ya mencionadas anteriormente. Además, la estación Montevideo registra los valores más altos de precipitación en los meses de marzo y abril, y en el resto del año la estación más representativa es Sub. Chipre se presenta más precipitación. De esta manera, en la estación Sub. Chipre se evidencia el valor más alto del promedio multianual de precipitación y la estación La Esperanza, la cual presenta el valor más bajo del promedio multianual de precipitación, mientras que en las otras estaciones el promedio multianual de precipitación fluctúa desde 1583.7 a 2212.9 mm, variando en valores similares durante el año.

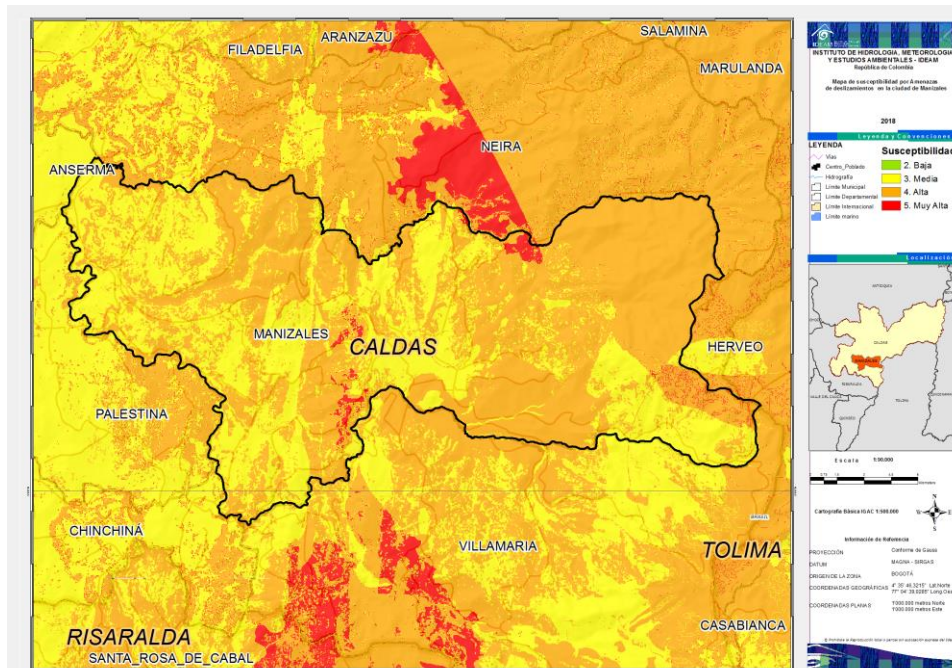
6.2 Condiciones de Pendiente y Susceptibilidad de la zona de estudio.

La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos. El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable. Además, muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos [33]. El mapa de Susceptibilidad de Colombia se realizó en el programa ArcMap el cual se tuvo en cuenta información de lluvia antecedente, geología, amenazas de lluvias, amenazas de sismo, entre otros; esta información se obtuvo directamente por el IDEAM en donde se utiliza este mapa para el modelo de deslizamientos que se obtiene todos los días para generar alertas a todo el país,

como se evidencia en el Anexo II presentado adicional a este trabajo con una escala de 1:500.000.

En la Ilustración 3 se evidencia una extracción de la zona de estudio en cuanto a susceptibilidad en la misma escala ya mencionada, la cual muestra una escala de colores ya establecidos por la entidad, en este mapa se refleja una susceptibilidad Alta y Baja en todo el territorio de estudio y además se evidencia una zona muy pequeña en la parte suroeste de Manizales con una susceptibilidad muy alta en donde podría ser un patrón fundamental para tener en cuenta en cuanto a las amenazas de deslizamientos de la zona.

Ilustración 3: Mapa de susceptibilidad por Amenazas de deslizamientos en la ciudad de Manizales

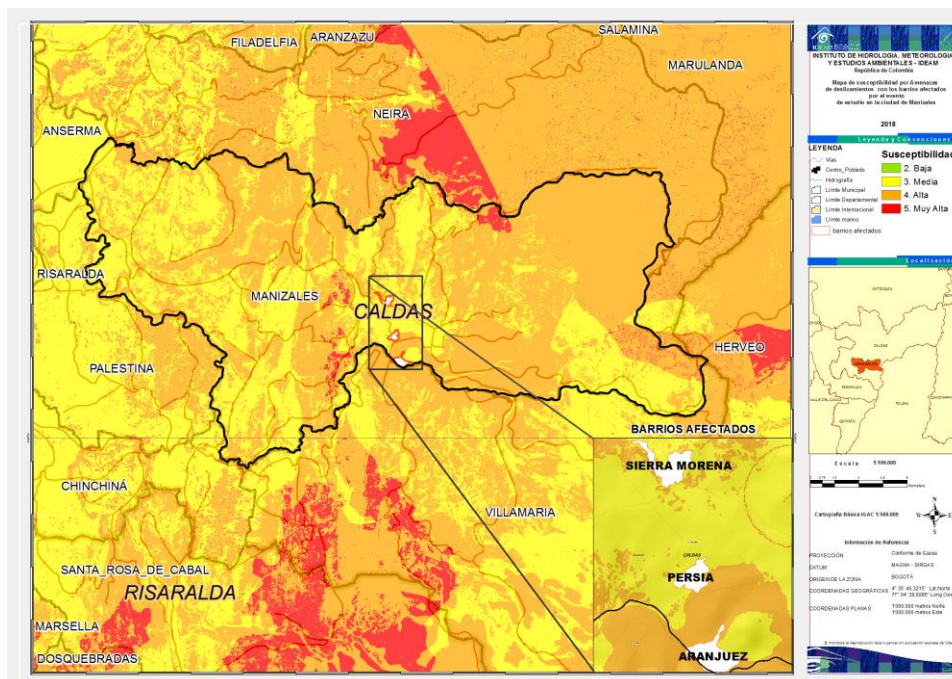


Fuente: Elaboración Propia

Para la finalidad del proyecto se realizó una extracción de la zona de estudio con los barrios afectados del evento de deslizamiento ya mencionado, en donde en la Ilustración 4 se evidencia una susceptibilidad de amenaza media y alta cercana al barrio Sierra Morena y en la parte sur cerca a los barrios Persia y Aranjuez una susceptibilidad Alta.

Esta información es fundamental ya que permite evaluar parcialmente esa incertidumbre y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente, en las primeras etapas de planeación de un proyecto [33].

Ilustración 4: Mapa de susceptibilidad por Amenazas de deslizamientos con los barrios de estudio en la ciudad de Manizales

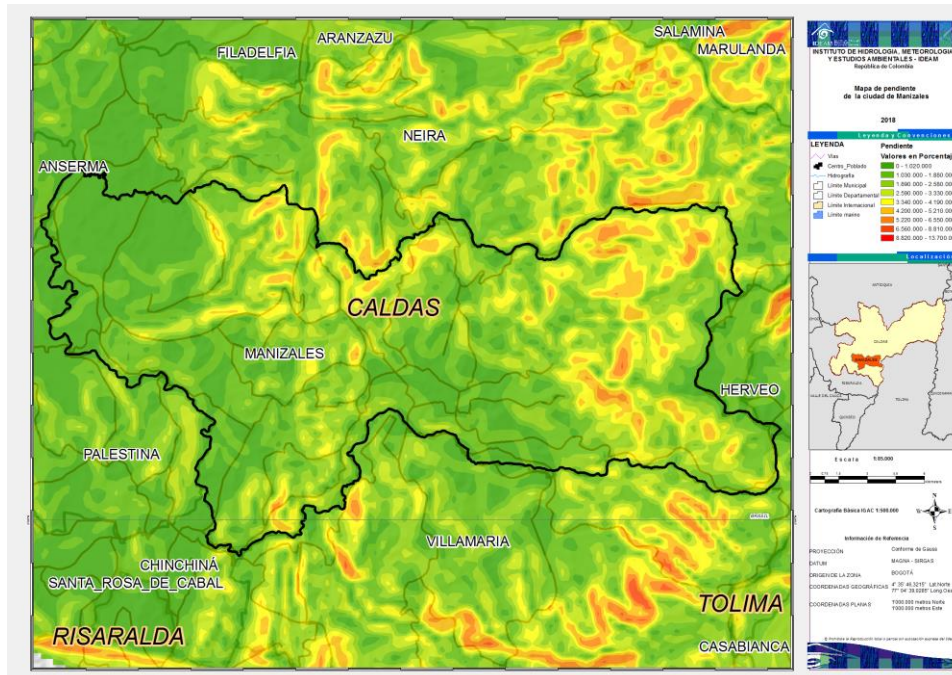


Fuente: Elaboración Propia

La pendiente en porcentaje describe la proporción de cambio en altura de la superficie normal con respecto al cambio en la distancia horizontal, mientras que la pendiente en grados es el ángulo de inclinación entre la superficie normal y un plano horizontal [34]. El mapa de pendiente se realizó con información de curvas de nivel las cuales fueron proporcionadas por el IDEAM y se utilizaron los barrios afectados por el deslizamiento del 19 de abril de 2017 el cual es parte fundamental de este proyecto. Esta información fue obtenida por el Sistema de Información Geográfico–Planeación Municipal del Geoportal de la Alcaldía de Manizales [35].

En la Ilustración 5 se evidencio un porcentaje de pendientes entre 0 y 2% en todo el territorio de estudio en especial en la parte central y en el oeste de esta zona. Además, cabe resaltar que hay un significativo aumento en la pendiente en el costado este y central con un porcentaje de pendiente de 3 y 8%, cual es un índice que junto con la susceptibilidad indican una amenaza de deslizamiento bastante alta que coinciden bastante como lo indican los mapas anteriores.

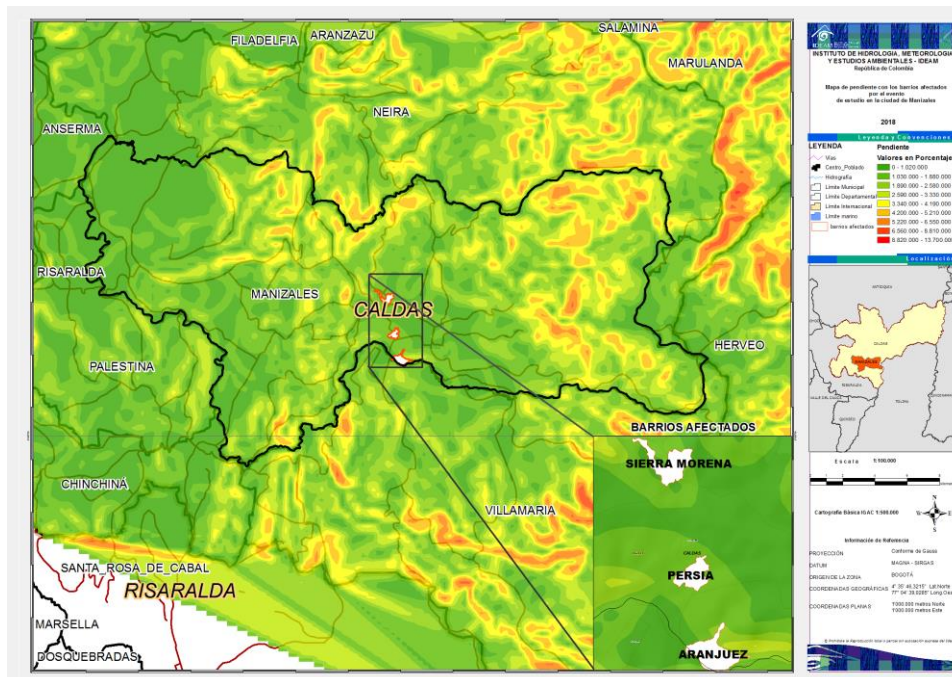
Ilustración 5: Mapa de pendiente de la ciudad de Manizales



Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 6 representa la pendiente de la zona de estudio con los barrios afectados por el evento ya mencionado, evidenciando que estos se encuentran ubicados en una pendiente de 0 y 1,020% esto quiere decir que son geológicamente estables, pero cabe resaltar que alrededor de estos barrios se presente una pendiente entre 1 y 4% el cual genera una probabilidad de ocurrencia a un deslizamiento muy alta que puede afectar a estos barrios que se encuentran en una pendiente más baja. Esto es significativo para la toma de decisiones y generar alertas ya que es muy similar a la susceptibilidad de la zona de estudio.

Ilustración 6: Mapa de pendiente con los barrios de estudio de la ciudad de Manizales



Fuente: Elaboración Propia

6.3 Hovmöller

Como ya se mencionó anteriormente un Hovmöller es un gráfico dinámico, que para la investigación permite ver el número de días con lluvia en una respectiva zona, para estaciones específicas teniendo en cuenta datos diarios de precipitación en un periodo de tiempo establecido.

Para el desarrollo de los diagramas se utilizó información de las estaciones de CORPOCALDAS Emas, Aranjuez, Posgrados, Bosques del Norte, El Carmen y la Nubia entre el año 2006 - 2017 y la estación Apto la Nubia del IDEAM. Estas estaciones fueron seleccionadas por cumplir con los parámetros requeridos para la investigación como su continuidad en la base de datos de precipitación.

Estos diagramas representan el porcentaje de probabilidad de lluvia que puede ocurrir por medio de un análisis de lluvia antecedente, en este caso en un día y en un mes establecido durante un periodo de tiempo específico. Adicionalmente, se tuvo en cuenta una escala de colores de acuerdo a un porcentaje de 0% a 100% de probabilidad de lluvias, como se evidencia en la imagen 1.

Imagen 1: Escala Hovmöller



10 20 30 40 50 60 70 80 90

Fuente: Elaboración Propia

- Hovmöller Estaciones CORPOCALDAS**

Figura 1: Hovmöller estación Bosques del Norte (2006-2017)

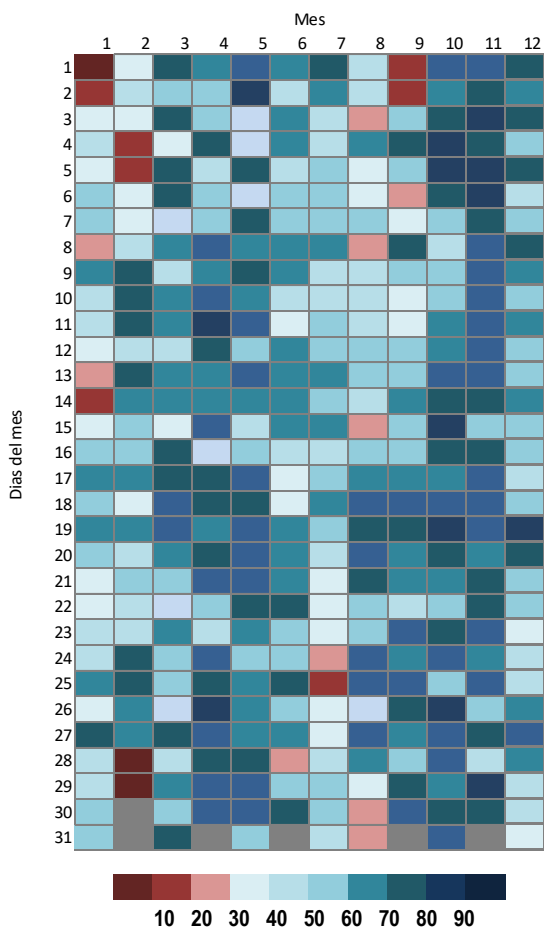
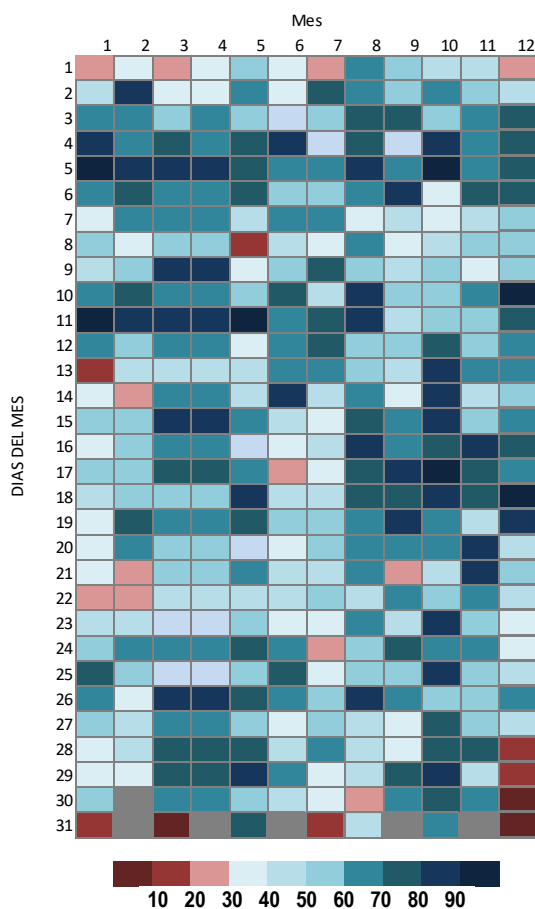


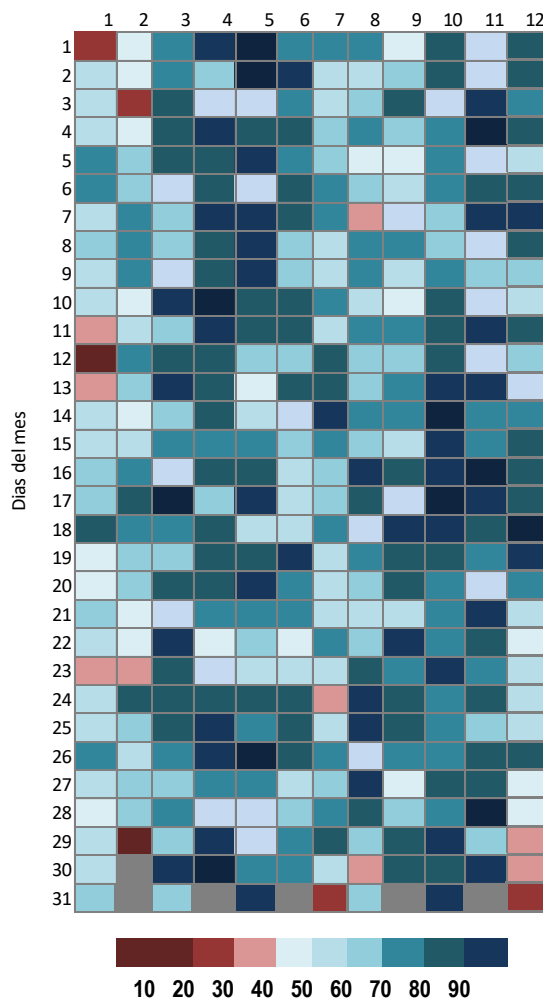
Figura 2: Hovmöller estación Aranjuez (2006-2017)



Fuente: Elaboración Propia

- **Hovmöller Estación IDEAM**

Figura 3: Hovmöller estación Apto la Nubia (2006-2017)



Fuente: Elaboración Propia

En el Anexo A adjunto a este documento se puede evidenciar los Hovmöller de las estaciones de CORPOCALDAS en los cuales se puede observar un cambio significativo entre los años, meses y días en el periodo de tiempo de 2006-2017 puesto que esta información es de Manizales la cual presenta un comportamiento de dos periodos de lluvia fuertes como se evidencio en la climatología y precipitación de la zona de estudio. Adicional a esto, las estaciones Emas y Posgrados son las que menos presentan unas lluvias de probabilidad entre 0 y 30% a diferencia de las demás que si se evidencia un comportamiento de probabilidad un poco más alto. Además, el evento de deslizamiento de Manizales a estudiar fue el día 19 de abril de 2017 en la madrugada por ende se tiene en cuenta en este caso el día 18 de abril de 2017 por el día meteorológico ya explicado anteriormente.

Según los Hovmöller se puede evidenciar que el día ya mencionado tiene una probabilidad entre 50 y 90% de que pueda llover ese mismo día en un tiempo futuro.

Estos diagramas sirven para generar una probabilidad de lluvia más adelante, teniendo en cuenta lluvia antecedente en cuanto a días, meses y años ya que tiene un periodo de tiempo bastante largo y se puede observar mejor este suceso.

En la gráfica 18 se puede evidenciar un comportamiento de lluvia muy parecido a las estaciones de CORPOCALDAS teniendo en cuenta la distancia entre ellas; en esta grafica podemos tener en cuenta para el día del evento ya mencionado una probabilidad entre el 80 y 90% de ocurrencia de lluvia en ese día para una fecha cercana.

6.4 Precipitación Acumulada

La herramienta ArcMap se utilizó para la generación de mapas de precipitación acumulada mensual multianual en donde se tuvo en cuenta datos de precipitación de las mismas estaciones de CORPOCALDAS e IDEAM que se utilizaron para la información de precipitación de la zona por su cercanía al evento de estudio y por su consistencia en los datos, en un periodo de tiempo de 2006 a 2017, esta información de precipitación se obtuvo por medio de una interpolación espacial IDW (distancia inversa ponderada) la cual se conoce como un interpolador exacto, es decir, que el valor interpolado y el valor de un punto conocido siempre son iguales. Además, se produce concentraciones bastante fuertes en los puntos de medición y de acuerdo a la distancia entre estaciones es recomendable utilizar esta herramienta. Sin embargo el modelo IDW puede generar sobreestimaciones de la precipitación en la zona de estudio.

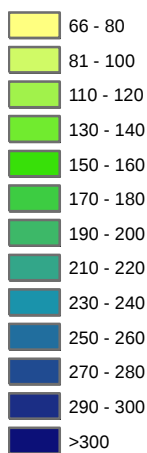
Cabe destacar que según la literatura investigada se dio a conocer que este tipo de interpolación es mucho mejor que las demás, en especial en el artículo “ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN E INTERPOLACIÓN ESPACIAL DE LAS LLUVIAS EN BOGOTÁ, COLOMBIA” el cual hace una comparación con varios tipos de interpolación en su análisis y se obtiene ese resultado [36]. Además, el IDEAM utiliza este tipo de interpolación para todo el análisis, por ende se tomó la recomendación de realizarlo de esta manera. En dichos mapas también se evidencian los barrios afectados por el evento de deslizamiento a estudiar ya mencionado.

- **Mapas Precipitación Mensual Multianual (2006-2017) CORPOCALDAS.**

Para los mapas generados por las estaciones de CORPOCALDAS se realizó una escala de colores específicos de acuerdo a los valores altos y bajos obtenidos con el fin de tener un mejor análisis y diferenciar los datos de precipitación mensual, multianual, como se evidencia en la Imagen 2.

Imagen 2: Escala Precipitación Mensual Multianual

Escala de Precipitación



Fuente: Elaboración Propia

En el Anexo B presentado adicional a este trabajo se pueden evidenciar todos los mapas de precipitación mensual multianual de estas estaciones los cuales generan un comportamiento similar a la climatología de la zona. En el mes de enero, se presentan valores de 100mm en todo el territorio con una variación de 120 a 140mm cerca a los barrios afectados por el evento a estudiar ya mencionado y un poco de afectación en el sureste de la zona; en el mes de febrero, se presentan valores entre 100 a 120mm en todo el territorio con una variación entre 140 a 160mm y en el sureste una precipitación más baja entre 65 a 80mm; en el mes de marzo, en el oeste del territorio se presenta una precipitación entre 180 a 200mm, un área de 200 a 220mm cerca de los barrios afectados y un valor de 140mm en algunas zonas de Manizales; en el mes de abril se evidencia una precipitación más alta ya que este comportamiento bimodal es significativo en la zona de estudio con valores de más de 180mm y cerca de los barrios afectados variación de 200 a 240mm; en el mes de mayo también se generan datos de precipitación altos por el mismo comportamiento bimodal con valores de en ciertas zonas de 180 a 200mm y 200 a 220mm en todo el territorio: en el mes de junio se evidencia una disminución en los valores que van de 100 a 120mm en la parte este de la zona y 120 a 140mm en la parte oeste; en el mes de julio el comportamiento de la precipitación disminuye significativamente como es frecuente en la zona con valores de 65 a 80mm con un área en específico de 80 a 100mm; en el mes de agosto se refleja en la parte oeste un área con valores de 100 a 120mm, una zona de 120 a 140mm y el este entre 80 a 100mm; en el mes de septiembre se evidencia una precipitación entre 100 a 120mm en todo el territorio y una zona amplia de 120 a 140mm cerca de los barrios afectados; en el mes de octubre se reflejan valores muy altos de precipitación como suele presentarse en esta fecha según el análisis establecido y la climatología de la zona ya mencionada anteriormente, en este mes se pudo analizar un promedio de 220 a 240mm en toda la zona de estudio, presenta un área grande de 240 a

280mm y una zona en específico entre 160 a 180mm. Estos valores son bastantes altos y son significativos en este sector la cual influye un poco entre la susceptibilidad y pendiente baja de la zona; en el mes de noviembre los valores también aumentan demasiado siendo este uno de los meses más altos de precipitación que van de 240 a 280mm en especial en la zona oeste y norte, además con un área de 280 a 300mm cerca a los barrios afectados, en la parte sureste de la zona presenta un comportamiento un poco menor de 220 mm y disminuye significativamente hasta 80 a 100mm y en el mes de diciembre la precipitación baja y genera en todo el territorio un valor de 100mm hasta 140mm con una zona alta de 180 a 200mm y otra de 240mm cerca de los barrios afectados, en el lado este presenta una zona de 120mm y disminuye hasta un punto de 65 a 80mm. Cabe resaltar que el comportamiento de la zona es bimodal como ya se ha mencionado anteriormente y las zonas con altos y bajos valores de precipitación concuerdan con las zonas de susceptibilidad y pendientes, esto produce un análisis más específico el cual puede generar alertas más exactas por su ubicación.

- **Mapas Precipitación Mensual Multianual (2006-2017) IDEAM.**

Para la generación de los mapas se tuvo en cuenta las estaciones que están operando actualmente en la zona de estudio, sin embargo hay que tener en cuenta que dichas estaciones están a una distancia moderada de la cabecera municipal, por ende, el comportamiento de la precipitación no se va a ver reflejado en gran magnitud.

Cabe resaltar que dichas estaciones están en la parte este del territorio el cual evidencia el comportamiento de la precipitación solo en esta área de la zona de estudio, por lo tanto no se pudo generar un análisis favorable para la cabecera municipal, en especial en los barrios en donde ocurrió el evento de deslizamiento a estudiar.

En el Anexo B presentados adicional a este trabajo se evidencia la ubicación de las estaciones con los respectivos barrios afectados por el evento ya mencionado, en los cuales para el mes de enero se presenta una precipitación de 80 a 100mm en todo el territorio, con una zona al este de 120 a 140mm; en el mes de febrero la precipitación en todo el terreno es de 80 a 100mm con un cambio de precipitación en una zona al este de 65-80mm; en el mes de marzo la precipitación en toda la zona es de 140 a 160mm con unas variaciones al este del territorio de 100 a 120mm y de 65 a 80mm; en el mes de abril la precipitación aumenta por ser uno de los meses donde más lluvias se presentan según la climatología de la zona en el cual se evidencian valores de 160 a 180mm en todo el territorio con un área al suroeste de 180 a 200mm; en el mes de mayo la precipitación también es alta según la climatología con valores de 160 a 180mm y una zona específica más baja de 120 a 140mm; en el mes junio la precipitación va disminuyendo con valores de 80 a 100mm y una zona específica de 65 a 80mm; en el mes de julio la precipitación disminuye mucho más, teniendo en cuenta que este es uno de los meses con menos lluvias con valores de 65 a 80mm y una zona específica de 80 a 100mm; en el mes

de agosto también se presentan valores bajos por ser igual un mes de menor precipitación con datos de 65 a 80mm y una zona igual del mes anterior con valores de 80 a 100mm; en el mes de septiembre sube la precipitación con un total de 120 a 140mm y una zona específica de 80 a 100mm; en el mes de octubre se presentan altos niveles de precipitación ya que es uno de los meses más lluviosos del año con valores de 200 a 220mm con una zona al suroeste de 220 a 240mm; en el mes de noviembre igual se presenta este comportamiento por ser igual uno de los meses con más precipitación, con valores de 180 a 200mm y una zona bastante grande de 220 a 240mm y en el mes de diciembre se presenta una precipitación de 120 a 140mm con una zona de 140 a 160mm.

Cabe resaltar que los mapas de precipitación son realmente exactos a la climatología de la zona y al estudio de precipitación ya mencionada, pues se evidencian altas valores en los meses de abril y mayo y en la segunda temporada en los meses de octubre y noviembre.

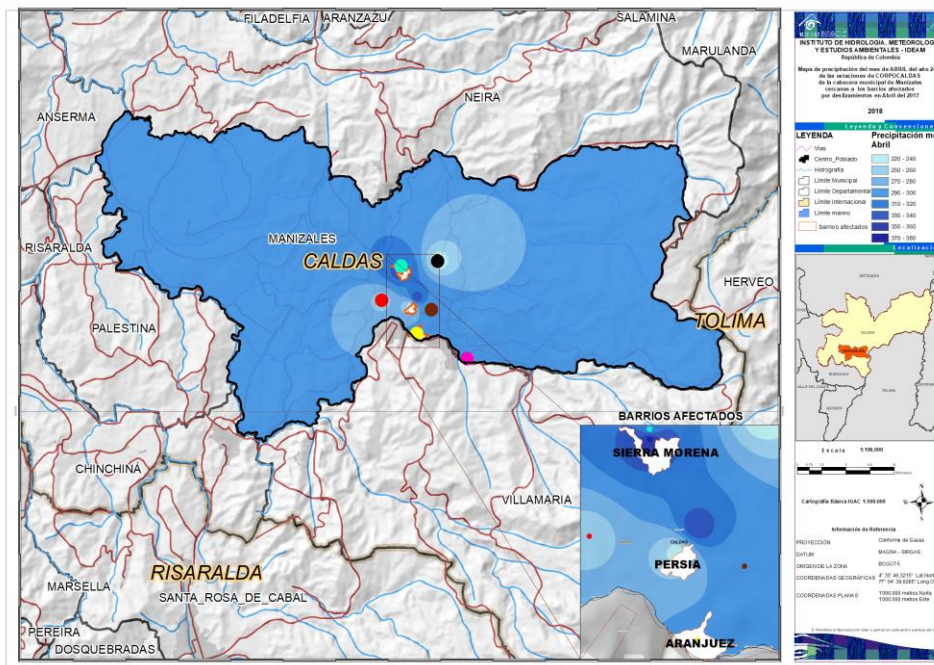
6.4.1 Precipitación evento de deslizamiento a estudiar

El evento de deslizamiento se produjo el 19 de abril de 2017 generando una emergencia en la ciudad de Manizales en el departamento de Caldas el cual genero una afectación en 18 barrios a causa de un deslizamiento que dejó 16 fallecidos, 23 heridos, 9 personas reportadas como desaparecidas, 500 familias damnificadas y 80 viviendas con algún tipo de destrucción [37].

Según la revista SEMANA sostenible, Carlos Iván Márquez, director de la Unidad para la Gestión nacional del Riesgo de Desastres (UNGRD) afirmó en este momento: “que se espera que en la tarde del jueves los puntos críticos estén restablecidos y que la búsqueda de desaparecidos sea un hecho que se pueda ejecutar”. Desde Bogotá, la unidad envió asistencia humanitaria de emergencia para 500 familias a quienes también se les darán subsidios de arriendo. Según los datos de la estación hidrometeorológica Hospital Caldas, cayeron 156 milímetros (mm) de lluvia, la misma cantidad de agua que suele caer durante un mes, [37].

Según la información anterior se realizó un mapa de precipitación del mes de abril de 2017 de las estaciones de CORPOCALDAS más cercanas a los barrios afectados, para evidenciar como fue el comportamiento de la precipitación en el mismo; esto se puede evidenciar en la Ilustración 7 en donde se reflejan cambios en la precipitación en la parte central del territorio con valores que oscilan entre 224 a 320mm teniendo en cuenta el evento de deslizamiento ocurrido en esa misma zona. Cabe resaltar que en la climatología de 1981 a 2010 en la ciudad de Manizales se evidencian valores entre 175 a 270mm en el mes de abril y en los promedios de precipitación realizados en este mismo mes se obtuvieron valores 160mm a 239mm. Por consiguiente hubo un gran aumento en los datos de lluvias, el cual genero el evento de deslizamiento ya mencionado.

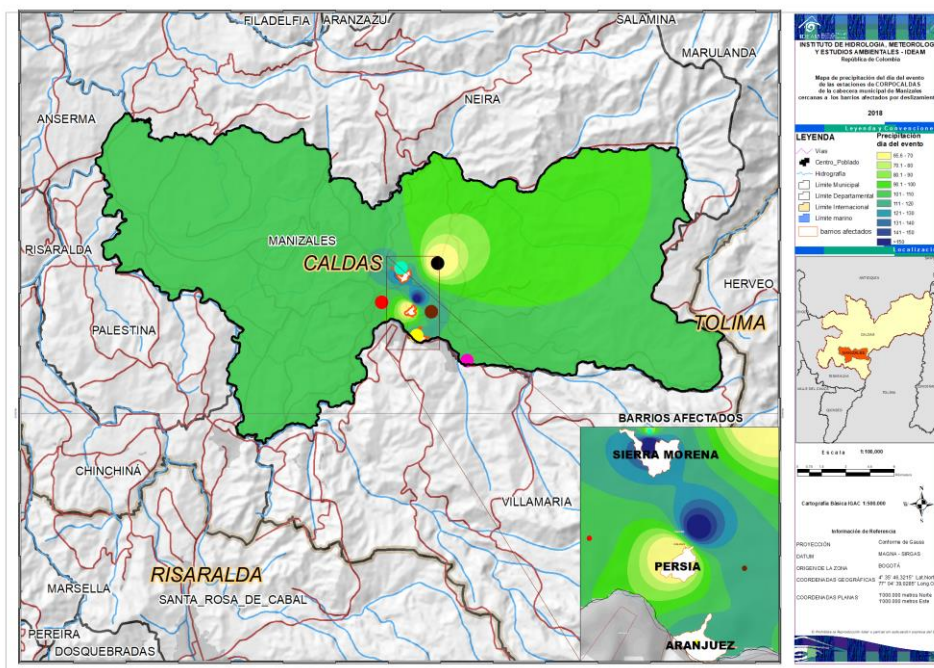
Ilustración 7: Mapa de precipitación del mes de Abril del 2017 de la ciudad de Manizales estaciones de CORPOCALDAS



Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 8 se presenta el comportamiento de la precipitación del día meteorológico del evento de deslizamiento a estudiar el cual se evidencio cerca a los barrios afectados con una precipitación de 120mm a 150mm teniendo en cuenta que en la ciudad de Manizales, el promedio diario de precipitación es de 57 a 75,2 mm según la base de información del IDEAM. Además, en el resto de la ciudad se presentan valores de precipitación mucho más bajos de 65 a 100mm por lo tanto la gran cantidad de lluvias generadas solo se presentaron en una zona específica de la ciudad.

Ilustración 8: Mapa de precipitación del día del evento en la ciudad de Manizales estaciones de CORPOCALDAS



Fuente: Elaboración Propia

7. INFORMACIÓN ANTECEDENTE

Se realizó una investigación acerca de eventos históricos de deslizamientos en la zona de estudio con el fin de tener en cuenta esta información en la generación de los umbrales de precipitación, puesto que es fundamental saber el comportamiento de la lluvia antecedente en la zona de estudio y verificar si se genera un patrón repetitivo en todos los eventos de deslizamientos en la ciudad de Manizales.

7.1 Eventos históricos

Los eventos históricos a estudiar fueron proporcionados por la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo a Desastres (UNGRD) desde los años 1998 a 2017 en el cual se presenta todo tipo de evento en toda Colombia con su respectiva fecha, afectación a viviendas, personas, servicios públicos, apoyo del fondo nacional de calamidades y observaciones del lugar exacto del evento y demás datos adicionales requeridos. Esta información se tuvo en cuenta ya que es fundamental realizar un análisis más profundo con respecto a datos históricos y así, poder generar una comparación entre si y obtener un mejor resultado.

Para este estudio se tuvo en cuenta eventos históricos de deslizamientos en la ciudad de Manizales debido a que cuentan con la información precisa y estaciones alrededor de donde ocurrieron los siguientes eventos.

- 10 junio 2005
- 24 marzo 2006
- 31 octubre 2007
- 5 noviembre 2007
- 23 noviembre 2007
- 15 noviembre 2008
- 3 marzo 2011
- 20 marzo 2011
- 19 octubre 2011
- 5 noviembre 2011
- 10 noviembre 2011
- 1 diciembre 2013
- 3 diciembre 2013
- 12 febrero 2017
- 19 abril 2017
- 25 diciembre 2017

7.2 Registro de precipitación

Para la generación de lluvia precedente acumulada se tuvo en cuenta estaciones de CORPOCALDAS cercanas a los eventos de deslizamientos históricos ya mencionados anteriormente por lo general no una distancia mayor a 1km por temas de precisión en los datos y por el terreno de la zona estudio puesto que esta cuenta con cambios de pendientes. Además que esta ciudad cuenta con varias estaciones hidrometeorológicas que pueden proporcionar su información sin ninguna adversidad y obtener datos de precipitación más apropiados en zonas específicas.

Tabla 3: Estaciones Meteorológicas asignadas a fechas eventos de deslizamientos en Manizales

ESTACION	FECHA
EL CARMEN	10-jun-05
	23-nov-07
	20-mar-11
	5-nov-11
	10-nov-11
	12-feb-17
	25-dic-17
POSGRADOS	24-mar-06
BOSQUES DEL NORTE	31-oct-11
	1-dic-13
EMAS	5-nov-07
	19-oct-11
ARANJUEZ	15-nov-08
	20-mar-11
	3-dic-13
	19-abr-17
Q. OLIVARES EL POPAL	3-mar-11
	5-nov-11
	19-abr-17
HOSPITAL DE CALDAS	3-mar-11
	19-abr-17
PALOGRADE RUTA 30	19-oct-11
ALCAZARES	10-nov-11
	15-dic-17
Q. MARMATO PLANTA CHEC	12-feb-17

Fuente: Elaboración Propia

7.3 Lluvia Precedente Acumulada

Para la generación de dichas gráficas de lluvia se tuvo en cuenta datos diarios de precipitación acumulada 90 días antes de cada evento teniendo en cuenta que 1 es el día del evento y se van contando los días de atrás acumulándose uno a uno hacia adelante; esto con el fin de obtener un análisis más profundo en cuanto a lo precedente de las estaciones de CORPOCALDAS ya mencionadas anteriormente y obtener un análisis de picos más altos en las mismas, para lograr un patrón repetitivo entre ellas. En la Gráfica 7-1 se puede observar la lluvia precedente acumulada del evento de estudio el cual nos indica que hubo un aumento



significativo en varios días antes, por lo cual nos infiere que tal vez haya sido una acumulación de precipitación la que generó el deslizamiento.

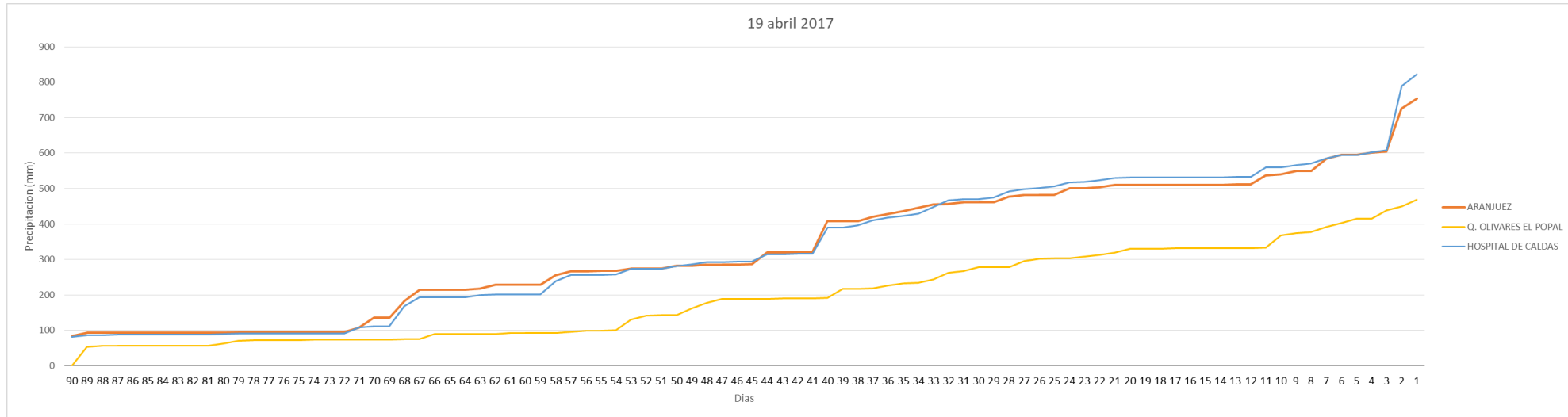
Adicional a ello, se observaron picos altos en los 90 días antes del evento el cual es un patrón significativo al compararlo con las demás gráficas localizadas en el Anexo C adjunto a este documento, ya que todas presentan el mismo comportamiento de los mismos picos altos. Por tal motivo, se puede alertar a la población realizando un seguimiento de precipitación durante estos días y evidenciando el patrón obtenido teniendo en cuenta esta información.

Adicionalmente en la Gráfica 7-2 se evidencia la precipitación precedente acumulada 30 días antes del evento el cual es un análisis un poco más corto y nos indica 2 picos altos durante la acumulación de precipitación precedente igual a las demás gráficas de los diferentes eventos que nos muestra un patrón muy similar reflejados en el Anexo C.

Cabe resaltar que en las gráficas generadas se encontró que dos días antes del evento es donde se presenta mayor precipitación por lo tanto, puede ser un patrón representativo en el comportamiento de las lluvias en la zona.

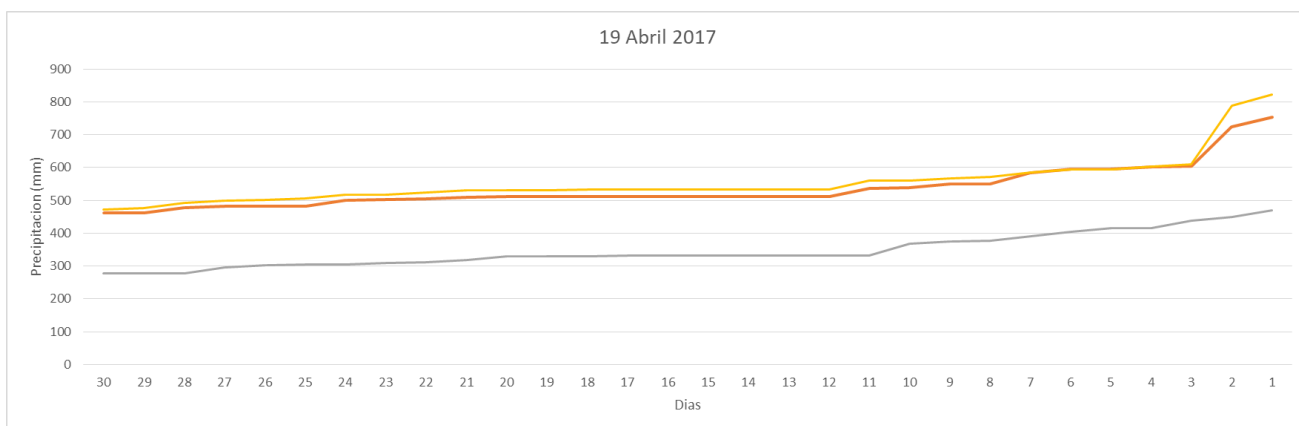


Gráfica 7-1: Lluvia precedente acumulada (mm) del día del evento a estudiar 90 días antes.



Fuente: Elaboración Propia.

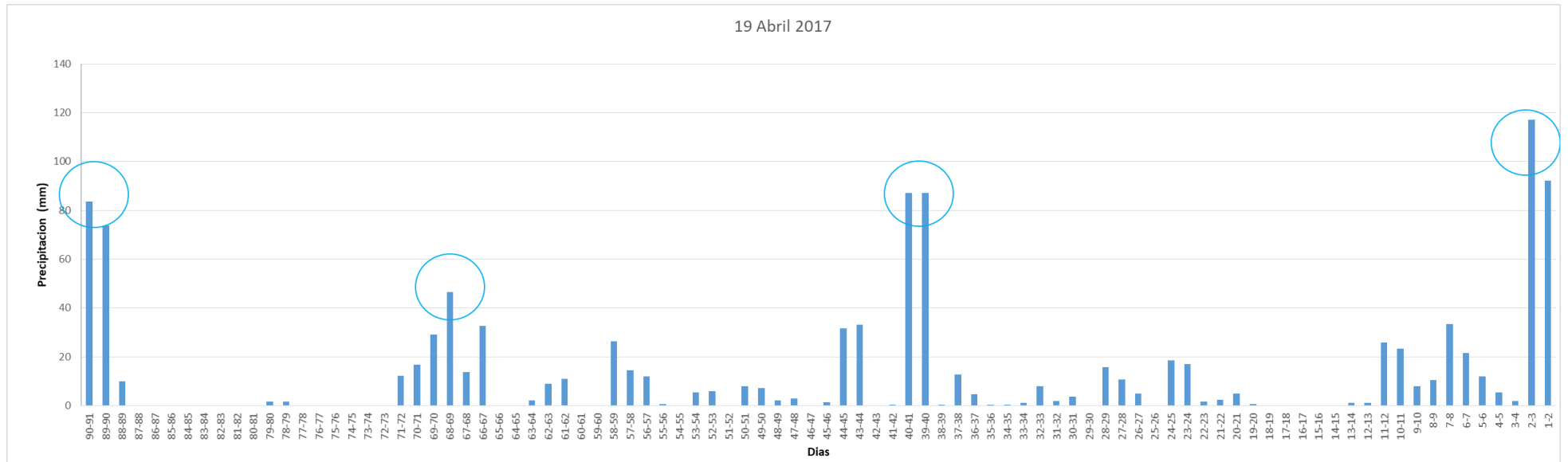
Gráfica 7-2: Lluvia precedente acumulada (mm) del día del evento a estudiar 30 días antes



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se tuvo en cuenta la diferencia de datos para sacar graficas de pendientes y evidenciar entre que días hubo una mayor precipitación y obtener picos más altos como se evidencia en la Gráfica 7-3 con los 90 días estudiados, de los cuales se pudo observar que presentan 4 grupos de diferencia de días de precipitaciones altas como lo muestra la Tabla 4 donde además se observa una diferencia de días entre cada grupo o entre cada pico más alto. Con esto se puede determinar un patrón el cual se va a tener en cuenta en la generación de alertas tempranas y analizar el comportamiento de la precipitación en la zona de estudio.

Gráfica 7-3: Diferencia de datos 90 días antes del evento a estudiar



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4: Diferencia de datos con precipitaciones altas en el evento a estudiar.

FECHA	GRUPO	DIAS	PRECIPITACIÓN (mm)	GRUPOS	DIAS DE DIFERENCIA
19-abr-17	1	90-91	83.6		
		89-90	73.8	1_2	21 días
	2	68-69	46.4	2_3	29 días
	3	39-40	87.2	3_4	39 días
		40-41	87		
	4	2-mar	117		
		1-feb	92		

Fuente: Elaboración Propia

En el Anexo D presentado adicional a este trabajo se evidencian un primer acercamiento al problema con un resultado el cual indica que todas las gráficas contienen información de los mismos 4 grupos con precipitaciones más altas resaltando que dos días antes de cada evento se presenta un dato de lluvia mucho más elevado a comparación de los otros días, sin embargo no se da a conocer que este haya sido el factor detonante del deslizamiento puesto que el análisis nos arrojó que la mayoría de estos eventos históricos cuentan con datos de precipitaciones elevadas precedentes mayores a 80mm a estas fechas como lo indica la Gráfica 7-3, por ende el causante detonador puede ser la cantidad de lluvia obtenida del día anterior al evento.

En el Anexo III se evidencian todos los grupos de patrones generados en las fechas históricas ya mencionadas en las cuales se observa que tienen un patrón similar en los días 1-2, 9-10, 27-28 y 32-33 por lo tanto, se puede obtener una condición de alertas las cuales van a favorecer a la comunidad de dicha zona. Cabe resaltar que en general, la lluvia acumulada de 10 días antes del evento aumenta significativamente esto puede dar a conocer un patrón a tener en cuenta en temporadas de lluvias.

8. METODOLOGIA PARA LA GENERACIÓN DE UMBRALES DE PRECIPITACIÓN PARA LA ZONA DE ESTUDIO

Para la generación de umbrales de precipitación se utilizó CHIRPS puesto que contiene datos que son favorables cuando no hay suficiente cobertura de estaciones hidrometeorológicas en tierra como es el caso de Manizales, siendo más completos y específicos en cada zona y representando mejor la lluvia en el área de estudio.

En el diagrama que se muestra a continuación se puede evidenciar todos los pasos realizados en la generación de los umbrales de precipitación con su respectiva explicación de acuerdo al procedimiento manejado.

METODOLOGIA PARA LA GENERACIÓN DE UMBRALES DE PRECIPITACIÓN PARA LA ZONA DE ESTUDIO

Investigación sobre fuentes de información sobre CHIRPS

Descarga de los Raster de precipitación de CHIRPS

Validación de información CHIRPS Vs IDEAM

Compilación de Raster cada mes en un periodo de tiempo de 1981-2017

Verificación estadísticas descriptivas en cada Raster

Compilación de Raster cada 10 días del mes en un periodo de tiempo de 1981-2017

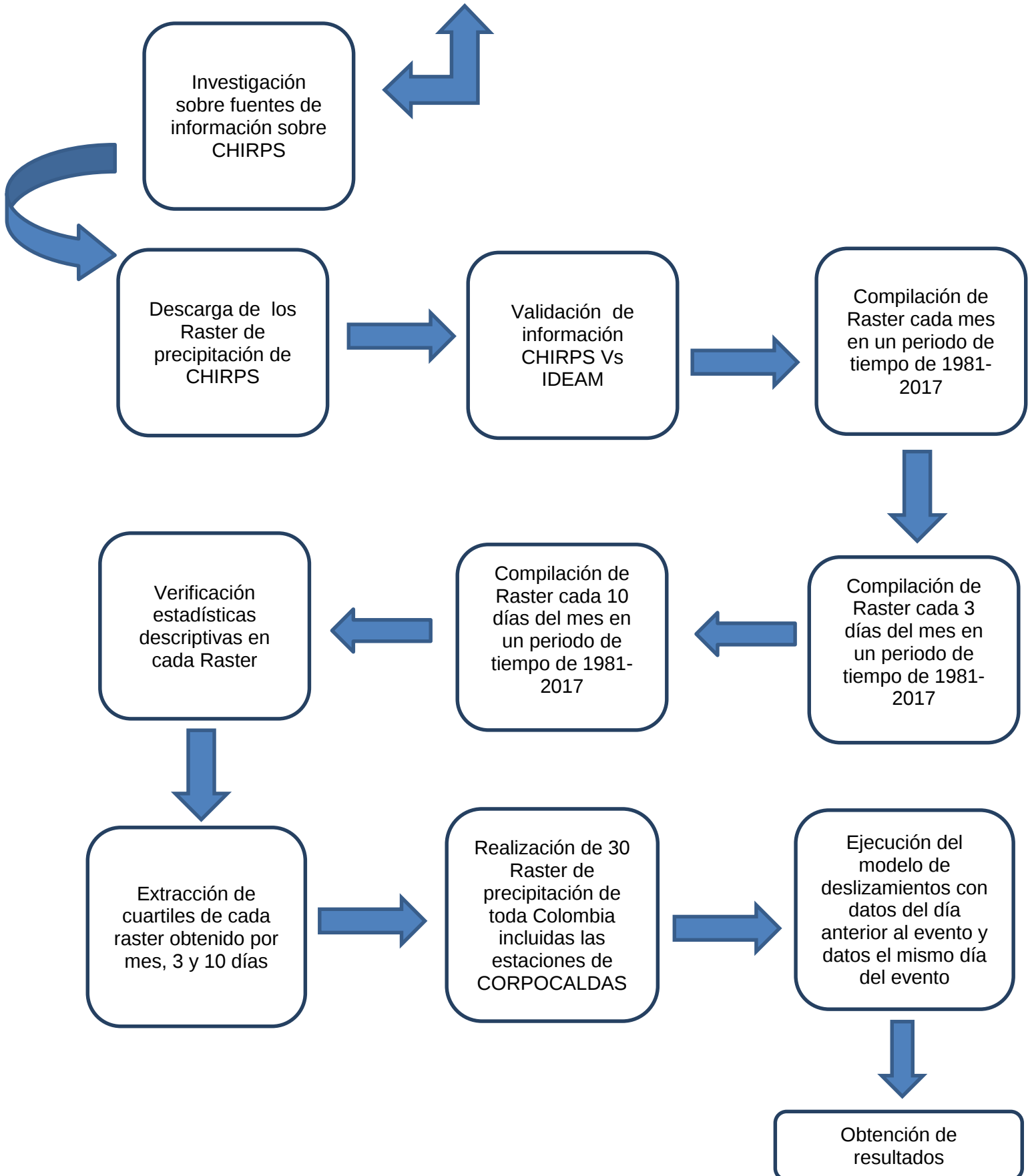
Compilación de Raster cada 3 días del mes en un periodo de tiempo de 1981-2017

Extracción de cuartiles de cada raster obtenido por mes, 3 y 10 días

Realización de 30 Raster de precipitación de toda Colombia incluidas las estaciones de CORPOCALDAS

Ejecución del modelo de deslizamientos con datos del día anterior al evento y datos el mismo día del evento

Obtención de resultados



8.1 CHIRPS

Como ya se mencionó anteriormente, CHIRPS es una base de datos de precipitación diaria, mensual, anual y decadal de más de 30 años comenzando desde el año 1981 hasta la fecha actual, el cual incorpora imágenes satelitales de resolución de 0.05°.

Las fuentes de datos utilizadas en la creación de CHIRPS fueron: CHPClim (Climate Hazards Precipitation Climatology); Infrarrojo (IR) térmico geoestacionario; TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) y Modelo atmosférico de campos de precipitación del sistema de predicción climático de la NOAA (CFSv2) [38]. En este estudio se tuvo en cuenta datos de precipitación diarios en un periodo de tiempo de 1981 a 2017 con el fin de obtener un valor de umbral de precipitación para poder modificar el modelo de deslizamientos utilizado en el IDEAM, el cual está basado en un Raster (matriz de celdas o píxeles en filas y columnas en la que cada celda refleja un valor) de precipitación acumulada los últimos 30 días, en el valor de precipitación del día actual y en una capa de susceptibilidad de amenaza por deslizamientos realizada en el departamento de geología de la entidad basado en la geología, geomorfología e información de suelos de toda Colombia. Adicionalmente estos archivos de CHIRPS van a generar una confiabilidad en los datos y en los pronósticos generados diariamente para todo el territorio Colombiano obtenidos por el modelo de deslizamientos de la entidad. La función principal de esta fuente es proporcionar los datos de precipitación diarios en todo el mundo para ser utilizado en ciertas zonas donde no se presentan estaciones hidrometeorológicas en terreno y obtener una continuidad en las bases de datos de precipitación.

8.1.1 Procesamiento de la Información.

Para obtener toda la información necesaria en cuanto a CHIRPS, se realizó una búsqueda de Raster o imágenes satelitales en la página oficial del mismo con datos diarios de precipitación en un periodo de tiempo de 1981 a 2017 el cual cuenta con una actualización de día meteorológico como ya se explicó anteriormente [39].

Para obtener todos estos archivos se realizó un código en R el cual es un lenguaje de programación dedicado a la computación estadística y gráficos en donde se especificó la ruta de los archivos y automáticamente descargó la información diaria, mensual de cada año realizando un corte delimitando la zona de estudio como se muestra en la Imagen 3.

Adicional a esto, se realizó una metodología para validar los datos de cada raster o cada archivo de CHIRPS con los datos de las estaciones del IDEAM.

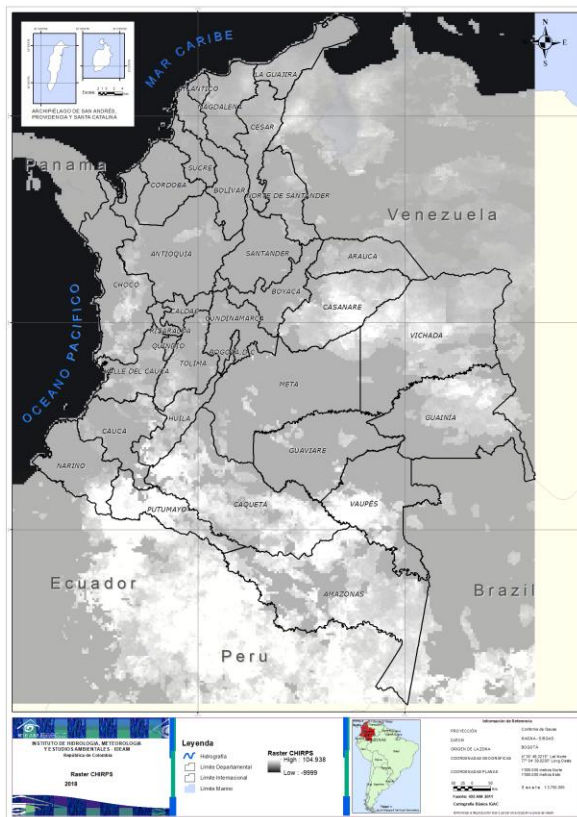
Las imágenes satelitales o raster se evidencian de la siguiente manera:

Imagen 3: Raster de precipitación obtenida de CHIRPS



Fuente: [39].

Ilustración 9: Raster CHIRPS visto desde el programa ArcMap



Fuente: Elaboración Propia.

8.1.1.1 Validación información de CHIRPS

Para validar la información de precipitación de los archivos de CHIRPS se realizó un tamaño de muestra la cual permite saber cuántos individuos son necesarios a estudiar, para poder estimar un parámetro determinado con el grado de confianza deseado, o el número necesario para poder detectar una determinada diferencia entre los grupos de estudio, suponiendo que existiese realmente [40].

En este caso se realizó con todas las fechas diarias obtenidas a partir de 1981 a 2017, con una ecuación establecida en donde se dio a conocer el tamaño de muestra teniendo en cuenta un 95% de nivel de confianza el cual es el porcentaje de una respuesta que se espera obtener con éxito, por lo tanto se determinó de esa manera puesto que dará una respuesta un poco más exacta y confiable. Además, se utilizó un 5% de error ya que entre más pequeño sea este, más cerca y confiable se obtendrá la respuesta correcta.

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2 N}\right)} \quad (7)$$

Donde:

N : Tamaño de la población

e : Margen de error (en decimales)

p : Nivel de confianza

z : La puntuación z es la cantidad de desviaciones estándar que una proporción determinada se aleja de la media

Para obtener el valor de Z se tuvo en cuenta la información de la Tabla 5, puesto que nos indica por medio del valor de nivel de confianza cual es la cantidad de desviaciones estándar con la información obtenida.

Tabla 5: Puntuación Z para obtener el tamaño de la muestra.

Nivel de confianza deseado	Puntuación z
80 %	1.28
85 %	1.44
90 %	1.65
95 %	1.96
99 %	2.58

Fuente: [41].

El tamaño de muestra para este ejercicio fue de 374 fechas según la ecuación ya mencionada anteriormente y con la herramienta Excel se realizó la función aleatoria la cual permitió extraer la cantidad necesaria de datos según ese valor del tamaño de la muestra para poder analizarlos y validarlos.

Por lo anterior, se realizó un código en Python al cual se le indico que extrajera la información de datos de precipitación diaria de las estaciones del IDEAM proporcionadas directamente por la entidad de las fechas escogidas por el tamaño de muestra, con el fin de obtener el valor exacto por día requerido y su respectiva estación meteorológica.

Adicional a esto, con los Raster de CHIRPS se realizó el mismo procedimiento con un código en R al cual se le indico que extrajera los datos de precipitación por fecha y por estación del IDEAM para generar un análisis entre ambas variables en donde se obtuvo la información resultado del proceso como la que se muestra de ejemplo en la siguiente tabla.

Tabla 6: Datos de CHIRPS y de IDEAM por fechas del tamaño de muestra (mm)

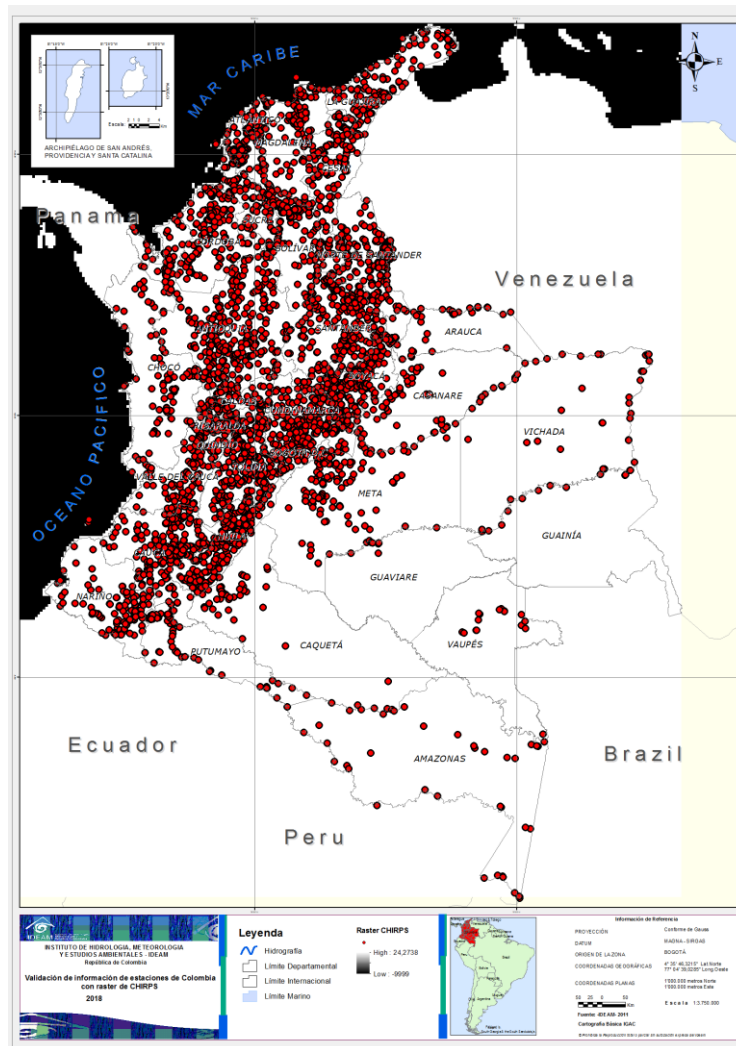
AÑO	MES	DIA	CODIGO_ESTACION	VALOR_CHIRPS	VALOR_ESTACION
1981	2	20	11010010	43.10424042	0
1981	2	20	11020010	19.35728264	6
1981	2	20	11020020	24.91425323	15
1981	2	20	11020050	44.56991959	35
1981	2	20	11025010	19.2753334	12.2
1981	2	20	11030010	34.92538071	60
1981	2	20	11030030	33.62179184	0
1981	2	20	11030040	40.87201309	0
1981	2	20	11035010	43.10424042	NA
1981	2	20	11035020	44.06609726	NA
1981	2	20	11040010	49.31985474	85

Fuente: Elaboración Propia

Para validar si los datos obtenidos de los códigos ya mencionados son correctos, se utilizó la herramienta ArcMap a la cual se le cargaron algunos raster de CHIRPS con las estaciones del IDEAM producto de un catálogo de información localizado en

la página web del mismo en donde se buscó una estación aleatoria y se identificó el valor de precipitación del pixel o celda del raster el cual debía coincidir con los resultados generados por el código como se mencionó anteriormente y de la misma manera con los datos de las estaciones como se evidencia en la Imagen 4.

Imagen 4: Validación de información estaciones con raster de CHIRPS



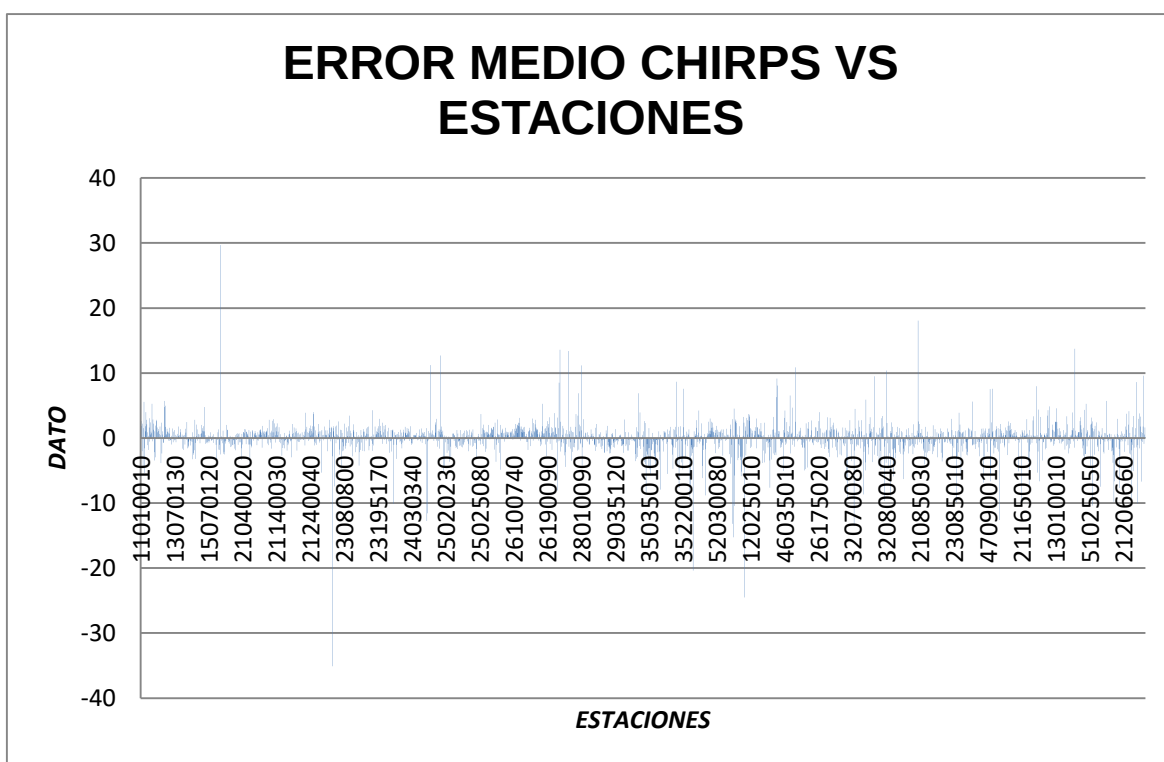
Fuente: Elaboración propia

Teniendo la información de precipitación diaria de CHIRPS y del IDEAM por las fechas obtenidas según el tamaño de muestra cómo se evidencia en Tabla 6, se realizó un análisis comparativo con métodos estadísticos para obtener los valores de medidas de errores, con el fin de validar los datos con las dos variables de precipitación. Dicho análisis se realizó por todas las estaciones empleadas en el número de muestra y en un periodo de tiempo de 1981 a 2017 como ya se mencionó anteriormente.

Las medidas de errores se determinaron a través del error medio el cual es la diferencia entre el valor real de la medida y el valor que se ha obtenido, en este caso sobre CHIRPS y los datos de las estaciones del IDEAM. Además, nos permite definir si los valores subestiman o sobreestiman entre sí, de acuerdo a los valores negativos o positivos obtenidos; este error nos permite determinar el promedio de los datos en cuanto a la diferencia de valores de la base de datos utilizada.

- **Análisis por Estaciones.**

Gráfica 8-1: Error Medio CHRPS VS ESTACIONES

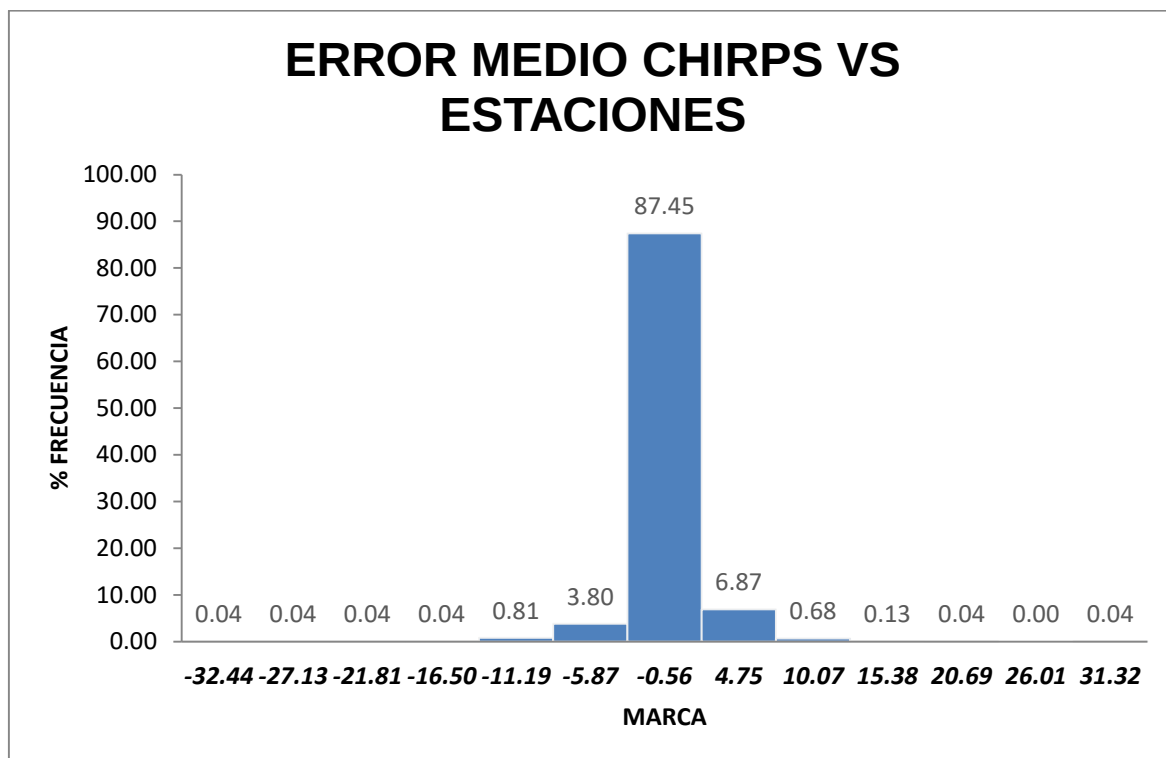


Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 8-1 podemos evidenciar que el promedio de los errores medios son muy cercanos a 0 lo cual nos indica que los valores de precipitación de CHIRPS y de las ESTACIONES se asemejan en gran medida. Adicional a esto en la Gráfica 8-2 se evidencia que 87.45% del promedio de error medio de los datos se encuentran en una marca de -0.56 la cual indica el valor medio de los intervalos [-3,22; 2,10).

Cabe mencionar que algunos datos son resultados negativos puesto que el valor de CHIRPS es menor que el de la estación y algunos datos dan positivos puesto que el valor de CHIRPS es mayor o casi igual al de la estación.

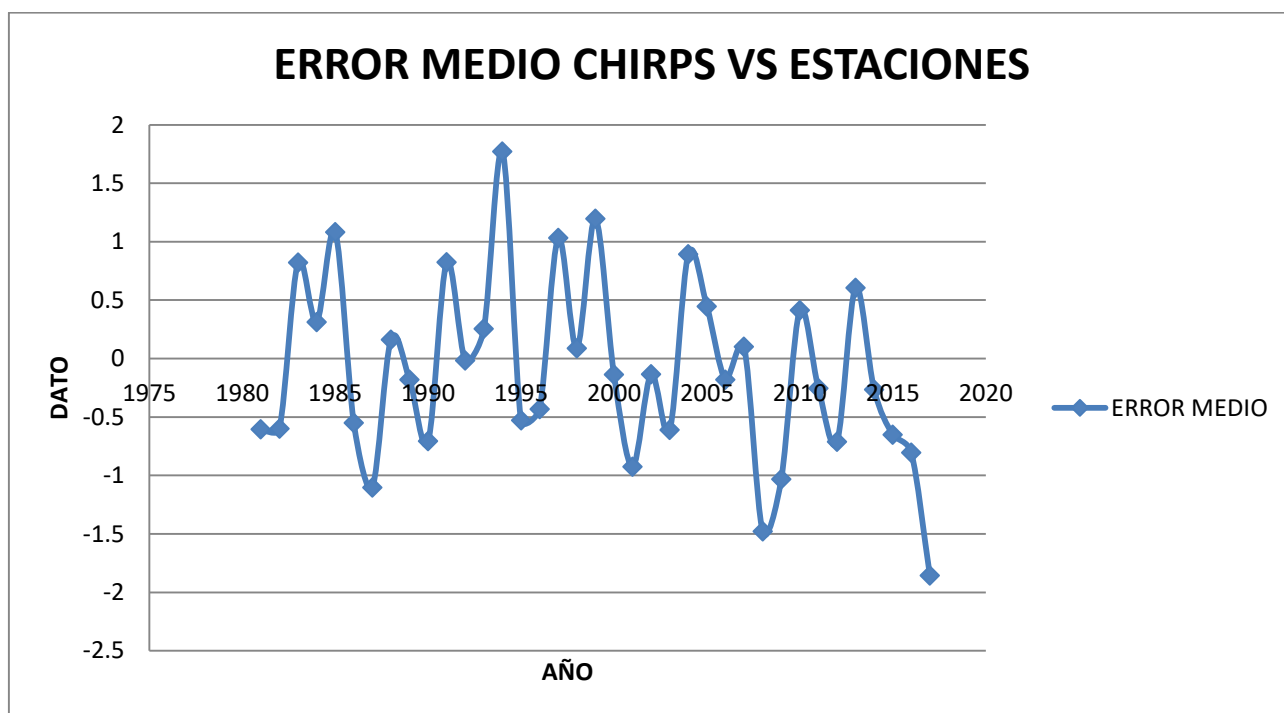
Gráfica 8-2: Histograma Error Medio CHIRPS VS ESTACIONES



Fuente: Elaboración propia

- **Análisis por Años.**

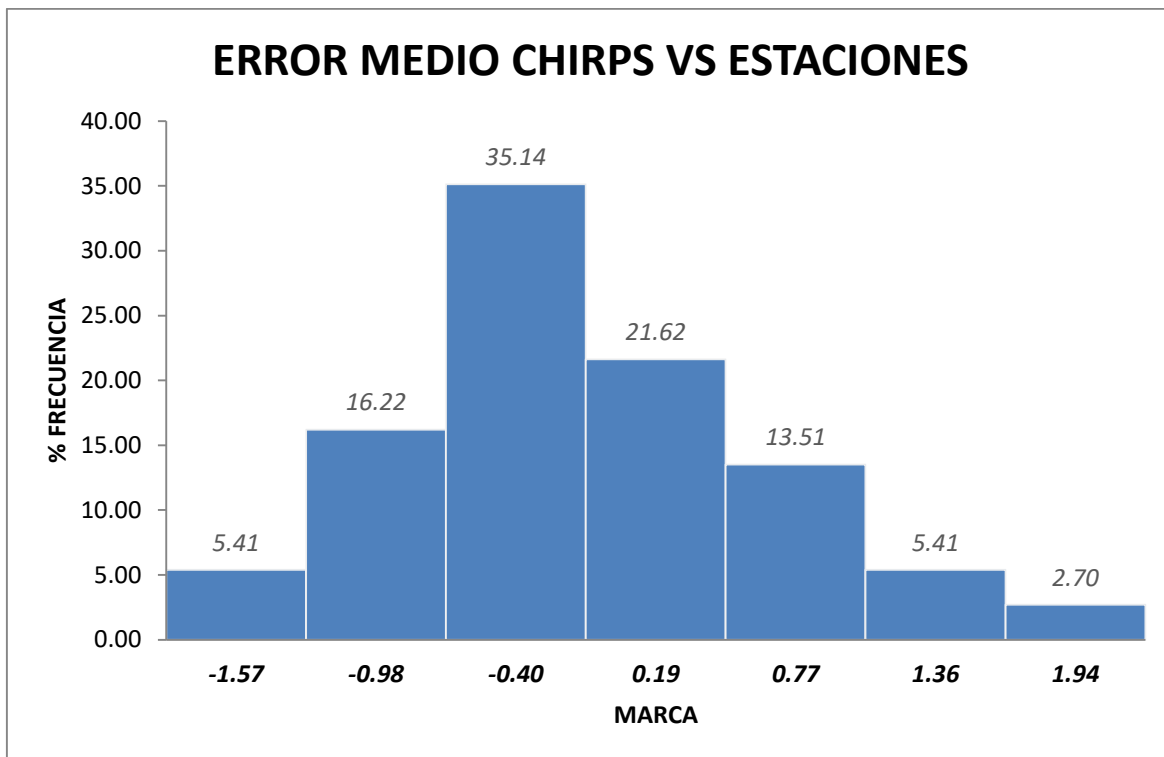
Gráfica 8-3: Error Medio CHIRPS VS ESTACIONES por años



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 8-3 se puede evidenciar el comportamiento del valor del error medio en cuanto a todos los años analizados, en la cual comprueba que el error es constante en el tiempo y muy cercano a 0 e indica un comportamiento aleatorio; esto genera un análisis bastante bueno para nuestros datos puesto que nos indica que los valores de precipitación entre si no están tan distanciados uno del otro. Además, se presenta la Gráfica 8-4 en donde se evidencia una prueba más de corroboración para nuestro análisis, lo cual nos indica que el 35,14% de todos los datos se encuentra en una marca de -0.40 entre un intervalo de $[-0.69; -0.10]$, con una gran cercanía a 0 en donde se presenta una buena aceptación entre los datos de precipitación de CHIRPS y las ESTACIONES.

Gráfica 8-4: Histograma Error Medio CHRIPS VS ESTACIONES por años



Fuente: Elaboración propia

Asimismo en el ANEXO E se presentan todos los histogramas de cada año (1981-2017) en donde se genera una acumulación de datos cercanos a 0 el cual indica nuevamente una certeza en los datos y nos confirma lo antes mencionado. Adicional a esto, se utilizó el Error Cuadrático Medio el cual se determina de la siguiente manera:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_t - F_t)^2} \quad (8)$$

Donde:

A_t : Dato de CHRIPS

F_t : Dato de la ESTACION

n : Cantidad de Datos

Con este procedimiento se pudo evidenciar que los valores obtenidos son positivos lo cual no es acertado para el análisis de los datos puesto que se necesita determinar qué valores son mayores, menores o iguales y este error no lo presenta.

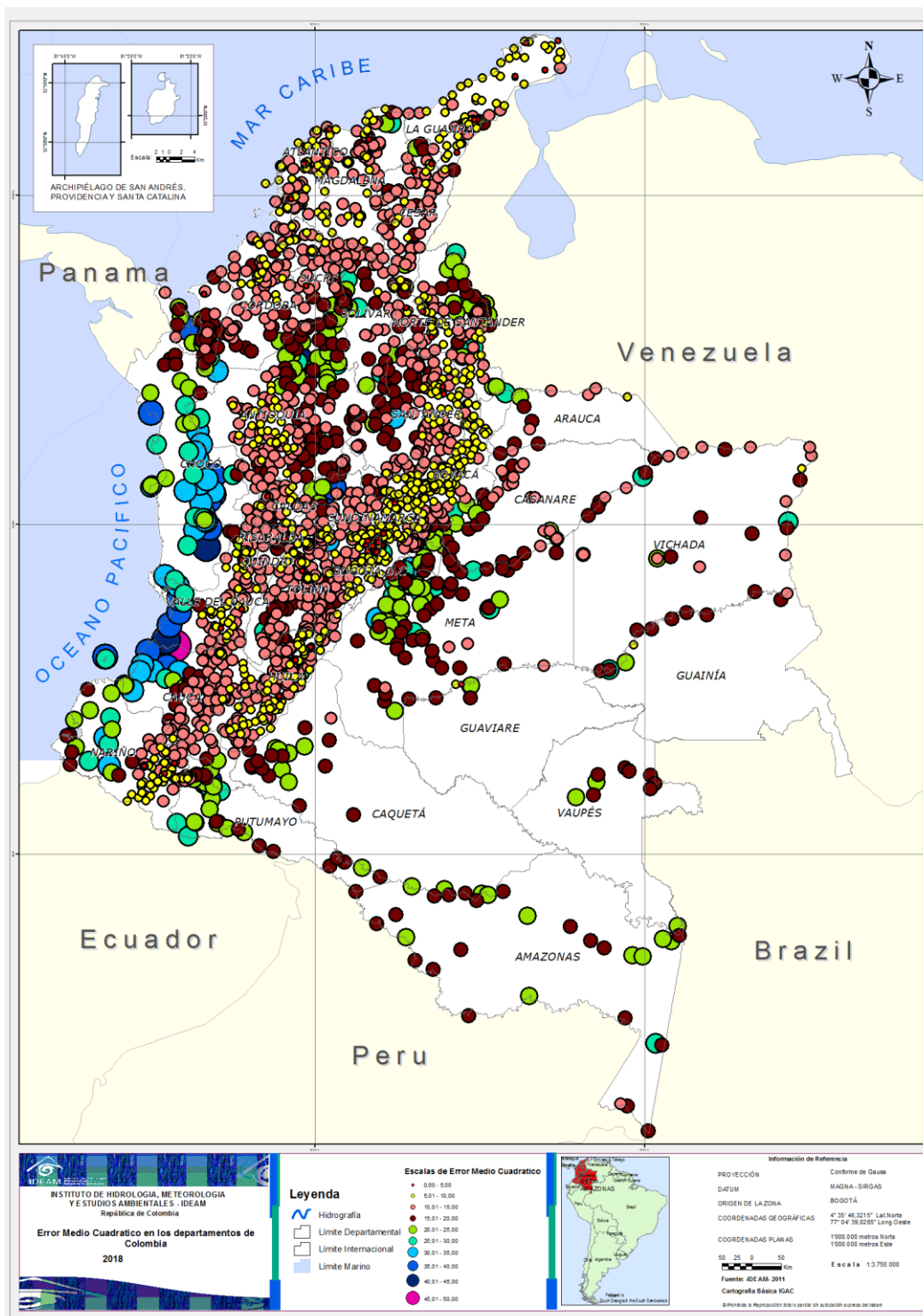


UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

Además, en este caso no tiene ninguna interpretación en cuanto a sus resultados y no es una medida exacta. Aunque no es acertado este error para nuestro análisis si fue una herramienta para determinar el comportamiento en las diferentes zonas del país puesto que en la costa pacífica representa valores altos en donde es correcta ya que en dicha zona los datos de precipitación son bastantes altos durante todo el año como se evidencia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Ilustración 10: Mapa Error Cuadrático Medio



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el documento “VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE PRECIPITACIÓN CHIRPS PARA COLOMBIA A ESCALA DIARIA, MENSUAL Y ANUAL EN EL PERIODO 1981-2014” [42]. Se da a conocer una evaluación de información diaria de precipitación utilizando datos de CHIRPS comparados con los datos del IDEAM con varias medidas de error en el cual se determinó que esta serie de valores o datos es confiable. Sin embargo, la información mensual y anual está un poco más suavizada por ende, los resultados son mucho mejor de lo que se espera.

8.1.2 Estadística Descriptiva.

Para la generación de los datos de los umbrales de precipitación se tuvo en cuenta estadísticas como lo son los cuartiles, los cuales son los tres valores (el primer cuartil en 25% Q1, el segundo cuartil en 50% Q2 o mediana y el tercer cuartil en 75% Q3) que dividen una muestra de datos ordenados en cuatro partes iguales. El primer cuartil es el percentil 25 e indica que 25% de los datos es menor que o igual a un valor establecido, la mediana es el punto medio del conjunto de datos y el tercer cuartil es el percentil 75 e indica que 75% de los datos es menor que o igual a cierto valor [43].

8.1.3 Generación de umbrales de precipitación.

Validada la información de CHIRPS se puede inferir que estos datos arrojan valores de precipitaciones diarias adecuadas, comparadas con las estaciones del IDEAM. Por consiguiente, la base de datos de CHIRPS es utilizada para la generación de umbrales de precipitación supliendo las falencias de las estaciones actuales.

En primera medida se realizó un código en R para adjuntar todos los raster de CHIRPS mensual multianual y obtener las estadísticas (Cuartil 50% y Cuartil 75%) por cada uno. Además, se tuvo en cuenta la misma metodología para obtener raster acumulados cada 3 y 10 días en el mes, siendo éste el requerimiento del modelo de deslizamientos para generar una probabilidad de ocurrencia.

Por otro lado, en el programa Arcgis se utilizaron los raster obtenidos del mes de abril, donde se generó el evento a estudiar, cargando la información del mes mencionado, de los 3 y los 10 días para determinar el valor generado por el cuartil 50 y el cuartil 75 de cada uno en la zona de estudio, con el fin de encontrar el umbral adecuado y modificar el modelo de deslizamientos utilizado en la entidad. Cabe resaltar que el modelo se ejecutó con 30 raster generados con datos de precipitación de toda Colombia incluyendo las estaciones de CORPOCALDAS 30 días antes del evento a estudiar y otro modelo incluyendo el dato del día del evento puesto que este necesita toda la información de lluvia antecedente.

Cabe mencionar que el modelo de deslizamientos funciona por medio de un Script en donde se pueden modificar los datos de los umbrales de acuerdo a las pruebas que se realicen en la entidad; es un modelo que se puede utilizar en cualquier

computador teniendo en cuenta el programa Rstudio y la información necesaria para obtener resultados en cuanto a la probabilidad de ocurrencia a deslizamientos.

9. RESULTADOS

Los umbrales obtenidos por medio de las estadísticas (Cuartil 50 y Cuartil 75) se presentan en la Tabla 7 en donde se evidencia un cambio significativo en comparación a los umbrales que el modelo de deslizamientos utiliza diariamente y en la Tabla 8 se presenta la clasificación según los intervalos establecidos por la entidad para obtener algún tipo de alerta en cuanto a una amenaza o probabilidad de ocurrencia a alguna.

Tabla 7: Datos umbrales

LLUVIA DE	LLUVIA UMBRAL
Umbrales Actuales	
Ultimo día	Mayor o igual a 40 mm
Últimos tres días	Mayor o igual a 80 mm
Últimos diez días	Mayor o igual a 200 mm
Umbrales al Q50	
Ultimo día	Mayor o igual a 8 mm
Últimos tres días	Mayor o igual a 23 mm
Últimos diez días	Mayor o igual a 76 mm
Umbrales Q75	
Ultimo día	Mayor o igual a 11 mm
Últimos tres días	Mayor o igual a 29 mm
Últimos diez días	Mayor o igual a 88 mm

Fuente: Elaboración propia

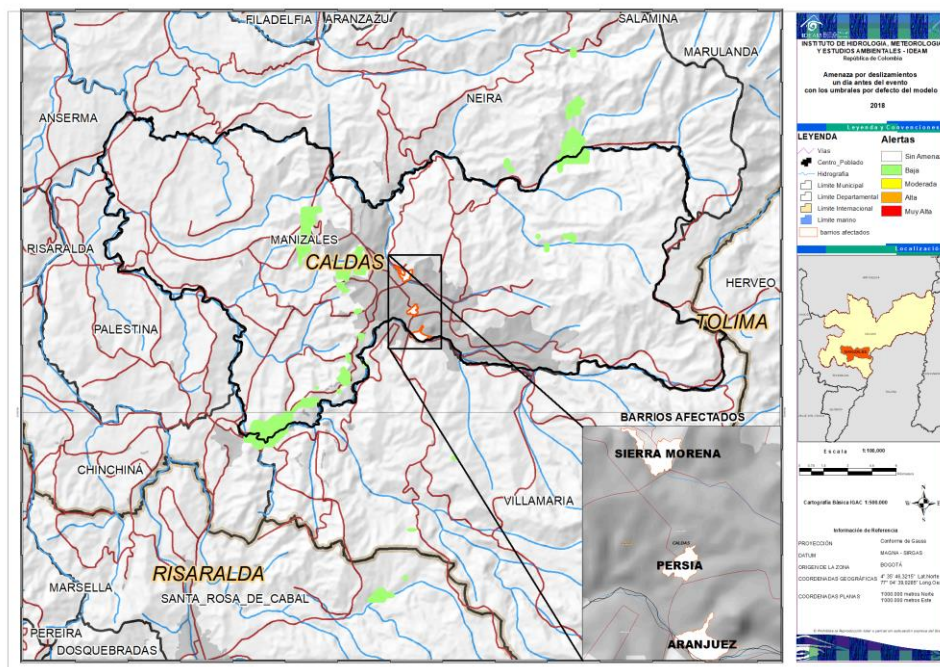
Tabla 8: Clasificación según intervalos en el modelo de deslizamientos

Intervalo	Valor	Icono
35 - 40	Baja	
40 - 50	Moderada	
50 - 70	Alta	
70 - 100	Muy Alta	

Fuente: IDEAM

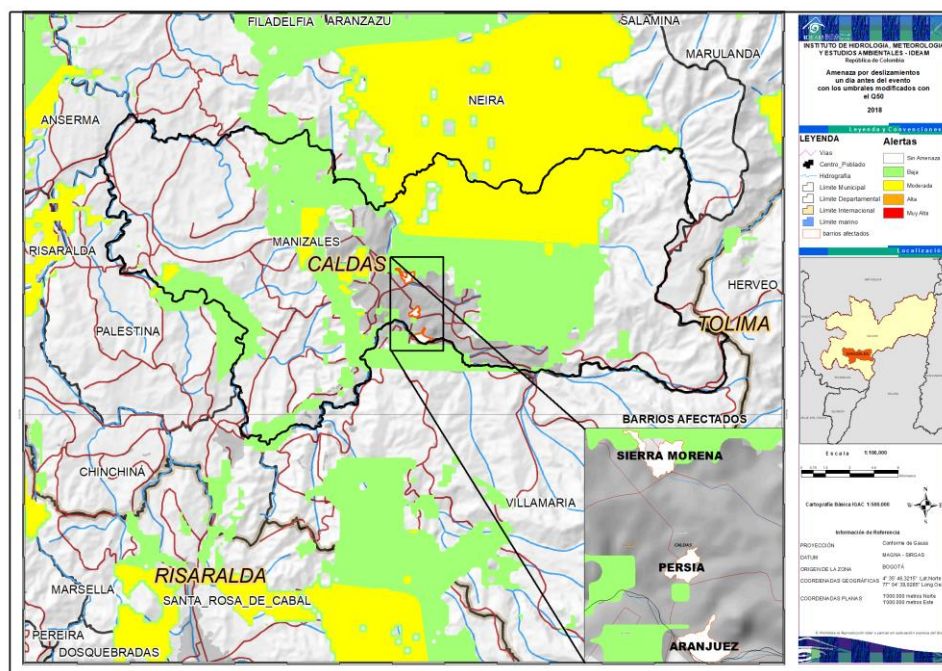
- **UN DIA ANTES DEL EVENTO.**

Ilustración 11: Amenaza por deslizamientos un día antes con los umbrales actuales



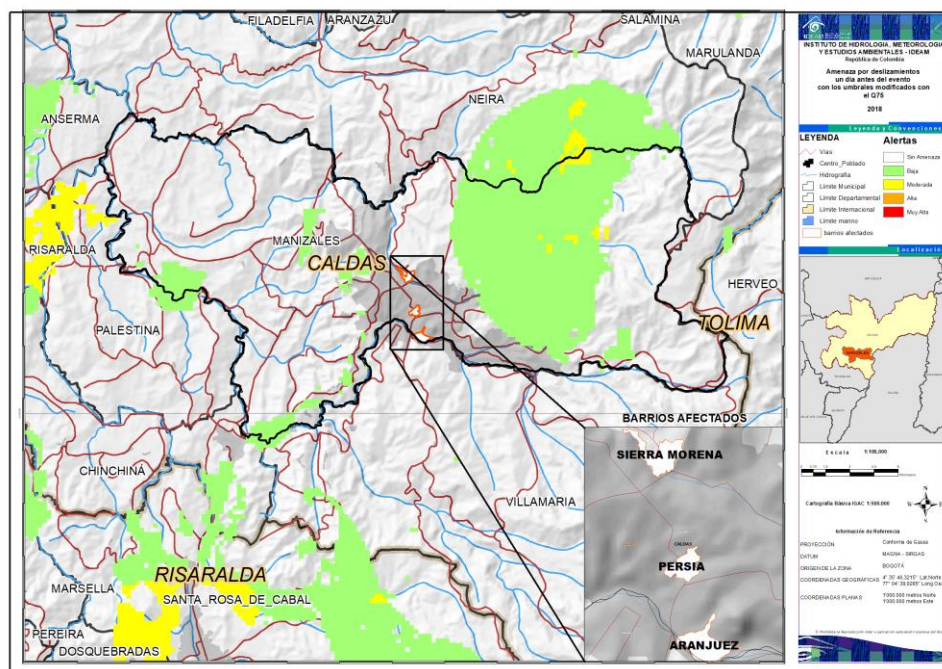
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12: Amenaza por deslizamientos un día antes con los umbrales al Q50



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13: Amenaza por deslizamientos un día antes con los umbrales al Q75



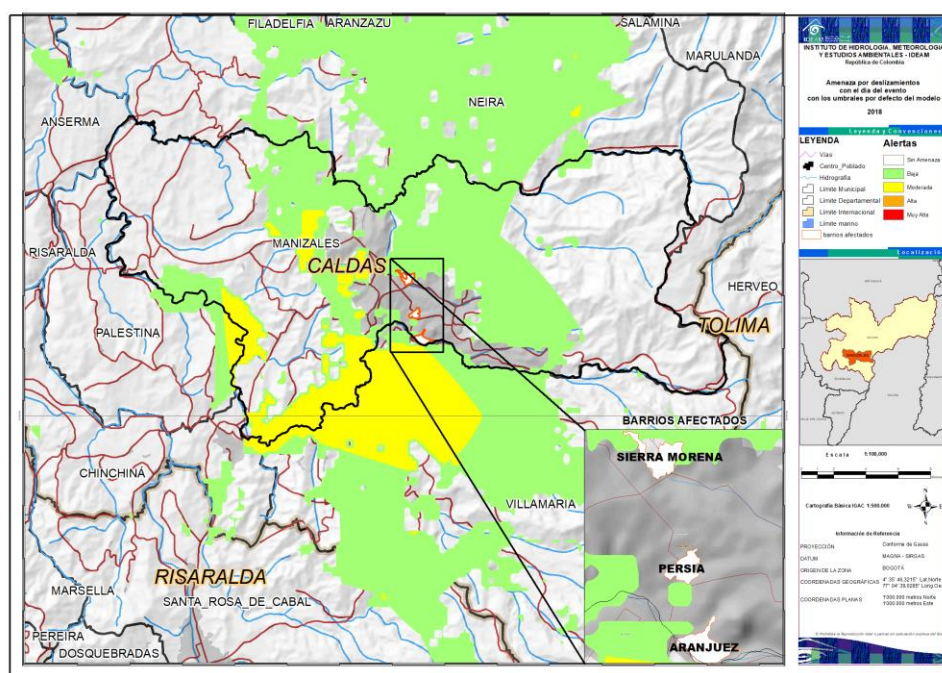
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los mapas presentados anteriormente se evidencia que los umbrales utilizados por el modelo actual en la entidad, no presentaron ningún tipo de amenaza o probabilidad de ocurrencia ante un deslizamiento en la zona de estudio teniendo en cuenta que al día siguiente se presentó el evento. Además, se puede evidenciar que los umbrales modificados de acuerdo a todo el análisis realizado si se presenta una amenaza baja y moderada por ende, con estos valores si se hubiese alertado a la población antes de que se produjese este evento.

Cabe resaltar que la entidad genera alertas no solamente con el modelo de deslizamientos sino con información adicional no obstante en dicha fecha se generó una alerta baja lo cual no fue suficiente para los tomadores de decisiones en la zona en donde ocurrió el evento.

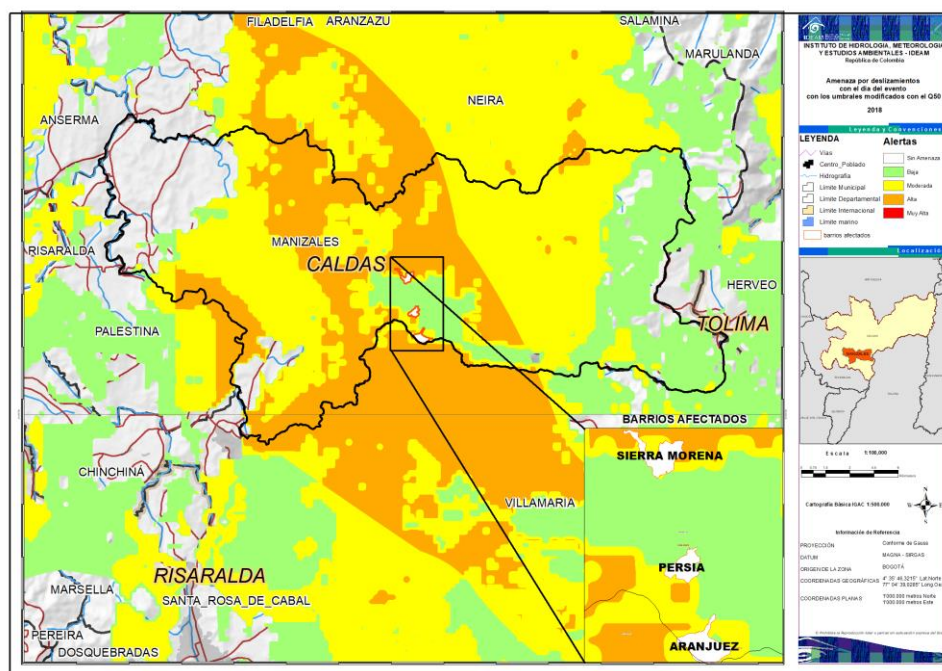
- **CON EL DIA DEL EVENTO.**

Ilustración 14: Amenaza por deslizamientos el día del evento con los umbrales actuales



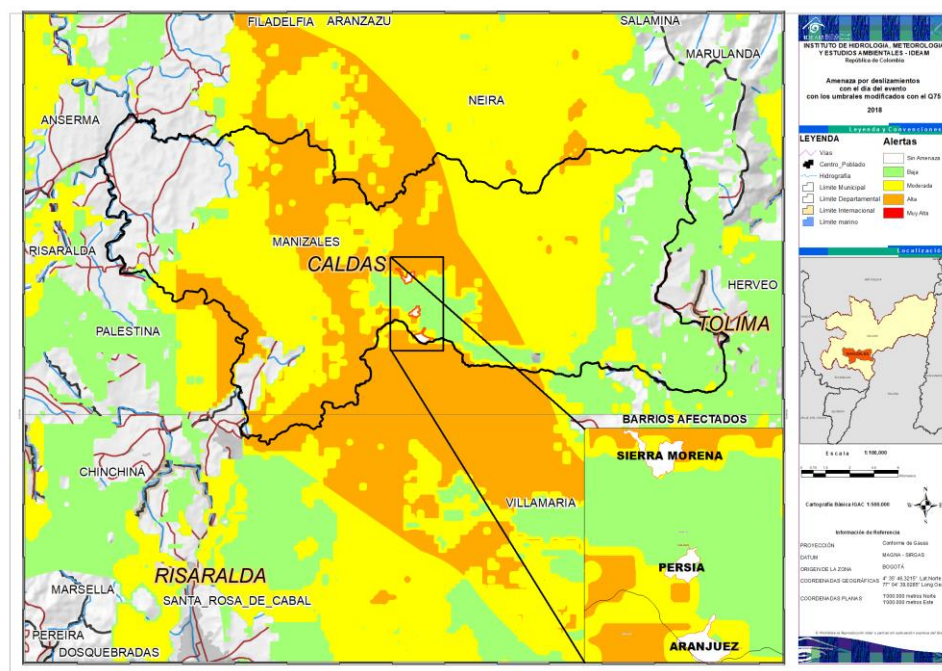
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 15: Amenaza por deslizamientos el día del evento con los umbrales al Q50



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 16: Amenaza por deslizamientos el día del evento con los umbrales al Q75



Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

En el caso de los mapas presentados anteriormente si se produce una amenaza o una probabilidad de ocurrencia ante un deslizamiento sin embargo, cabe resaltar que este se genera con el dato de precipitación del día del evento por ende, los valores aumentan y la entidad decide mantener una alerta alta después de lo ocurrido, a pesar de ello no se considera una alerta temprana puesto que el evento ya se había presentado en la zona de estudio. Además, los umbrales modificados si evidencian una probabilidad de ocurrencia y se puede tener en cuenta para la generación de alertas tempranas.

Por último, los umbrales modificados si presentan registros de una probabilidad de ocurrencia ante un deslizamiento ya que se tiene en cuenta información de las imágenes satelitales CHIRPS validadas con los datos de precipitación de las estaciones del IDEAM, esto va a generar una mejor herramienta en cuanto a la modificación del modelo de deslizamientos utilizado todos los días en la entidad para toda Colombia y además será de gran utilidad para la generación de alertas tempranas y favorecer a la población y a los tomadores de decisiones.



10. CONCLUSIONES

- Se analizó toda la información de precipitación de las bases de datos de CORPOCALDAS e IDEAM en la ciudad de Manizales la cual fue fundamental para la generación de mecanismos requeridos para el estudio en donde se concluyó que la lluvia antecedente influye en gran medida en la ocurrencia de deslizamientos por su incidencia en el terreno.
- Se realizaron mapas de precipitación y diagramas, los cuales evidenciaron comportamientos definidos por dos periodos de tiempo con mayores precipitaciones y otros dos periodos con menores precipitaciones en la zona de estudio
- Se estableció un umbral específico el cual va a modificar el modelo de deslizamiento desarrollado directamente en el IDEAM el cual se genera todos los días en la entidad por medio de una capa de susceptibilidad, datos de precipitación 30 días antes y se tiene en cuenta el valor de precipitación de día meteorológico de todas las estaciones del país para generar una probabilidad de ocurrencia ante un deslizamiento y brindar la información necesaria por medio de alertas puesto que este tiene algunos contratiempos en las condiciones de lluvia en la zona de estudio.
- Se obtuvo una confiabilidad en los datos de CHIRPS al ser comparados con los datos de precipitación de las estaciones del IDEAM por medio de métodos estadísticos los cuales son aceptados y avalados. Por lo tanto, son recomendables y útiles en zonas donde no se presentan estaciones hidrometeorológicas.
- Se generó una modificación en una herramienta utilizada por la entidad para la obtención de alertas tempranas producidas por el IDEAM en cuanto a la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento que será útil para los tomadores de decisiones.
- Con los umbrales de precipitación obtenidos se logra un mejor resultado en cuanto a la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento y en la generación de alertas tempranas.
- CHIRPS es útil en cuanto a los datos de precipitación diarios en donde no hay estación hidrometeorológica en el terreno a evaluar.
- CHIRPS es una buena base de datos en cuanto a los valores de precipitación de la zona de estudio ya que capta los datos por medio de satélites, los cuales fueron avalados con las estaciones hidrometeorológicas de la zona. Además, los datos son diarios, mensuales, anuales, decadales y demás. Por ende, es una buena fuente de información que puede usarse para obtener buenos productos dentro de la entidad.
- Los Hovmöller son una buena herramienta para identificar los días de lluvia y no lluvia en un tiempo futuro teniendo en cuenta lluvia antecedente de la zona de estudio.

11. RECOMENDACIONES

- Mejorar los umbrales de precipitación con la fuente de CHIRPS para todo el país en el modelo de deslizamientos ya que son recomendables donde no se encuentran estaciones hidrometeorológicas con el fin de generar alertas tempranas en cuanto a la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento puesto que la base de datos de precipitación obtenida por CHIRPS es más completa y más eficaz donde no se encuentran estaciones hidrometeorológicas.
- Tener más control en cuanto a los datos diarios de precipitación de las estaciones de CORPOCALDAS ya que en algunas estaciones los datos son erróneos puesto que son valores bastantes altos en comparación con los demás y algunos datos están mal escritos, por lo tanto, afecta a la generación de productos que utilicen esta información.
- Realizar un convenio con CORPOCALDAS para poder obtener información de datos de precipitación diaria y poderlos utilizar en el modelo de deslizamientos.
- Se debe tener un patrón en la captación de datos de las estaciones de CORPOCALDAS para tener una base de datos completa y más uniforme.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1 W. M. Organization, «World Meteorological Organization,» 2018. [En línea]. Available:
] <http://youth.wmo.int/es/clima>. [Último acceso: 4 marzo 2018].

- [2] CIIFEN, «Variabilidad Climática y Extremos,» 2017. [En línea]. Available:
] http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=573:variabilidad-climatica-y-extremos&catid=98&Itemid=131&lang=es. [Último acceso: 4 marzo 2018].
- [3] IDEAM, «Tiempo y Clima,» 2018. [En línea]. Available:
] <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/tiempo-clima>. [Último acceso: 4 marzo 2018].
- [4] C. Arango , J. Dorado, D. Guzman y J. Ruiz , «VARIABILIDAD CLIMATICA DE LA PRECIPITACION EN COLOMBIA ASOCIADA AL CICLO EL NIÑO, LA NIÑA- OSCILACION DEL SUR (ENSO),» IDEAM.
- [5] M. y. e. a. (. Instituto de Hidrologia, «Instituto de Hidrologia, Meteorologia y estudios ambientales (IDEAM),» 2014. [En línea]. Available:
] <http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>. [Último acceso: 29 mayo 2018].
- [6] I. IDEAM, «IDEAM,» 2014. [En línea]. Available:
] <http://sgi.ideam.gov.co/web/intranet/quienes-somos>. [Último acceso: 29 mayo 2018].
- [7] N. Unidas, CEPAL y BID, Valoración de daños y perdidas Ola invernal en Colombia 2010-2011, Bogotá: CEPAL, 2013.
- [8] R. M. Marquez, «Determinacion de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia,» IDEAM, Bogotá, 2003.
- [9] WMO, «World Meteorological Organization,» 2017. [En línea]. Available:
] <http://wmo.multitransms.com/MultiTransWeb/Web.mvc>. [Último acceso: 28 mayo 2018].
- [1] IDEAM, 2014. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/seguimiento-tiempo>. [Último acceso: 28 mayo 2018].
- [1] W. M. Organization, «World Meteorological Organization,» 2018. [En línea]. Available:
1] <http://youth.wmo.int/es/clima>. [Último acceso: 28 mayo 2018].
- [1] U. d. Salamanca, «Precipitaciones,» España, 2008.
2]
- [1] OMM, «World Meteorological Organization,» 2017. [En línea]. Available:
3] <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php>. [Último acceso: 4 marzo 2018].
- [1] IPCC, «EXTREME, MANAGING THE RISKS OF EXTREME EVENTS AND DISASTERS TO ADVANCE CLIMATE CHANGE ADAPTATION,» 2012. [En línea]. Available:
4] https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf. [Último acceso: 28 mayo 2018].
- [1] O. Ocampo, «El cambio climático y su impacto en el agro Climate Change and its Impact on the Agriculture,» 2011. [En línea]. Available:
5] <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n33/n33a12.pdf>. [Último acceso: 28 mayo 2018].

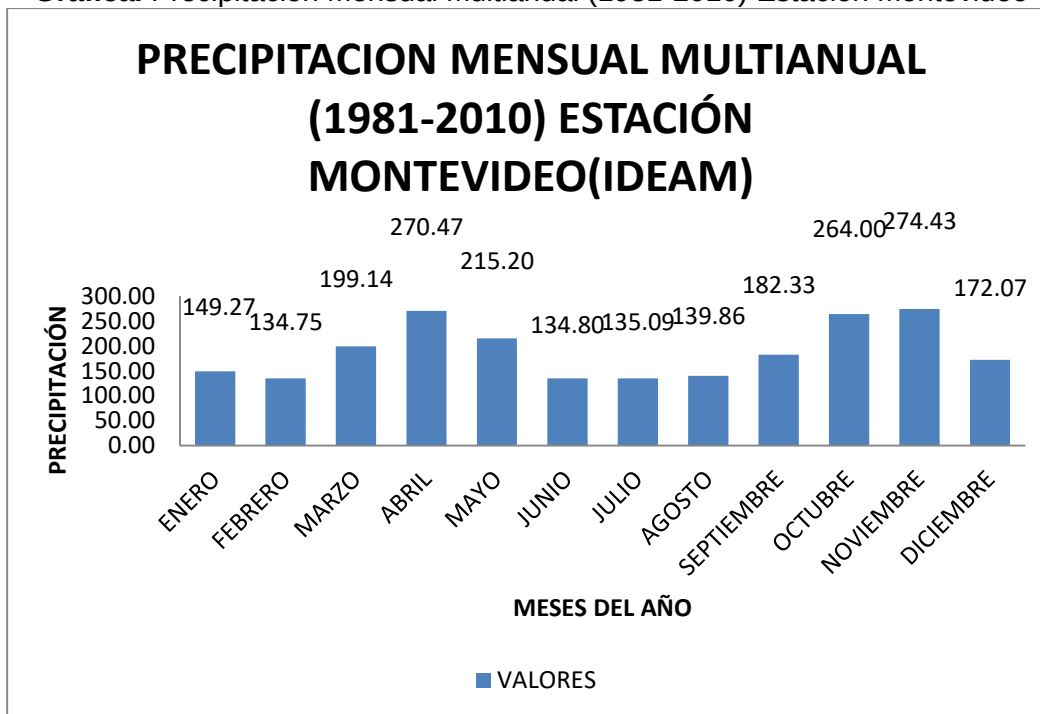
- [1 B. I. D. DESARROLLO, «PROGRAMA DE INFORMACIÓN E INDICADORES DE GESTIÓN DE
6] RIESGOS,» Manizales, 2012.
- [1 D. Calderon Ramirez y F. Klaus, «El ordenamiento territorial para la gestión del riesgo
7] de desastres en Colombia,» Bogotá, 2017.
- [1 UNAM, «Ley General de Protección Civil,» 6 Junio 2012. [En línea]. Available:
8] <https://www.juridicas.unam.mx/legislacion/ordenamiento/ley-general-de-proteccion-civil>. [Último acceso: 28 mayo 2018].
- [1 UNGRD, «Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres,»
9] 2018. [En línea]. Available: <http://gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=140>. [Último acceso: 20 Marzo 2018].
- [2 F. Guzzetti, S. Peruccacci y M. Rossi, «RAINFALL THRESHOLDS FOR THE INITIATION OF
0] LANDSLIDES IN CENTRAL AND SOUTHERN EUROPE,» Columbia University, Italy.
- [2 NOAA, «Hovmöller Diagram: A climate scientist's best friend,» 2018. [En línea].
1] Available: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/hovm%C3%B6ller-diagram-climate-scientist%E2%80%99s-best-friend>. [Último acceso: 30 mayo 2018].
- [2 C. H. GROUP, «CHIRPS,» 2018. [En línea]. Available:
2] <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/>. [Último acceso: 20 julio 2018].
- [2 S. G. Colombiano, «Guía Metodologica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y
3] riesgo por movimiento de masa,» Bogotá, 2016.
- [2 IDEAM y PNUD, «Evolucion de precipitacion y temperatura durante los fenomenos el
4] niño y la niña en Bogota- Cundinamarca (1951-2012),» 2014.
- [2 T. Colombia, «Departamento de Caldas,» 2015. [En línea]. Available:
5] <http://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/caldas.html#sup>. [Último acceso: 4 marzo 2018].
- [2 I. y. T. Ministerio de Comercio, «Departamento de Caldas,» 2012. [En línea]. Available:
6] <http://www.aplicaciones-mcit.gov.co/colombiaprospira/wp-content/uploads/2012/09/caldas.pdf>. [Último acceso: 29 mayo 2018].
- [2 A. d. Manizales, «Aguas de Manizales,» 2017. [En línea]. Available:
7] <http://www.aguasdemanizales.com.co/Ambiental/FloraFauna#>. [Último acceso: 29 mayo 2018].
- [2 S. G. Colombiano, «Atlas Geologico de Colombia 2015 escala 1:500000,» 2018. [En
8] línea]. Available: http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Atlas_Geologico_Colombia_2015/. [Último acceso: 1 junio 2018].
- [2 P. D. O. T. D. MANIZALES, «PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE MANIZALES
9] DIAGNOSTICO INTEGRAL DEL TERRITORIO AREA URBANA,» [En línea]. Available: <http://www.manizales.gov.co/RecursosAlcaldia/201505201526027723.pdf>. [Último acceso: 6 junio 2018].

- [3 G. d. Caldas, «Economía de Caldas,» 2018. [En línea]. Available:
0] <https://caldas.gov.co/index.php/portfolio-2/informacion-general/economia>. [Último acceso: 23 junio 2018].
- [3 U. D. p. l. G. d. R. d. Desastres y G. d. caldas, «PLAN DEPARTAMENTAL DE GESTIÓN DEL
1] RIESGO DEL DEPARTAMENTO,» 2017. [En línea]. Available:
<http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/22558/Plan%20departamental%20gestion%20dle%20riesgo%202017%20-caldas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 5 marzo 2018].
- [3 D. Guzman y J. Ruiz, «REGIONALIZACIÓN DE COLOMBIA SEGÚN LA ESTACIONALIDAD
2] DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, A TRAVÉS ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP),» IDEAM, 2014.
- [3 J. Suarez, «Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo,» [En línea]. Available:
3] file:///C:/Users/SIPROT/Downloads/librodeslizamientosti_cap13.pdf. [Último acceso: 14 junio 2018].
- [3 A. Desktop, «Arcgis Pro,» 2018. [En línea]. Available: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/surface-slope.htm>. [Último acceso: 25 junio 2018].
- [3 G. S. d. l. G.-. P. M. Geografica, «Geoportal Alcaldía de Manizales,» 2018. [En línea].
5] Available: <https://geodata-manizales-sigalcmzl.opendata.arcgis.com/datasets/infraestructura-verde-urbana-%C3%A1rboles/data>. [Último acceso: 3 julio 2018].
- [3 A. Santos, A. Vargas, E. Cardenas y N. Obregon, «ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN E
6] INTERPOLACIÓN ESPACIAL DE LAS LLUVIAS EN BOGOTÁ, COLOMBIA,» Bogotá, 2011.
- [3 A. P. Cardona, «Revista Semana Sostenible,» 2017. [En línea]. Available:
7] <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/manizales-se-salvo-de-una-tragedia-peor-que-la-de-mocoa-asi/37596>. [Último acceso: 5 marzo 2018].
- [3 V. Urrea, A. Ochoa y O. Mesa, «Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS
8] para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el período 1981- 2014,» Medellín, Colombia, 2016.
- [3 CHIRPS, «CHIRPS,» 2018. [En línea]. Available:
9] ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/whem_daily/tifs/p25/1981/. [Último acceso: 28 Junio 2018].
- [4 J. AntonioGarcía-García, «Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en
0] educación médica,» *Investigacion en Educacion Media*, vol. 2, pp. 217-224, 2013.
- [4 SurveyMonkey, «SurveyMonkey,» 2018. [En línea]. Available:
1] <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>. [Último acceso: 20 junio 2018].
- [4 O. Mesa, A. Ochoa y V. Urrea, «VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE PRECIPITACIÓN
2] CHIRPS PARA COLOMBIA A ESCALA DIARIA, MENSUAL Y ANUAL EN EL PERIODO 1981- 2014,» Medellín, 2016.

- [4] Minitab, «Soporte Minitab,» 2018. [En línea]. Available:
- 3] <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/display-descriptive-statistics/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/#q1>. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [4] U. d. C. Rica, «¿Qué son los deslizamientos?,» 14 diciembre 2014. [En línea]. Available:
- 4] <http://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/2330-que-son-los-deslizamientos>. [Último acceso: 28 mayo 2018].
- [4] C. Dawson, A. R.J. y S. L.M., «HydroTest: A web-based toolbox of evaluation metrics
- 5] for the standardised assessment of hydrological forecasts,» *ScienceDirect* , pp. 1034 - 1052, 2006.



Grafica. Precipitación Mensual Multianual (1981-2010) Estación Montevideo

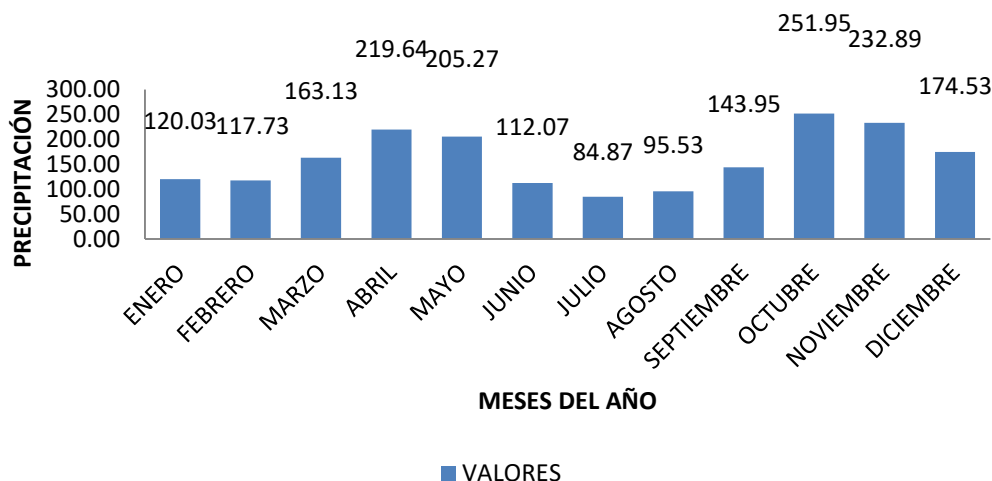


Fuente: Elaboración Propia

Grafica. Precipitación Mensual Multianual (1981-2010) Estación San Cancio Planta



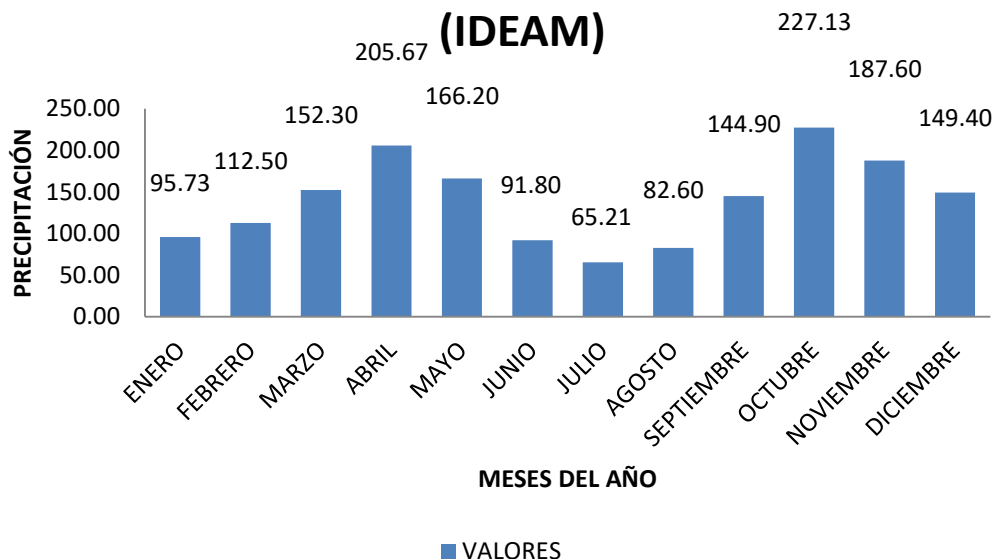
PRECIPITACION MENSUAL MULTIANUAL (1981-2010) ESTACIÓN SAN CANCIO PLANTA (IDEAM)



Fuente: Elaboración Propia

Grafica. Precipitación Mensual Multianual (1981-2010) Estación Sub Alta Suiza

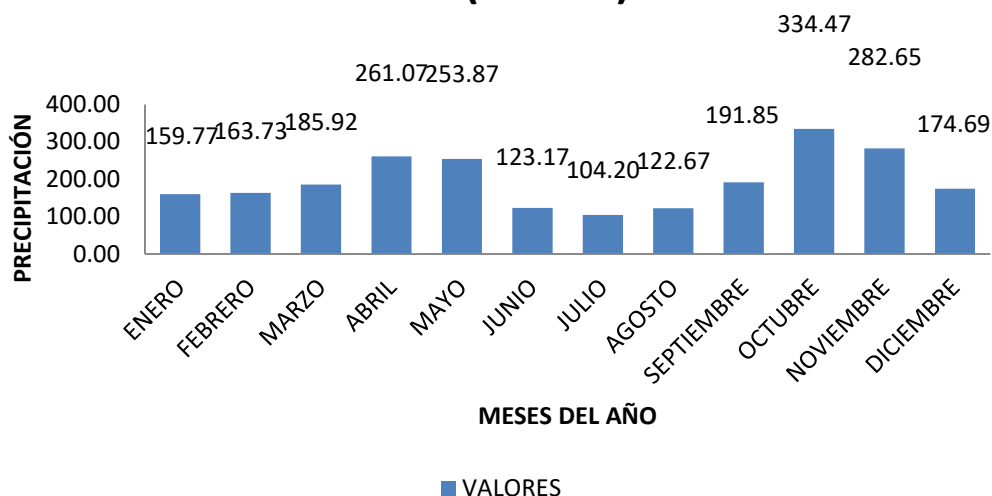
PRECIPITACION MENSUAL MULTIANUAL (1981-2010) ESTACIÓN SUB ALTA SUIZA (IDEAM)



Fuente: Elaboración Propia

Grafica. Precipitación Mensual Multianual (1981-2010) Estación Sub Chipre

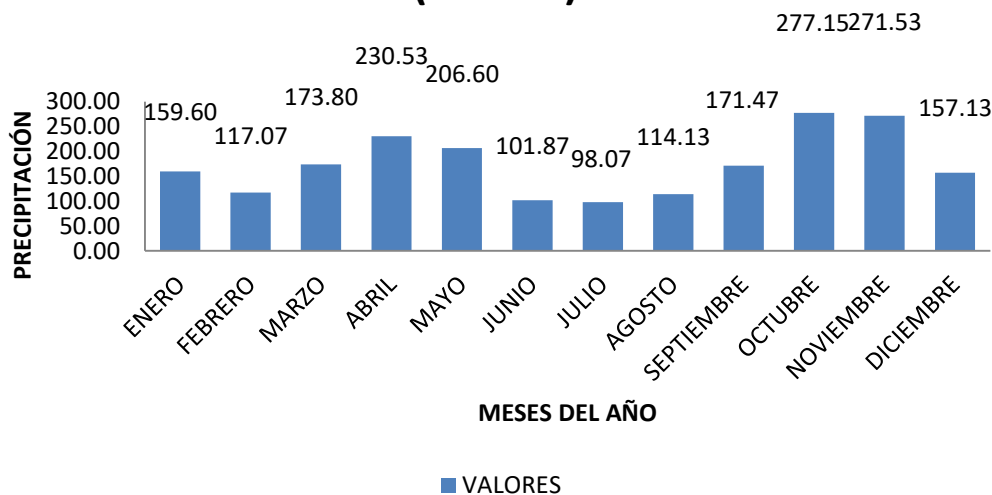
PRECIPITACION MENSUAL MULTIANUAL (1981-2010) ESTACIÓN SUB CHIPRE (IDEAM)



Fuente: Elaboración Propia

Grafica. Precipitación Mensual Multianual (1981-2010) Estación Sub la Uribe

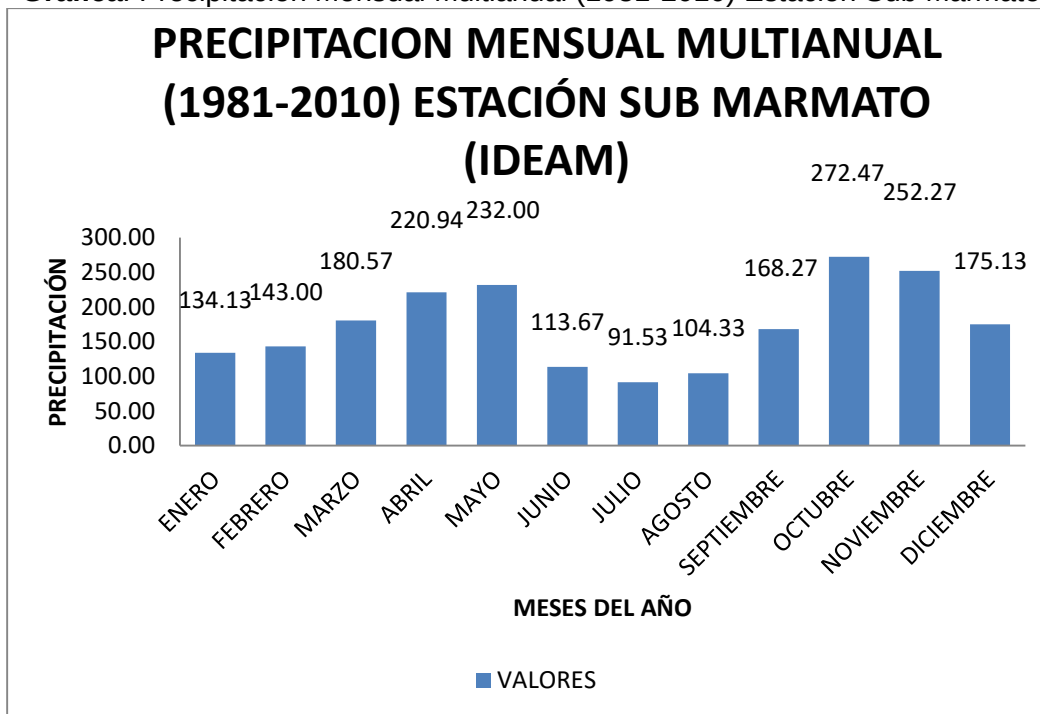
PRECIPITACION MENSUAL MULTIANUAL (1981-2010) ESTACIÓN SUB LA URIBE (IDEAM)



Fuente: Elaboración Propia



Grafica. Precipitación Mensual Multianual (1981-2010) Estación Sub Marmato



Fuente: Elaboración Propia



ANEXO III

FECHA	PATRON	DIAS ANTES DEL EVENTO	DATO DE PRECIPITACIÓN (mm)	PATRONES	Días de Diferencia
10-jun-05	1	76-77	93.72	1_2	37 días
		75-76	92.7	2_3	20 días
	2	39-40	59.18	3_4	17 días
	3	18-19	63.26		
		19-20	60.72		
	4	1-2	85.08		
24-mar-06	1	79_80	31.48	1_2	21 días
	2	52_53	25.4	2_3	44 días
	3	9_10	29.71	3_4	8 días
	4	1_2	43.68		
31-oct-07	1	28_29	32.6	1_2 19 días	
		27_28	27.8		
	2	9_10	19.2	2_3	4 días
	3	6_7	18.6	3_4	6 días
	4	1_2	20.2		
05-nov-07	1	33_34	70.2	1_2 19 días	
		32_33	59.4		
	2	15_16	38.2	2_3	6 días
		14_15	43	3_4	3 días
	3	9_10	31.4		
	4	6-7	28.8		
23-nov-07	1	51_52	68.32	1_2 19 días	
		50_51	65.03		
	2	32_33	59.44	2_3	4 días
	3	36-37	56.39	3_4	19 días
	4	18_19	43.68		
		17_18	63.5		
15-nov-08	1	78 79	19.4		



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

		77_78	20	1_2	3 días		
	2	74_75	29	2_3	59 días		
		72_73	27.6	3_4	11 días		
	3	13_14	25.4				
	4	2_3	28.2				
		1_2	56				
03-mar-11	1	81-82	38	1_2	58 días		
	2	25_26	64.6	2_3	10 días		
		24_25	52.6	3_4	9 días		
	3	12-13	57.4				
		13-14	49				
		14-15	40.6				
	4	3-4	33.8				
20-mar-11	1	74-75	47.49				
	2	42-43	74.68			1_2	32 días
		41-42	62.49			2_3	21 días
	3	20-21	46.76	3_4	13 días		
		17-18	45.22				
	4	5-6	46.71				
19-oct-11	1	57-58	28	1_2	24 días		
		56-57	26.8	2_3	22 días		
	2	32-33	30.6	3_4	4 días		
	3	10-11	35.2				
		9-10	35.2				
	4	5-6	30.8				
05-nov-11	1	58-59	58.41	1_2	33 días		
		57-58	52.82	2_3	14 días		
		55-56	38.6	3_4	8 días		
		56-57	37.84				
	2	22-23	40.12				
	3	8-9	39.37				
	4	1-2	65.27				
10-nov-11	1	63-64	69	1_2	31 días		



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

		62-63	64.4	2_3	3 días		
		60-61	40.8	3_4	21 días		
	2	30-31	54.6				
	3	27-28	39				
	4	6-7	57.6				
01-dic-13	1	80-81	32.6				
	2	25-26	31.8			1_2	56 días
	3	12-13	31.4			2_3	12 días
		13-14	31.2	3_4	9 días		
	4	2-3	37.2				
		3-4	32.8				
03-dic-13	1	81-82	42.8				
		82-83	41.8			1_2	39 días
	2	42-43	36			2_3	15 días
		43-44	31.8	3_4	12 días		
	3	27-28	43.4				
	4	15-16	60.4				
		14-15	57.8				
12-feb-17	1	66-67	39.8				
		67-68	47.8			1_2	22 días
		68-69	27.4			2_3	18 días
		69-70	27.4				
	2	45-46	25.6				
	3	23-24	79.6				
		24-25	82.8				
		26-27	50				
		27-28	41				
18-abr-17	1	89-90	83.6	1_2	21 días		
		88-89	73.8	2_3	28 días		
	2	67-68	46.4	3_4	37 días		
	3	38-39	87.2				
		39-40	87				
	4	1-2	117				
19-abr-17	1	90-91	83.6				
		89-90	73.8			1_2	21 días



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

	2	68-69	46.4	2_3	29 días
	3	39-40	87.2	3_4	39 días
		40-41	87		
	4	2-3	117		
		1-2	92		
25-dic-17	1	84-85	30.8	1_2	51 días
	2	33-34	49.6	2_3	17 días
		32-33	49.2	3_4	46 días
	3	47-48	43.8		
	4	1-2	35.8		

ANEXO A
ANEXO A1
ANEXO B
ANEXO C
ANEXO D
ANEXO E
ANEXO II