

MAESTRÍA EN CAMBIOS GLOBALES Y RIESGO DE DESASTRES

INCIDENCIA DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LOS RIESGOS DE DESASTRES POR MOVIMIENTOS EN MASA. ESTUDIO DE CASO PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

OSWALDO AMADO CASTAÑO



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

Obra de Iglesia
de la Congregación



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

INCIDENCIA DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LOS RIESGOS DE
DESASTRES POR MOVIMIENTOS EN MASA.
ESTUDIO DE CASO PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en Cambios
Globales y Riesgo de Desastres

Asesor

Rogelio Pineda Murillo

Autor:

Oswaldo Amado Castaño

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN CAMBIOS GLOBALES Y RIESGO DE DESASTRES

MANIZALES

2022

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	3
Introducción	20
Antecedentes	24
Localización	24
Generalidades	25
Objetivos 29	
Objetivo general	29
Objetivos específicos	29
Marco Teórico.....	30
Cambio climático	30
Variabilidad climática y su relación con el cambio climático	31
Adaptación al cambio climático.....	32
Resiliencia y variabilidad climática	33
El enfoque de la gestión del riesgo	34
Hidroeléctricas y su relación con los fenómenos externos	35
Los efectos climáticos sobre el ambiente, comunidades e hidroeléctricas	38
Metodología	40
Consideraciones metodológicas.....	40
Resultados y discusión.....	43
Mayor frecuencia de ocurrencia de eventos.....	44
Años en los que hubo mayor cantidad de eventos	46

Meses del año en los que ha sido más frecuente la ocurrencia de deslizamientos y demás eventos.....	48
Climatología de la precipitación promedio anual del departamento y la de los meses en los que se incrementa notoriamente el número de eventos.....	50
Distribución de la precipitación para el municipio de Briceño.....	53
Distribución de la precipitación para el municipio de Ituango.....	54
Distribución de la precipitación para el municipio de Peque.....	55
Distribución de la precipitación para el municipio de Sabanalarga.....	56
Distribución de la precipitación para el municipio de San Andres de Cuerquia.....	57
Distribución de la precipitación para el municipio de Valdivia.....	58
Años de mayor frecuencia de eventos analizados con periodos Niño-Neutral-Niña....	59
Pérdidas en infraestructura, y análisis en relación con las personas fallecidas y heridas.....	62
Amenaza por movimientos en masa.....	71
Amenaza por movimiento en masa municipio de Briceño.....	73
Amenaza por movimiento en masa municipio de Ituango.....	74
Amenaza por movimiento en masa municipio de Peque.....	75
Amenaza por movimiento en masa municipio de Sabanalarga.....	76
Amenaza por movimiento en masa municipio de San Andres de Cuerquia.....	77
Amenaza por movimiento en masa municipio de Valdivia.....	78
Ciclo anual de lluvia para las décadas 1971-2000 y 1981-2010.....	79
Ciclo Anual para el municipio de Valdivia.....	80

Ciclo Anual para el municipio de Ituango	92
Ciclo Anual para el municipio de Briceño.....	97
Ciclo Anual para el municipio de Peque.....	108
Ciclo Anual para el municipio de Sabanalarga.....	118
Ciclo Anual para el municipio de San Andres de Cuerquia	129
Acumulados de lluvia antecedente.....	132
Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Briceño	134
Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Ituango.....	135
Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Peque	136
Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Sabanalarga	137
Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de San Andres de Cuerquia	138
Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Valdivia	139
Anomalías de la precipitación.....	140
Escenario por deslizamientos que puede ser incrementada por la segunda temporada de lluvias.....	142
Escenarios asociados a la deforestación y pérdida de cobertura vegetal	144
Frecuencia notoria de deslizamientos para los 6 municipios seleccionados, con los escenarios de cambio climático del IDEAM (2040, 2070, 2100).....	152
Análisis de tendencias y confrontación con los escenarios de cambio de precipitación para el periodo 2011-2040	156
Estación Briceño	157
Estación Ituango.....	158

Estación Peque	159
Estación Sabanalarga	160
Estación San Andrés de Cuerquia.....	161
Estación Valdivia	162
Incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastres	163
Conclusiones	168
Referencias bibliográficas.....	171
Anexos	177

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación general proyecto Hidroeléctrico Ituango.....	24
Figura 2 Ranking de municipios con mayor número de eventos.....	45
Figura 3 Años con mayor cantidad de eventos	47
Figura 4 Meses con mayor recurrencia de eventos.....	50
Figura 5 Precipitación media total anual	51
Figura 6 Oscilación anual de precipitación para los municipios del estudio.....	52
Figura 7 Distribución de la precipitación media total municipio de Briceño	53
Figura 8 Distribución de la precipitación media total municipio de Ituango	54
Figura 9 Distribución de la precipitación media total municipio de Peque.....	55
Figura 10 Distribución de la precipitación media total municipio de Sabanalarga	56
Figura 11 Distribución de la precipitación media total municipio de San Andres de Cuerquia..	57

Figura 12	Distribución de la precipitación media total municipio de Valdivia.....	58
Figura 13	Pérdidas y afectaciones municipio de Briceño.....	63
Figura 14	Pérdidas y afectaciones municipio de Ituango.....	64
Figura 15	Pérdidas y afectaciones municipio de Peque.....	66
Figura 16	Pérdidas y afectaciones municipio de Sabanalarga.....	67
Figura 17	Pérdidas y afectaciones municipio de San Andres de Cuerquia.....	69
Figura 18	Pérdidas y afectaciones municipio de Valdivia.....	70
Figura 19	Mapa nacional de amenaza por movimientos en masa.....	71
Figura 20	Mapa de amenaza para los municipios del estudio.....	72
Figura 21	Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Briceño.....	73
Figura 22	Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Ituango.....	74
Figura 23	Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Peque.....	75
Figura 24	Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Sabanalarga.....	76
Figura 25	Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de San Andres de Cuerquia..	77
Figura 26	Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Valdivia.....	79
Figura 27	Registro de eventos por movimiento en masa Valdivia.....	81
Figura 28	Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos Valdivia.....	82
Figura 29	Precipitación media estación Valdivia.....	86
Figura 30	Serie corregida estación Puerto Valdivia.....	88
Figura 31	Variación estacional de la lluvia estación Puerto Valdivia.....	91
Figura 32	Ciclo anual de lluvia estación Puerto Valdivia.....	92
Figura 33	Registro de eventos por movimiento en masa Ituango.....	93

Figura 34 Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos Ituango	94
Figura 35 Ciclo anual de lluvia estación La Granja - Ituango	96
Figura 36 Registro de eventos por movimiento en masa Briceño	97
Figura 37 Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos Briceño.....	98
Figura 38 Precipitación media estación Briceño	101
Figura 39 Serie corregida estación Briceño	104
Figura 40 Variación estacional de la lluvia estación Briceño.....	106
Figura 41 Ciclo anual de lluvia estación Briceño	107
Figura 42 Registro de eventos por movimiento en masa Peque	108
Figura 43 Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos Peque.....	109
Figura 44 Precipitación media estación La Cumbre	112
Figura 45 Serie corregida estación La Cumbre.....	114
Figura 46 Variación estacional de la lluvia estación La Cumbre	116
Figura 47 Ciclo anual de lluvia estación La Cumbre.....	117
Figura 48 Registro de eventos por movimiento en masa Sabanalarga	118
Figura 49 Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos estación Sabanalarga.....	119
Figura 50 Precipitación media estación Sabanalarga.....	122
Figura 51 Serie corregida estación Sabanalarga	125
Figura 52 Variación estacional de la lluvia estación Sabanalarga.....	127
Figura 53 Ciclo anual de lluvia estación Sabanalarga	128
Figura 54 Registro de eventos por movimiento en masa San Andres de Cuerquia.....	129
Figura 55 Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos estación San Andres.....	130

Figura 56	Ciclo anual de lluvia estación San Andres	132
Figura 57	Precipitación acumulada mayo.....	133
Figura 58	Precipitación media total mensual mayo Briceño	134
Figura 59	Precipitación media total mensual mayo Ituango.....	135
Figura 60	Precipitación media total mensual mayo Peque	136
Figura 61	Precipitación media total mensual mayo Sabanalarga	137
Figura 62	Precipitación media total mensual mayo San Andres de Cuerquia.....	138
Figura 63	Precipitación media total mensual mayo Valdivia	139
Figura 64	Anomalías de la precipitación - mayo 2021	140
Figura 65	Anomalías de la precipitación mayo para los municipios del estudio.....	142
Figura 66	Ciclo anual de lluvia para los municipio del estudio.....	143
Figura 67	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 1990-2000.....	145
Figura 68	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2000-2005.....	146
Figura 69	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2005-2010.....	147
Figura 70	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2010-2012.....	148
Figura 71	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2012-2013.....	149
Figura 72	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2013-2014.....	150
Figura 73	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2014-2015.....	151
Figura 74	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2015-2016.....	152
Figura 75	Cambio de precipitación 2011 – 2100 Antioquia.....	153
Figura 76	Cambio en porcentaje de la precipitación	154
Figura 77	Precipitación promedio departamento Antioquia (1976-2005) – (2071-2100).....	157

Figura 78 Estación Briceño 1991-2020	158
Figura 79 Estación Ituango	159
Figura 80 Estación Peque 1991-2003	160
Figura 81 Estación Sabanalarga 1991-2020	161
Figura 82 Estación San Andrés.....	162
Figura 83 Estación Valdivia.....	163
Figura 84 Precipitación multianual.....	164
Figura 85 Eventos clasificados por tipo.....	165
Figura 86 Año con mayor cantidad de eventos.....	166
Figura 87 Comportamiento de la precipitación vs los eventos ocurridos.....	167

Lista de tablas

Tabla 1 Base consolidado anual de emergencias – UNGRD 1998 -2020	43
Tabla 2 Municipios con mayor frecuencia de ocurrencia.....	45
Tabla 3 Años con mayor cantidad de eventos en los municipios del estudio.....	46
Tabla 4 Meses del Año con mayor ocurrencia de deslizamientos, inundaciones, avenidas torrenciales, vendavales e incendios forestales.....	48
Tabla 5 Consolidación fenómenos ENOS	59
Tabla 6 Índice oceánico el niño para los municipios del estudio	60

Tabla 7 Pérdidas y afectaciones municipio de Briceño	62
Tabla 8 Pérdidas y afectaciones municipio de Ituango.....	63
Tabla 9 Pérdidas y afectaciones municipio de Peque	65
Tabla 10 Pérdidas y afectaciones municipio de Sabanalarga	66
Tabla 11 Pérdidas y afectaciones municipio de San Andres de Cuerquia.....	68
Tabla 12 Pérdidas y afectaciones municipio de Valdivia	69
Tabla 13 Número de eventos	80
Tabla 14 Base de datos estación Puerto Valdivia	83
Tabla 15 Valores totales mensuales de precipitación estación Valdivia	85
Tabla 16 Serie corregida estación Puerto Valdivia.....	87
Tabla 17 Ordenación y estimación de la probabilidad de los datos mensuales de precipitación	89
Tabla 18 Base de datos estación La Granja	95
Tabla 19 Base de datos estación Briceño.....	99
Tabla 20 Valores totales mensuales de precipitación estación Briceño	100
Tabla 21 Serie corregida estación Briceño	102
Tabla 22 Ordenación y estimación de la probabilidad de los datos mensuales de precipitación estación Briceño.....	105
Tabla 23 Base de datos estación Peque.....	110
Tabla 24 Valores totales mensuales de precipitación estación Peque	111
Tabla 25 Serie corregida estación Peque	113
Tabla 26 Ordenación y estimación de la probabilidad de los datos mensuales de precipitación estación Peque.....	115

Tabla 27 Base de datos estación Sabanalarga.....	120
Tabla 28 Valores totales mensuales de precipitación estación Sabanalarga.....	121
Tabla 29 Serie corregida estación Sabanalarga	123
Tabla 30 Ordenación y estimación de la probabilidad de los datos mensuales de precipitación estación Sabanalarga.....	126
Tabla 31 Base de datos estación San Andres.....	130

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi esposa Doris y especialmente a mi hija Aura María, hija nunca te detengas de aprender, crece con valores y principios, disfruta de los bellos momentos de la vida, recuerda siempre que la familia es lo más importante y siempre será tu apoyo, infinitas gracias a Dios por darme esta hermosa familia.

Agradecimientos

Al Doctor Rogelio Pineda Murillo por su valiosa amistad, enseñanza, seguimiento a mi proceso académico y apoyo en todo momento para la elaboración de este trabajo. Exalto el compromiso del cuerpo docente de la Universidad Católica de Manizales que ha dejado una valiosa enseñanza en cada uno de nosotros y a la universidad en general por todas las nuevas experiencias y oportunidades de conocimiento que se brindó.

La academia siempre proveerá frutos y logros a través del tiempo, la Universidad me dio la entrada a un mundo de nuevas amistades y personas que han aportado a mi crecimiento personal y profesional.

Resumen

Dado el aumento en la frecuencia de eventos hidro meteorológicos extremos, asociados a la variabilidad climática y el cambio climático, y la mayor vulnerabilidad de las sociedades humanas frente a estas amenazas, se presenta un mayor interés en comprender la incidencia de estos fenómenos en los riesgos de desastres, el objetivo de esta investigación se centra en determinar la incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastres y su impacto en el desarrollo socio-ambiental del proyecto hidroeléctrico Ituango, de esta manera la pregunta de investigación es la siguiente: ¿Cómo inciden los fenómenos del niño y la niña en el desarrollo socio ambiental dentro del proyecto Hidroeléctrico Ituango? En este contexto la incidencia es la medida en que los eventos se relacionan generando un impacto sobre un elemento expuesto con relación a la variabilidad climática.

La respuesta de investigación se responde a través del desarrollo de una metodología de análisis mixta donde se analizan datos cuantitativos asociados a la determinación de los impactos que puedan generar los fenómenos extremos relacionados con la variación climática ENOS y así mismo determinar las pérdidas y daños sociales y ambientales para los municipios del área de influencia directa del proyecto, en complemento a la metodología se analizarán las variables de tipo cualitativo obteniendo así las medidas necesarias de adaptación y resiliencia frente a los eventos identificados.

Se muestra entonces que con la obtención de los resultados se podrá tener un análisis de la incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastres y sus impactos en los

componente sociales y ambientales del área de influencia del proyecto hidroeléctrico Ituango, estos resultados servirán para fortalecer directamente el plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas del proyecto Hidroeléctrico Ituango, así mismo servirá para nutrir los planes municipales de gestión del riesgo y como referencia para nuevas investigaciones sobre el tema.

Palabras clave: variabilidad climática, riesgo, hidroeléctrica, ENOS.

Abstract

Given the increase in the frequency of extreme hydro-meteorological events associated with climate variability and climate change, as well as the increased vulnerability of human societies before those hazards; a higher interest into understanding the incidence of these phenomena in disaster risks has risen. The objective of this research is to determine the incidence of climate variability in disaster risks and its impact on the socio-environmental development of the Ituango hydroelectric project. Thus, the research question is: How do the phenomena “El Nino” and “La Nina” affect socio-environmental development within the Ituango Hydroelectric project? In this context, incidence has to be understood as the extent to which events are related, generating an impact on an exposed element in relation to climate variability.

The research response is answered through the development of a mixed analysis methodology where quantitative data associated with the determination of the impacts that extreme phenomena related to ENSO climate variation can generate will be analyzed. Furthermore, losses, social damages and environmental conditions will be determined in the area and municipalities of direct influence of the project. In addition to this methodology, qualitative variables will be analyzed to obtain the necessary adaptation and resilience measures regarding the identified events.

It is shown then that with the outcome of these results it will be possible to obtain an analysis of the incidence of climate variability in disaster risks and its impacts on the social and environmental components at the area of influence of the Ituango hydroelectric project. These

results will strengthen disaster risk management plans of the public and private entities of the Ituango Hydroelectric project. They also will directly improve the municipal risk management plans and will play a vital role as a reference for new researches on the subject.

Introducción

El presente análisis tiene como objeto identificar la incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastres por movimientos en masa asociados a las precipitaciones de la zona y la pérdida de la capa vegetal por procesos de deforestación antrópica y su impacto en los municipios de Briceño, Ituango, Peque, Valdivia (Puerto Valdivia), Sabanalarga, San Andres de Cuerquia ubicados en el Departamento de Antioquia, los cuales hacen parte del área de influencia directa del proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Los efectos del cambio climático sobre aquellos eventos extremos causados por la variabilidad climática vienen incidiendo de manera considerable en la recurrencia de afectaciones sobre las comunidades, el ambiente y las infraestructuras lo cual requiere de análisis constantes y que sus resultados puedan nutrir los instrumentos de planificación territorial con el propósito de desarrollar estrategias a corto, mediano y largo plazo reduciendo así los riesgos de desastres.

La característica principal del estudio fue hacer una revisión teórica de la información asociada a los datos históricos de precipitaciones de las estaciones hidrometeorológicas de Briceño, (Est. Briceño) Ituango (La Granja) Peque (La Cumbre) Sabanalarga (Sabanalarga) San Andres de Cuerquia (San Andres) Valdivia (Pto Valdivia Alert), así mismo se recopiló información de los eventos ocurridos y reportados por los Consejos Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres - CMGRD de los municipios anteriormente mencionados consolidando además los impactos que estos generaron sobre las comunidades y los bienes ecosistémicos de

los cuales se benefician, con el fin de tener una percepción de cómo los eventos hidrológicos se han comportado en términos de frecuencia de ocurrencia y en impactos o daños ocurridos.

Para analizar la incidencia que ha tenido la variabilidad climática sobre los eventos hidrometeorológicos es importante mencionar sus causas (Frontmatter en Diaz y Markgraf, 2000). Una de ella es el cambio climático, si bien es cierto desde 1950 a partir de la primera sesión del "Grupo Ad Hoc sobre Dióxido de Carbono y Clima" se habla sobre el cambio climático mundial debido al incremento del dióxido de carbono, a partir de esta reunión en 1972, John Sawyer predecía una variación importante de la temperatura global con impactos sobre el ambiente, por otra parte el IDEAM viene elaborando las comunicaciones nacionales de cambio climático en la cual se presentan las implicaciones y la incidencia que se tiene en los riesgos de desastres.

Según (Montealegre B., J. Pabón) el cambio climático presenta unas modificaciones de las condiciones predominantes en periodos largos de tiempo hablando de décadas, siglos o miles de años, la variabilidad climática son las fluctuaciones de las condiciones predominantes de una zona durante períodos de tiempo relativamente cortos durante un año en particular.

Una variable importante que se tiene en cuenta es el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur o ENOS, según (Carvajal, Y.,H. Jiménez y H. Materon, 1998) el fenómeno ENOS tiene fuerte incidencia sobre la hidrología de Colombia, la fase cálida de ENOS se asocia con disminución de las lluvias y el caudal de los ríos en el centro, occidente y norte del país, lo cual ocasiona sequías, incendios forestales, racionamientos energéticos, disminución en la producción, agrícola, pesquera y pecuaria, por el contrario durante La Niña ocurren anomalías

con eventos de precipitación muy intensos, crecidas de ríos, avenidas torrenciales e inundaciones de planicies con las consecuentes repercusiones sobre los recursos hídricos y la sociedad.

El análisis de este estudio se realizó por el interés de conocer como aquellos eventos extremos o anomalías que se han presentado en el rango de tiempo analizado han desencadenado riesgos o impactos en las comunidades afectando el desarrollo socioambiental de las comunidades de Briceño, Ituango, Peque, Valdivia (Pto. Valdivia), Sabanalarga, San Andres de Cuerquia ubicados en el Departamento de Antioquia.

Por otra parte el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres del Proyecto Ituango dentro de su componente de conocimiento del riesgo contempla de manera general el análisis del comportamiento de caudales, las precipitaciones y el déficit de las mismas inciden en el desarrollo del proyecto, sin embargo no se especifica las causas y origen de estos eventos y las posibles repercusiones socio ambientales que tendrían las comunidades ubicadas cerca al proyecto al variar el comportamiento hidrológico de la zona y así mismo los riesgos ya identificados dentro del plan, se hace necesario realizar una profundización sobre el comportamiento del fenómeno.

El resultado de este análisis podrá ser utilizado como referencia por toda aquella persona o institución que quiera ahondar en el tema relacionado con la incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastres y el comportamiento que ha tenido en la zona de estudio, de esta manera será un ejercicio académico relevante para las comunidades y entidades que deseen ajustar e incorporar los resultados a sus instrumentos de planificación como planes de gestión del riesgo, planes de ordenamiento territorial entre otros.

Se estima que el resultado de este estudio proporcionará una idea base a partir de una serie de análisis de datos históricos con los cuales se pueda establecer una comparación entre la variabilidad climática, el aumento de los escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones extremas y su relación con los bienes ecosistémicos y las comunidades cercanas al proyecto hidroeléctrico Ituango.

Mediante los análisis desarrollados a partir de registros históricos se hace una aproximación a la relación que tiene la incidencia de la variabilidad climática sobre los eventos climatológicos ENOS para lo cual se utilizó el análisis de información cuantitativa a partir de registros históricos de las estaciones hidroclimatológicas de la zona, así mismo se comparó con información cualitativa producto de la recopilación de los eventos reportados por las entidades del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, además con el fin de poder visualizar los impactos que estos eventos han tenido en el territorio se desarrolló una serie de encuestas a líderes comunitarios y comunidad en general en los municipios definidos inicialmente.

Finalmente esto servirá como insumo para que el proyecto hidroeléctrico Ituango ajuste su plan de gestión del riesgo y se incorporen las acciones de reducción, adaptación y resiliencia, de esta misma manera los municipios podrán utilizar los resultados para ser incluidos en los instrumentos de planificación territorial.

Antecedentes

Localización

El proyecto hidroeléctrico Ituango se localiza sobre el río Cauca, en una zona conocida como el cañón del Cauca, en un recorrido de 425 km, el río descendiendo 800 m. el proyecto se encuentra localizado al noroccidente de Antioquia, ubicado en los municipios de Ituango y Briceño, sin embargo el proyecto en su totalidad abarca los municipios de Santa Fé de Antioquia, Buriticá, Peque, Ituango, Liborina, Sabanalarga, Toledo, Briceño San Andrés de Cuerquia y Valdivia.

Figura 1

Ubicación general proyecto Hidroeléctrico Ituango



Nota. Adaptado del Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas, EPM, 2019.

Este proyecto está conformado por una presa de 225 m de altura y una capacidad de almacenar 2720 millones de metros cúbicos, con una Central de una capacidad instalada de 2.400 MW y una energía media anual de 17.460 GWh.

La zona de estudio corresponde a los municipios de Briceño, Ituango, Peque, Sabanalarga, San Andres de Cuerquia y Valdivia, dada la cercanía de estos a las obras principales del proyecto Hidroeléctrico Ituango así como el acceso a la información tanto de la red de estaciones meteorológicas como bases de información sobre eventos y afectaciones por la materialización de un riesgo.

Esta zona está caracterizada por su baja productividad agrícola y ganadera, además por su baja densidad poblacional, teniendo como referencia el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico Ituango, el comportamiento general del clima en el área del proyecto está determinado por el desplazamiento periódico de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que interactúa a su paso con los factores orográficos y las variaciones locales.

Generalidades

Para lograr comprender como incide la variabilidad climática en los riesgos de desastres y su impacto en el desarrollo socio-ambiental del proyecto hidroeléctrico Ituango como caso de estudio, en primera medida es importante mencionar que el sector hidroeléctrico es uno de los más susceptibles de verse afectado por el cambio climático (Cáceres, A. L., Jaramillo, P., Matthews, H. S., Sámaras, C., y Nijssen, B. 2021). Se ha establecido que en las próximas décadas los recursos hídricos disponibles se verán alterados de manera considerable en amplias zonas del planeta, alterando la capacidad de operación de las plantas hidroeléctricas, el cambio

climático tenderá a incrementar los eventos extremos como inundaciones o sequías, lo cual impactará en la erosión de las cuencas y la sedimentación de los embalses, modificará los patrones de demanda energética, generando en el sector hidroeléctrico diferentes impactos directos (Hellmuth, Cookson y Potter, 2017). (Khir-Eldien, K., y Zahran, S. A. 2017) concluyeron que los cambios han afectado y seguirán afectando la salud humana, el suministro de agua, la agricultura, el transporte, energía, áreas costeras y muchos otros sectores de la sociedad, con impactos cada vez más adversos en la economía y la calidad de vida lo cual puede recaer sobre las comunidades asentadas y que se benefician de los sistemas ambientales y económicos que se desarrollan alrededor de las hidroeléctricas.

De acuerdo con (Arriagada, P., Dieppois, B., Sidibe, M. y Link, O. 2019), para lograr el desarrollo sostenible de los recursos hidroeléctricos, es necesario comprender su disponibilidad, variabilidad y los impactos esperados del cambio climático, lo cual deja en evidencia la necesidad de comprender de manera global el comportamiento del cambio climático y la relación con las hidroeléctricas, un estudio realizado por (Byers, E. A., Hall, J. W., Amezaga, J. M., O'Donnell, G. M., y Leathard, A. 2016), en el cual presentan la importancia de la generación de energía limpia y los beneficios que puede traer al ser una fuente de absorción de carbono y las implicaciones socio ambientales a las que conlleva los impactos generados por estas, presento como conclusión que teniendo como base los eventos asociados a la variabilidad climática pueden afectar en gran medida el comportamiento hidráulico y presentar eventos extremos con impactos negativos sobre las comunidades cercanas a estas infraestructuras y los ecosistemas de los cuales se abastecen.

Otro estudio desarrollado por (Pieter de Jong, Tarssio B. Barreto, Clemente A.S. Tanajura, Karla P. Oliveira-Esquerre, Asher Kiperstok, Ednildo Andrade Torres, 2021), estimó el impacto del cambio climático en el potencial hidroeléctrico de varias cuencas en América del Sur, dando como resultado la variación en los caudales promedio en los próximos cincuenta años, así mismo se determinó que se presentarán déficit y excesos de caudales lo cual puede en gran medida desarrollar condiciones de riesgo que impacten directamente a las comunidades que se benefician de este tipo de obras, como por ejemplo el turismo el cual ha sido una de las actividades con mayor proyección dentro del desarrollo económico de las comunidades cercanas, es importante reconocer estudios como el desarrollado por (Kundan, S. 2018) en el cual se analiza la incidencia del cambio climático en el desarrollo del turismo y los impactos sobre ecosistemas estratégicos que son aprovechados para este tipo de actividad.

Por otra parte, teniendo como base la incidencia del cambio climático en los eventos extremos asociados a la variabilidad climática, uno de los probables efectos ocasionados por los excesos de caudales y tal como lo estableció (Yang, H., Chen, G., Chong, Y., Jin, J., y Shi, W. 2021), en su estudio sobre la intensificación de las influencias sobre el clima y las actividades humanas el cual concluyó que ha aumentado la frecuencia de desastres causados por flujos de escombros a gran escala, sin embargo el incremento de eventos extremos en la última década ha generado un inusual aumento de escenarios de riesgo tanto para el déficit como para el exceso de caudales, lo cual puede dar origen a diversos escenarios de riesgo como inundaciones, avenidas torrenciales y sequías lo cual incide directamente en los sistemas hidroeléctricos y en la comunidades que se benefician de estos.

En el caso de Colombia según (González Ortiz, C. J. 2018), el Gobierno no ve una amenaza seria en las próximas décadas relacionada con la falta de recursos hídricos utilizados en centrales hidroeléctricas, plantea la instalación de centrales termoeléctricas como alternativa en una eventual carencia de recurso hídrico y contempla de manera ínfima la masificación de tecnologías renovables, lo cual pone en desventaja al sector frente a la planeación estructural que debe desarrollarse en cuanto a la identificación de los impactos a corto, mediano y largo plazo que puede generar la incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastres.

Finalmente la energía hidroeléctrica juega un papel fundamental en la política nacional y global y para lograr contribuciones determinadas a nivel internacional con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, a largo plazo los cambios pueden afectar el papel de la energía hidroeléctrica en el cumplimiento y objetivos de política nacional energética (Carvajal, P. E., Li, F. G. N., Soria, R., Cronin, J., Anandarajah, G., y Mulugetta, Y. 2019).

Objetivos

Objetivo general

Analizar la incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastre por movimientos en masa para 6 municipios de influencia del proyecto Hidroituango en el departamento de Antioquia.

Objetivos específicos

Analizar los factores detonantes para la generación de movimientos en masa en los municipios de influencia del proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Describir las pérdidas y daños por materialización de riesgos por movimientos en masa con énfasis en la infraestructura y las vidas humanas.

Marco Teórico

En el presente marco teórico se exponen los conceptos básicos que direccionarán teóricamente la investigación. El orden en que se abordan los términos es jerárquico en relación con su pertinencia con los objetivos planteados. Así, se parte de la definición de cambio climático, variabilidad climática, y se concluye con su incidencia en los componentes socio ambientales de un territorio.

Cambio climático

Se puede mencionar que el término “cambio climático” fue presentado por la Organización de Naciones Unidas en la Cumbre de Estocolmo de 1972, en la recomendación 79 en donde menciona que de ser necesario, se establezcan nuevos programas para comprender mejor el movimiento general de la atmósfera y las causas de los cambios climáticos, siendo estas de origen natural o como resultado de las actividades humanas (ONU, 1972).

Así mismo la Convención Marco sobre el Cambio Climático - CMCC (Naciones Unidas 1992), en su artículo 1, define el “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que impacta la composición de la atmósfera y que se adhiere a la variabilidad del clima observado durante períodos de tiempo comparables.

Dado que el clima es variable, se le puede conocer como cambio climático a la modificación significativa del clima en comparación al historial climático del planeta (Sánchez-Santillán, Sánchez-Trejo, Espino y Garduño, 2014).

Variabilidad climática y su relación con el cambio climático

El clima es un factor dinámico, variable, está teniendo variaciones constantemente y diferente a lo que se cree, lo normal son las variaciones influenciadas, según Milankovitch (1920), por cambios de la órbita terrestre, oblicuidad o en la precesión, esta teoría no fue tenida en cuenta si no hasta la década de 1980 cuando se obtuvieron registros más convincentes. Por otra parte existen conceptos sugeridos por (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt., 2007) entre los cuales se refiere a que son producidos por la actividad solar, erupciones volcánicas, las variaciones que se presentan en la misma atmosfera originando lo que se denomina variabilidad climática, las cuales son variaciones del clima en períodos mucho más cortos que pueden ir de días hasta décadas.

Otro concepto definido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2 de diciembre de 2020) menciona a el clima como una serie de aspectos cambiantes, de las se promedian a partir de los valores estadísticos del tiempo atmosférico y todos sus aspectos que suceden durante un período de tiempo más largo, este promedio debe ser en lo posible mayor de 30 años.

De esta manera es importante tener en cuenta la diferencia con la variabilidad climática la cual se caracteriza por presentarse en periodos mucho más cortos, lo cual es la mayor diferencia comparada con el cambio climático, representada por variables climatológicas como la temperatura y la precipitación. (Montealegre y Pabón, J., 2000). Así mismo (Carvajal y Ordoñez, 2008) definen la variabilidad climática como los cambios en las condiciones climáticas promedio a partir de un registro del tiempo.

La variabilidad climática se manifiesta en fenómenos naturales como el evento cálido de El Niño y su contraparte fría, La Niña, conocidos conjuntamente como El Niño Oscilación Sur (ENOS). Es importante tener en cuenta que estas oscilaciones han tenido un impacto considerable dado que aquellos eventos extremos han venido siendo más frecuentes y recurrentes, así mismo su magnitud ha sido más extrema según los registros multitemporales que se tienen (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], s.f.).

Adaptación al cambio climático

La adaptación al cambio climático ha sido descrita por diferentes autores e instituciones a nivel mundial, según la Secretaría del Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC la adaptación es un proceso de ajuste a los sistemas ecológicos, sociales, económicos en respuesta a diversos estímulos climáticos reales y sus impactos sobre estos.

Referente a lo que el ser humano comprende como cambio global, la adaptación se puede asemejar a la acción o resultado de un sistema para poder enfrentarse o acomodarse a algún cambio considerable (Smit y Wandel, 2006). De esta manera es claro que la adaptación vista como concepto será el modo por el cual se planifique a medida del cambio de los fenómenos.

El modo en el cual se planifican acciones de adaptación dependerá del comportamiento dinámico de los fenómenos, sin embargo es válido contemplar las modelaciones globales frente a los cambios generados en las últimas décadas lo cual dará herramientas para proyectar aquellas medidas de reducción y adaptación del riesgo.

Resiliencia y variabilidad climática

El término de resiliencia ha tenido diferentes orígenes, el más conocido proviene del latín de la palabra *resilio*, que significa volver atrás, volver de un salto, resaltar, rebotar.

Por otra parte diferentes autores han descrito el termino como Luthar y Cushing (1999) los cuales refieren que representa competencia o un positivo enfrentamiento al riesgo o a la adversidad. Richardson, Neieger, Jensen Kumpfer (1990) la definen como aquel proceso de afrontar eventos vitales desgarradores, estresantes o desafiantes que generan en un individuo protección adicional y habilidades para afrontar la situación.

Una de las definiciones más aceptada es la que plantea Garmezy (1999) que la define como la capacidad para recuperarse y mantener una conducta adaptable después del abandono o de un evento estresante. Así mismo Masten y Powell (2003) mencionan que la resiliencia se refiere a patrones de adaptación positiva bajo el contexto del riesgo.

Por otra parte la definición que plantea Fergus y Zimmerman (2005) mencionan que la resiliencia es el proceso para superar los efectos negativos de la exposición al riesgo, mediante el afrontamiento exitoso de las experiencias críticas evitando las condiciones asociadas al riesgo.

Ahora si tenemos en cuenta el concepto de variabilidad climática el cual se refiere aquellos eventos hidrometeorológicos que se producen en un periodo corto de tiempo y que asociado a su intensidad pueden generar alguna afectación en las condiciones físicas y sociales de un territorio se puede contemplar que la resiliencia será entonces aquella manera en la cual se puede superar un evento materializado en un corto tiempo en las mejores condiciones y de una manera rápida.

El enfoque de la gestión del riesgo

La Gestión del Riesgo en su definición más básica, se refiere al proceso social de reducir, prevenir y controlar permanente el riesgo del desastre en la sociedad, enmarcado en el desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles (Lavell. A., 2004).

De acuerdo con la afirmación anterior, según (Lavell, 2006) se puede asumir que la gestión del riesgo es una herramienta de planeación dividida en una serie de etapas constituidas por la prevención, mitigación, preparación, respuesta humanitaria, rehabilitación y la reconstrucción; con el objetivo de controlar la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo garantizando una mayor seguridad para las comunidades.

El enfoque de la gestión del riesgo según (Lavell, A.[s.f.]) se muestra como un proceso en el cual un grupo humano o individuo comprenden el riesgo al que están expuestos, realiza una retrospectiva y se comprende, considerando las posibles prioridades para su reducción, así mismos se consideran los recursos disponibles para manejarlo por lo cual se cumple con los procesos de la gestión del riesgo.

Ahora bien y sin duda alguna es importante ahondar sobre el mismo concepto de riesgo, en primera parte están las definiciones que se derivan de las ciencias de la tierra y que tienden a definir el riesgo como “la probabilidad de ocurrencia de un evento físico dañino”. (Lizardo Narváez, Allan Lavell, Gustavo Pérez Ortega, 2009), En segunda parte, se encuentran las definiciones de riesgo de desastre que muestran el componente social y económico mencionadas por (Lizardo Narváez, Allan Lavell, Gustavo Pérez Ortega, 2009) en la cual se menciona que el riesgo de desastre abarca la probabilidad de ocurrencia de daños y pérdidas a futuro asociadas

con la materialización de un evento es decir que se debe hacer énfasis en los impactos posibles y no en la ocurrencia del evento.

Autores como (Rubén Azcárate, Angélica Mejía-Fajardo 2016) describen que el riesgo no depende únicamente de la posibilidad de presentarse eventos intensos, sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan el desencadenamiento de desastres cuando se presentan estos eventos.

De acuerdo con lo anterior se debe tener en cuenta el término “vulnerabilidad”, este ha sido utilizado en una amplia variedad de formas para caracterizar la respuesta de los sistemas sociales y ecológicos a varias perturbaciones (Liverman 2001). En el segundo informe de evaluación, para el IPCC (1995), vulnerabilidad se definía como las acciones en que el cambio climático puede afectar un sistema.

Por otra parte, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR 2009), define que la vulnerabilidad incluye diferentes características y variables de una comunidad que los hacen susceptibles o sensibles a los efectos de una amenaza o evento.

Hidroeléctricas y su relación con los fenómenos externos

Como contexto una hidroeléctrica es una construcción civil cuyo diseño permite la regulación del ingreso y la salida de grandes volúmenes de agua, puede ser una construcción ubicada en un río o puede ser un embalse destinado para tal fin. González, C. J. (2018).

Según Carless, (1995) una hidroeléctrica es un sistema que aprovecha la energía cinética del agua que pasa por una tubería y cae a una altura determinada pasando a través de una turbina

la cual gira por la fuerza del agua, la turbina está conectada a un generador que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

Ahora bien una hidroeléctrica es un conjunto de instalaciones y equipos electromecánicos, necesarios para transformar la energía potencial hídrica en energía eléctrica y que funciona a todas horas, según afirma García, (2010) una central hidroeléctrica consta de las siguientes partes:

- Presa: se encarga de contener el río almacenándolo, las presas pueden ser de tierra o de concreto o mixtas.
- Vertedero: se encargan de hacer pasar parte del agua detenida sin pasar por la sala de máquinas, se encuentran en la pared principal de la presa.
- Compuertas de captación: se encargan de recoger el agua almacenada para llevarla hasta la casa de máquinas por medio de sistema de tuberías.
- Casa de máquinas: estructura donde se ubican los equipos que permiten convertir la energía cinética a energía eléctrica.
- Turbinas hidráulicas: son equipos mecánicos que utilizan la energía del agua que pasa por estas para producir un movimiento de rotación mediante su propio eje.
- Transformadores: es un equipo eléctrico cuya función es aumentar o disminuir la tensión de un circuito eléctrico.
- Líneas de transporte de energía eléctrica: cableado que se usa para transmitir la electricidad generada.

Es sabido que la construcción de un embalse implica el cambio de uso del suelo y el tipo de cobertura de un territorio, estos cambios pueden influenciar tanto el clima local como el

regional. Según la Comisión Internacional de Grandes Embalses (ICOLD) una presa de mayor dimensión es aquella cuyo muro o dique tiene más de 15 metros de altura o que su almacenamiento es superior a los 3 millones de metros cúbicos, por lo cual el proyecto Hidroeléctrico Ituango se clasifica dentro de esta categoría de grandes embalses.

La disponibilidad del recurso hídrico para la generación de electricidad en Colombia está determinada, principalmente, por la ubicación geográfica del territorio, siendo el país uno de los más ricos en este preciado líquido, así mismo existen factores externos como la incidencia de la zona de confluencia intertropical (ZCIT) la cual origina los regímenes anuales de lluvias en el territorio.

De acuerdo con lo mencionado este tipo de eventos se han venido presentando con más frecuencia y siendo más extremos lo cual pone en grave riesgo a las comunidades, los medios de vida y por supuesto en el marco de este estudio la generación de energía hidroeléctrica.

Gran parte del territorio nacional tiene dos temporadas de lluvias que, en condiciones normales, garantizan el continuo abastecimiento de agua para generación eléctrica, así mismo se presenta una temporada predominante de bajas lluvias que reduce la oferta considerablemente, esta posición geográfica sin embargo, causa que Colombia este expuesta a las alteraciones producidas por fenómenos de El Niño y su opuesto la Niña denominados como fenómenos ENSO.

Los efectos climáticos sobre el ambiente, comunidades e hidroeléctricas

En consideración con lo anterior y como menciona (Cardona y Marulanda 2006) el país es altamente vulnerable al cambio climático, sumado al incremento de la población lo que aumenta los elementos expuestos y su vulnerabilidad.

Existe un gran registro de alteraciones del régimen hidrológico los cuales modifican la disponibilidad del agua para el uso de comunidades y su relación con los servicios ambientales que se prestan a lo largo del territorio, por otra parte esa falta del recurso impacta directamente a la generación eléctrica dado que es el principal recurso para su funcionamiento.

Según (Ruiz Soto 2007) un ejemplo de servicio ambiental son los procesos de regulación hídrica que permiten determina la calidad y cantidad de agua potable habilitada para el aprovechamiento humano. El cambio climático puede llegar a generar cambios en la estructura de los ecosistemas, produciendo impactos en la diversidad, así mismo se presentan fenómenos climatológicos como temperaturas extremas y cambio en el ciclo del agua, aspectos en las que algunas especies no pueden adaptarse rápidamente.

En los próximos años los recursos hídricos disponibles se verán afectados de manera importante en distintas zonas del mundo, lo cual impactará la capacidad de operación del sistema hidroeléctrico debido a su déficit o por el contrario por los excesos presentados en picos. Según estimaciones disponibles (Hellmuth, Cookson y Potter, 2017), el cambio climático tendera a incrementar los eventos extremos como inundaciones o sequias, lo cual impactará en la erosión de las cuencas y la sedimentación de los embalses, modificará los patrones de demanda energética generando en el sector hidroeléctrico diferentes impactos.

Diversos autores como McPhee, J., Rubio, E., Meza, R y Ayala, A.,(2012) en el artículo denominado “Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile” así mismo Heres, D.,(2015) en “El cambio climático y la energía en América Latina” y Palau., A., Prieto, C., (2009) “Hidroelectricidad, embalses y cambio climático” han desarrollado diferentes metodologías para poder cuantificar las afectaciones que puede tener el cambio climático y la variabilidad climática sobre la infraestructura hidroeléctrica como también lo hizo el estudio realizado por Paz, J., Jesús, M., Kelman, R., Navas, S., Okamura, L. y Feliu, E., (2019), concluyendo sobre la importancia que tienen los estudios relacionados y su incidencia en la planificación de nuevos modelos económicos así como la implementación de acciones de adaptación y resiliencia.

Metodología

Consideraciones metodológicas

El desarrollo metodológico de la investigación se construyó a partir de la organización de una serie de fases o etapas con el objetivo de alcanzar los objetivos propuestos por el estudio.

A partir de desarrollo del marco teórico se puede mencionar que existe una relación intrínseca entre el cambio climático y la variabilidad climática y por ende en los escenarios de riesgo como movimientos en masa e inundaciones siendo esto un detonante para los efectos directos sobre comunidades servicios ambientales y como caso específico los seis municipios del área de influencia del proyecto hidroeléctrico Ituango.

Siendo así se determinó en primera instancia que para el cumplimiento del objetivo general del proyecto se implementó un enfoque de tipo descriptivo a partir del desarrollo de un estudio de caso en el cual se contemplaron seis municipios del área de influencia directa del proyecto Ituango en el que se identificaron las características de la situación problema que en este caso fue la incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastres para eventos asociados a movimientos en masa.

Así mismo esta investigación es de tipo mixto la cual desarrolla análisis cuantitativos y cualitativos para aquella información estadística que soportará el desarrollo de los objetivos específicos planteados.

Como menciona Barrantes (2014) la investigación múltiple o investigación mixta, son nombres que ha recibido este tipo de investigación, el enfoque mixto puede ser comprendido

como “(...) un proceso que recolecta analiza y vierte datos cuantitativos y cualitativos, en un mismo estudio”

Es importante mencionar lo explicado por (Ocampo, 2019), en una investigación con enfoque mixto, tanto el enfoque cuantitativo como el cualitativo son importantes y valiosos, ninguno prevalece respecto al otro se deben trabajar de manera conjunta lo que permite analizar la realidad de una manera integral.

Como señalan Teddlie y Tashakkori (2003), el desarrollo de un estudio mixto se basa en el planteamiento del problema, realizar la recolección y posterior análisis de los datos, y finalmente el reporte del estudio, así mismo es importante resaltar que el enfoque mixto no es solamente la recolección de datos de diferente manera pero sobre el mismo fenómeno, esto implica que desde el planteamiento del problema se deba mezclar la lógica inductiva y la deductiva.

El método utilizado corresponde al lógico deductivo donde se aplicó el análisis de las variables climatológicas partiendo de datos conocidos como las generadas por las estaciones climatológicas del IDEAM y la fuente de datos de la UNGRD y DesInventar para encontrar relaciones con los seis municipios del estudio de caso del proyecto.

La técnica desarrollada fue el análisis documental que se encargó de recopilar la información histórica de aquellos eventos ocurridos en los seis municipios del área de influencia directa del proyecto Ituango, así mismo se realizó la caracterización de los registros multitemporales asociados a precipitaciones del área de estudio, de esta manera se usa como instrumento una serie de ases de datos donde se compila la información capturada.

El método de análisis de los datos identificados se basó en desarrollar un ejercicio estadístico usando Excel y herramientas espaciales como Argis para organizar la información secuencialmente y poder identificar aquellas variaciones o extremos presentados en las precipitaciones y su relación con los eventos presentados en los municipios.

La población de este estudio fue los registros de precipitaciones de los seis municipios del área de influencia del proyecto Ituango así como la base de información de emergencias de la UNGRD y el consolidado de DesInventar para un periodo de 1998 al 2020.

La muestra se compone entonces de seis estaciones meteorológicas y una base de información de registros antecedentes, es de carácter exploratorio sin antecedentes de relación entre la variabilidad climática los escenarios de riesgo de desastres y las pérdidas y daños.

Resultados y discusión

Con el propósito de poder determinar como la variabilidad climática desde sus fenómenos ENOS (niño y niña) extremos pueden incidir en los riesgos de desastres y estos a su vez como generan impactos y afectaciones a las comunidades, el ambiente y la infraestructura, como se puede ver en la Tabla 1 se parte como primera actividad haciendo una clasificación de los municipios priorizados de la zona de estudio en el departamento de Antioquia con el fin de utilizar el consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998 al 2020, de esta manera se extraen los eventos ocurridos en los municipios de Briceño, Ituango, Peque, Sabanalarga, San Andres de Cuerquia y Valdivia; con el fin de realizar un análisis de eventos asociados a exceso de lluvias, en particular: deslizamientos, inundaciones, flujos torrenciales, avenidas torrenciales, así mismo se contempla el escenario por déficit de precipitaciones para este caso los eventos asociados a sequias e incendios forestales.

Tabla 1

Base consolidado anual de emergencias – UNGRD 1998 -2020

FECHA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	EVENTO	MUERTOS	HERIDOS	DESAPA.	PERSONAS	FAMILIAS	VIV.DESTRU.	VIV.AVER.	VIAS	C.EDUCAT.
1999/05/1	ANTIOQUIA	SABANALARGA	DESLIZAMIENTO	3	2				1			
2001/06/5	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	4		10	60	14		3	1	
2004/08/1	ANTIOQUIA	VALDIVIA	VENDAVAL									
2004/11/10	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO				100	20				

2005/06/27	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO		100	20	20	
2005/10/8	ANTIOQUIA	PEQUE	DESLIZAMIENTO		1,04	19	3	14
					2	4		8
2006/07/6	ANTIOQUIA	SABANALARGA	VENDAVAL		20	4		4
2006/07/31	ANTIOQUIA	PEQUE	VENDAVAL		25	5		
2007/05/20	ANTIOQUIA	VALDIVIA	INUNDACION		20	4	1	3
2008/06/25	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	1				
2008/07/25	ANTIOQUIA	VALDIVIA	VARIOS		1,25	25		25
					0	0		0
2008/09/14	ANTIOQUIA	PEQUE	VENDAVAL		1,00	20		20
					0	0		0
2008/12/14	ANTIOQUIA	BRICEÑO	INUNDACION		250	50		50
2009/04/11	ANTIOQUIA	SAN ANDRES	VENDAVAL		9,00	1,8		
					0	00		
2009/04/11	ANTIOQUIA	BRICEÑO	VENDAVAL	1	10	3	3	
2009/04/11	ANTIOQUIA	ITUANGO	VENDAVAL		50	10		10
2009/05/10	ANTIOQUIA	VALDIVIA	VENDAVAL		250	50	1	33
							7	
2009/05/16	ANTIOQUIA	ITUANGO	INUNDACION		40	8		8
	ANTIOQUIA	ITUANGO	DESLIZAMIENTO		2,61	52		52
2009/05/26					0	2		2
								8

Nota. Información obtenida a partir de la consulta realizada en el repositorio de emergencias de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD del periodo 1998-2020, ver anexo B.

Mayor frecuencia de ocurrencia de eventos

A partir de la información recopilada del consolidado anual de emergencias se procedió a filtrar por número de eventos ocurridos de lo cual se evidencia que en los municipios de Valdivia e Ituango se concentra la mayor cantidad de fenómenos de los seis municipios determinados para este estudio como se muestra en la Tabla 2, de acuerdo con el reporte de la UNGRD este tipo de eventos se encuentra relacionado con su ubicación geográfica, la geomorfología de la zona y la concentración de población.

Tabla 2

Municipios con mayor frecuencia de ocurrencia

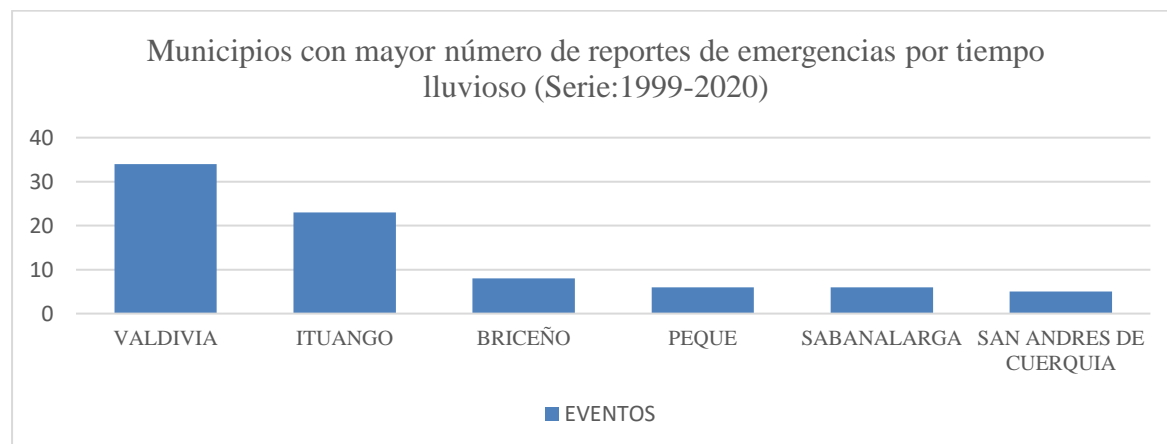
Municipio	Evento
VALDIVIA	34
ITUANGO	23
BRICEÑO	8
PEQUE	6
SABANALARGA	6
SAN ANDRES DE CUERQUIA	5

Nota. Elaboración propia, generado a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD, muestra la ponderación de eventos ocurridos por municipio para el periodo 1998-2020.

Como se puede observar en la Figura 2 el municipio que presenta la mayor cantidad de eventos ocurridos es Valdivia, presentando 34 eventos para el registro analizado.

Figura 2

Ranking de municipios con mayor número de eventos



Nota. Elaboración propia, ranking de eventos ocurridos asociados a eventos hidrometeorológicos a partir del consolidado anual de la UNGRD.

Años en los que hubo mayor cantidad de eventos

De acuerdo con la información recopilada se desarrolló una clasificación de los años con mayor cantidad de eventos, como se puede observar en la Tabla 3 el año 2010 fue donde más eventos se registraron alcanzando 129, lo cual concuerda con el evento asociado al fenómeno de la niña (2010-2011), por otra parte el año 2002 fue el que menos eventos registró.

Tabla 3

Años con mayor cantidad de eventos en los municipios del estudio

Año	Evento
2010	129
2008	95
2017	93
2011	84
2020	84
2009	62
2013	60
2012	56
1999	47
2007	46
2016	46
2019	45
2005	43
2006	36
2014	32
1998	30
2018	27
2000	23
2003	20
2004	19

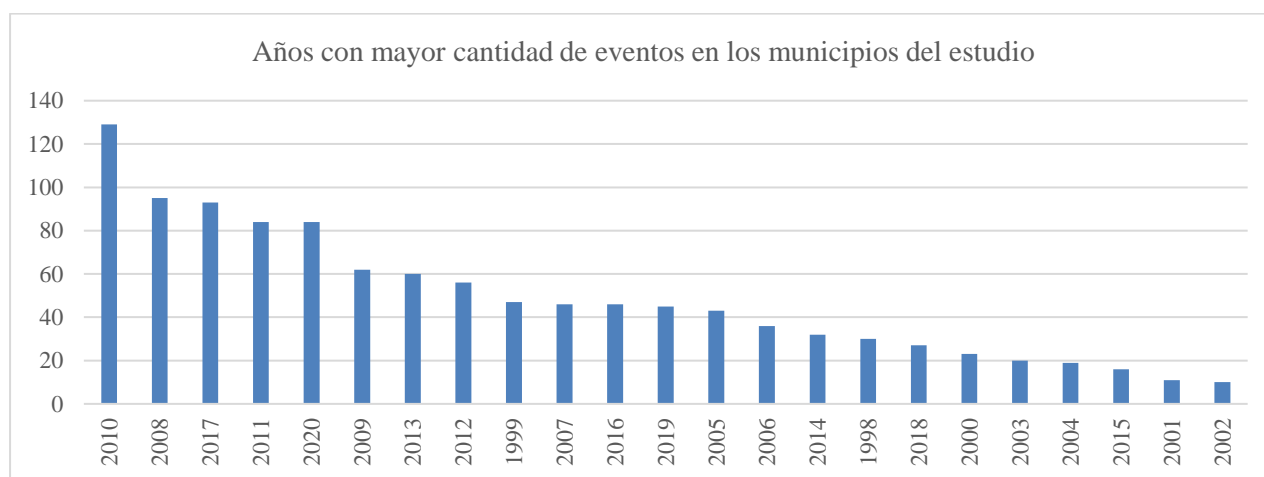
Año	Evento
2015	16
2001	11
2002	10
Total general	1114

Nota. Se presenta la consolidación de eventos ocurridos dentro del periodo 1998-2022, generado a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD 1998-2020.

A partir de la clasificación en la Tabla 3, se catalogaron los años con mayor recurrencia de eventos mostrando la incidencia que tuvo el fenómeno de la niña en el año 2010 cuando se presentó la mayor cantidad de eventos seguido de los años 2008 y 2017 como se muestra en la Figura 3, mostrando un patrón cíclico o tendencia como lo ha desarrollado el IDEAM en el año 2022 donde presenta la relación a los fenómenos ENOS.

Figura 3

Años con mayor cantidad de eventos



Nota. Elaboración propia, clasificación de años con mayor número de eventos ocurridos a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020.

Meses del año en los que ha sido más frecuente la ocurrencia de deslizamientos y demás eventos.

Utilizando la información anterior se clasificó el número de eventos ocurridos por meses del año para lo cual arrojo que los meses con mayor cantidad de eventos son mayo y noviembre lo cual concuerda con las dos temporadas de lluvias que se presentan al año en el departamento de Antioquia como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4

Meses del Año con mayor ocurrencia de deslizamientos, inundaciones, avenidas torrenciales, vendavales e incendios forestales

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1998	1	1			1	1	2			4	4	6	30
1999	5	11		3	5	3			3	8	6	3	47
2000			1		5	9	1		3	3	1		23
2001				1		1				3	5	1	11
2002				4	2	2			1	1			10
2003	1			2	2	3		1	5	3	1	2	20
2004				1	5	1				5	7		19
2005	1			1	18			1	2	10	9	1	43
2006			2	1	20	4				3	5	1	36
2007	1			3	14	2		6	1	4	9	6	46
2008			2	1	27	5	2	7	6	6	22	17	95
2009	3	3	8	7	9	7	5	2	1	3	11	3	62
2010			2	4	5	6	10	2	9	5	21	65	129
2011		2	1	16	4	16	2	5	7	15	10	6	84

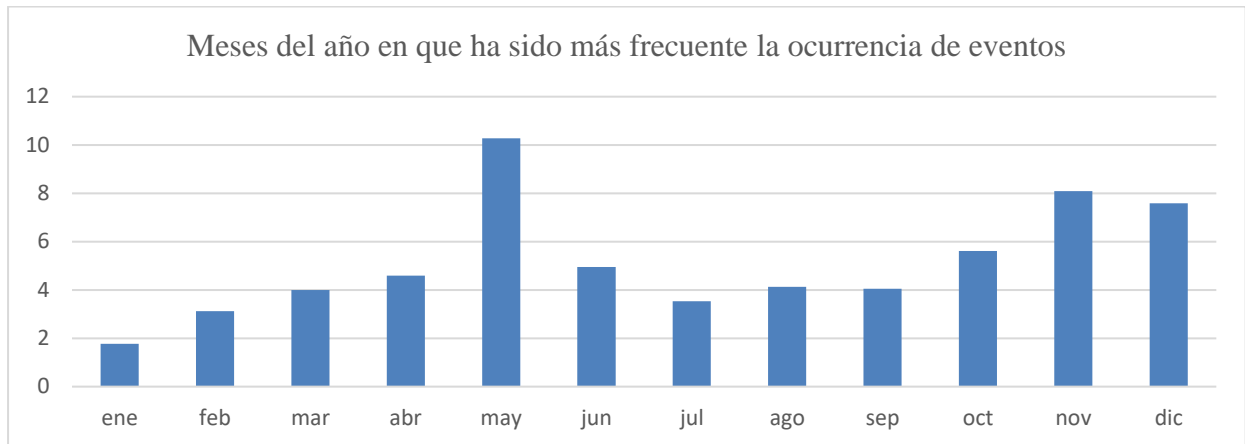
2012	1	2	7	3	19	12	7	1	3	1		56	
2013			3	7	14	5	3	2	10	1	12	3	60
2014	1	1	1		5	9	1	3	2	2	5	2	32
2015				3	3	1	2	2	1		4		16
2016				2	5	3	3	4	4	11	9	5	46
2017	2		17	7	30	6	2		9	10	9	1	93
2018		1	2	11	8	1	2	2					27
2019		4	2	9	14	4		1	1	3	5	2	45
2020				6	1	8	11	17	7	15	14	5	84
Promedio	2	3	4	5	10	5	4	4	4	6	8	8	

Nota. Información procesada a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD, estimación de los meses con mayor recurrencia de deslizamientos y otros eventos detonados por precipitaciones.

De acuerdo con el atlas climatológico del IDEAM la distribución de las lluvias durante el año es de tipo bimodal lo cual ocurre en la mayor parte del departamento, se presentan dos temporadas la primera seca al inicio del año y otra a mediados, para la temporada invernal se presenta una entre abril y mayo y la segunda entre los meses de octubre y noviembre como se puede ver en la Figura 4, en la zona del bajo Cauca, el régimen es de tipo monomodal con una única época seca de diciembre a marzo y una temporada lluviosa el resto del año.

Figura 4

Meses con mayor recurrencia de eventos



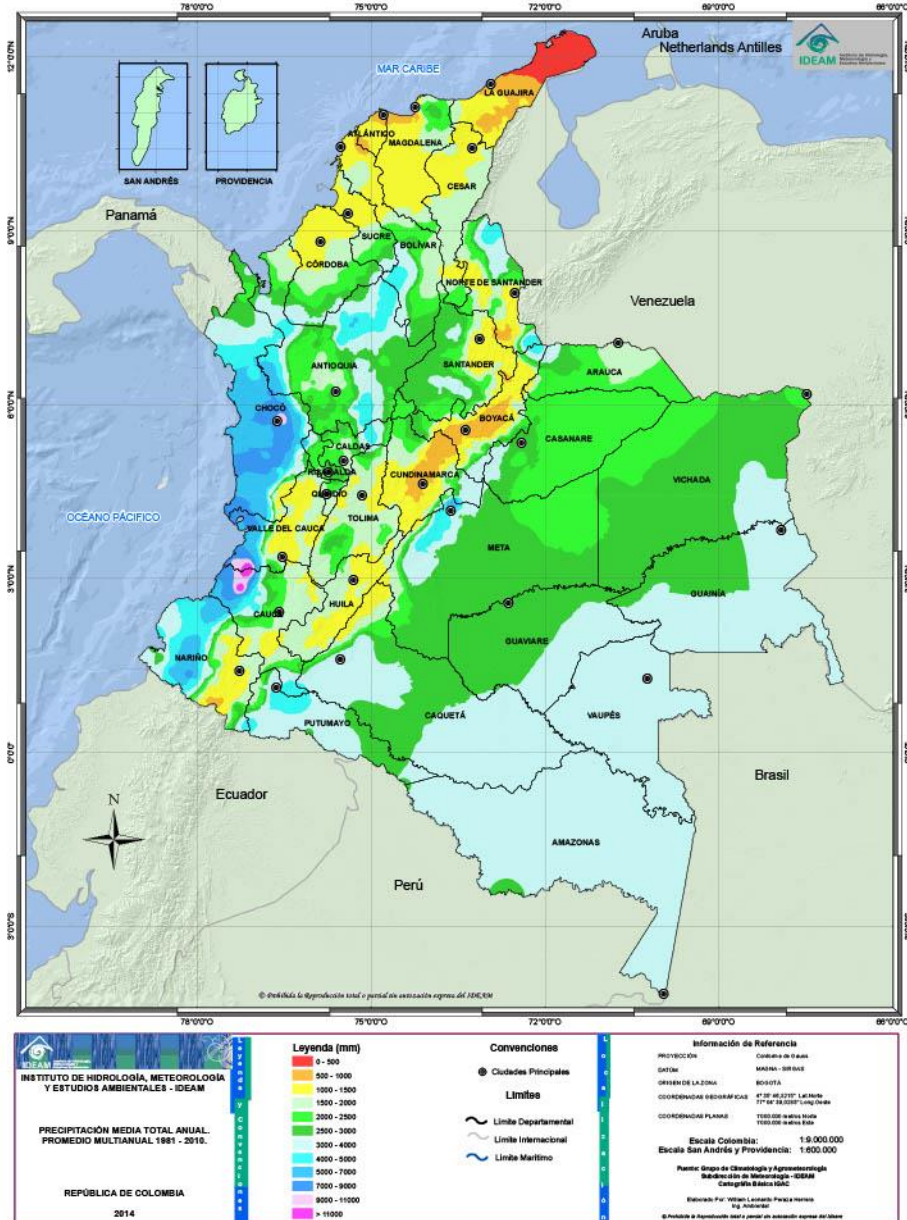
Nota. Elaboración propia, meses del año en los cuales ha sido más recurrente los eventos a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020.

Climatología de la precipitación promedio anual del departamento y la de los meses en los que se incrementa notoriamente el número de eventos

En la Figura 5 se presenta el mapa de precipitación media total anual para el periodo 1981-2010 el cual muestra el comportamiento que ha tenido la distribución de la precipitación en el país, de acuerdo con esta información se puede estimar el promedio de precipitación anual para cada uno de los municipios seleccionados para el estudio permitiendo observar los patrones generales que inciden sobre los territorios dados por su ubicación geográfica así como el comportamiento de las corrientes de vientos y la oscilación de la zona de confluencia intertropical.

Figura 5

Precipitación media total anual

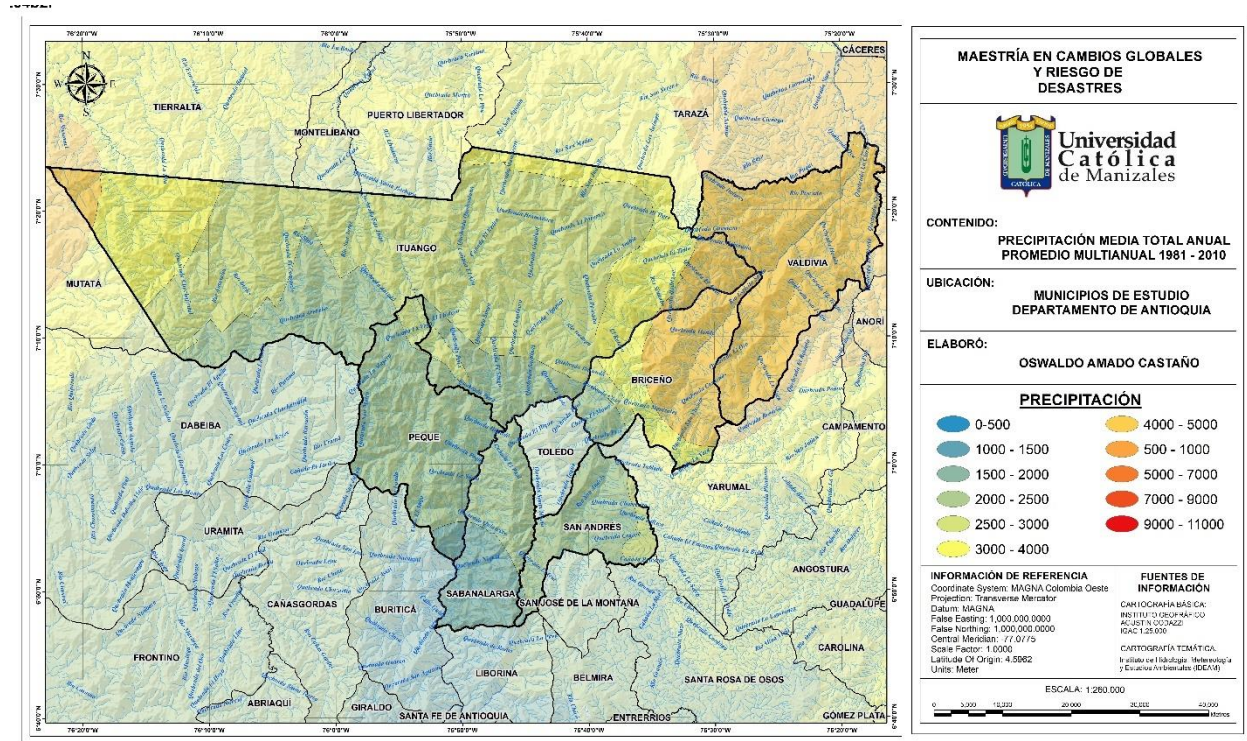


Nota. Adaptado de Precipitación media total anual, promedio multianual 1981-2010 de William Leonardo Peraza Herrera, 2014 Fuente. Grupo de Climatología y Agrometeorología Subdirección de Meteorología - IDEAM.

Utilizando el mapa de precipitación media anual se ubicó espacialmente los municipios del estudio con el fin de poder determinar de manera general el comportamiento de la precipitación como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Oscilación anual de precipitación para los municipios del estudio



Nota. Adaptado de Precipitación media total anual, promedio multianual 1981-2010 de William Leonardo Peraza Herrera, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

De acuerdo con la espacialización de los municipios del estudio se desarrolla un análisis del comportamiento de las precipitaciones para el periodo 1998-2010 tratando de identificar

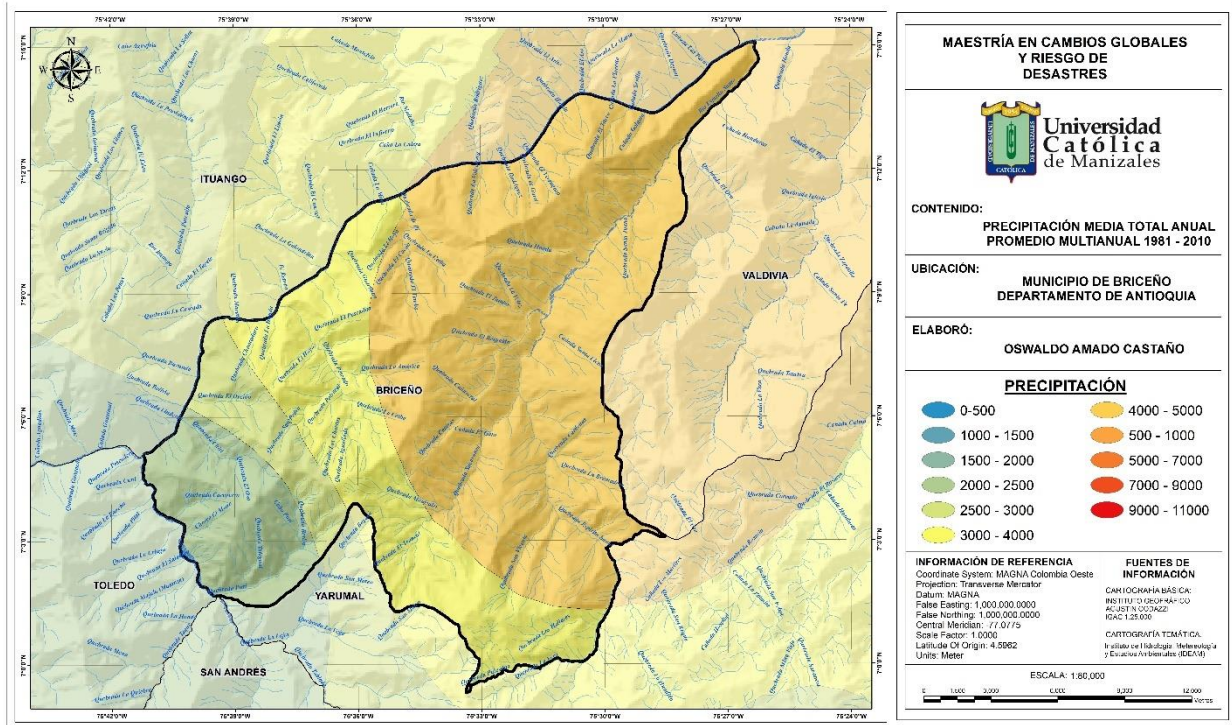
comportamientos estacionales que concuerden con la materialización de los eventos identificados.

Distribución de la precipitación para el municipio de Briceño

Para el municipio de Briceño se presenta un promedio de precipitación que oscila entre 2000-4000 mm, como se puede observar en la Figura 7.

Figura 7

Distribución de la precipitación media total municipio de Briceño



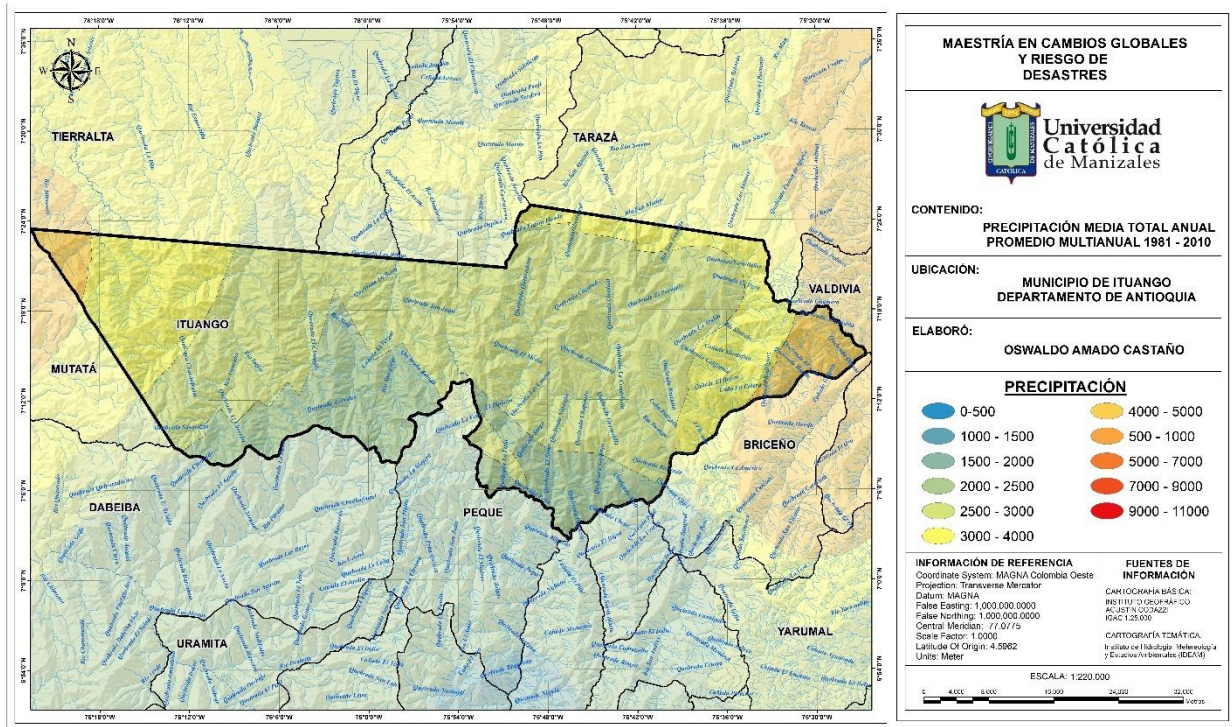
Nota. Adaptado de Precipitación media total anual, promedio multianual 1981-2010 de William Leonardo Peraza Herrera, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Distribución de la precipitación para el municipio de Ituango

Para el municipio de Ituango se presenta un promedio de precipitación que oscila entre 1500-4000 mm, dadas sus condiciones geográficas y por su gran extensión territorial, como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8

Distribución de la precipitación media total municipio de Ituango



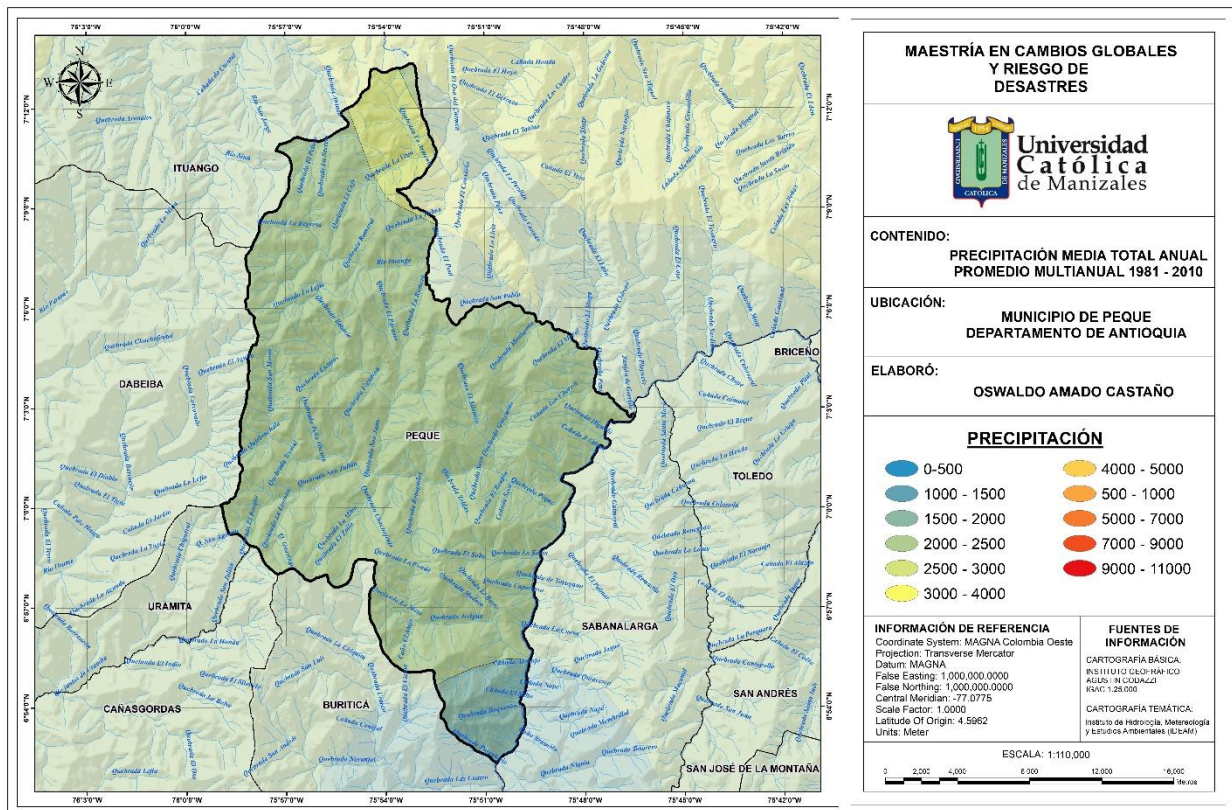
Nota. Adaptado de Precipitación media total anual, promedio multianual 1981-2010 de William Leonardo Peraza Herrera, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Distribución de la precipitación para el municipio de Peque

Para el municipio de Peque se presenta un promedio de precipitación que oscila entre 1500-3000 mm, como se puede observar en la Figura 9.

Figura 9

Distribución de la precipitación media total municipio de Peque



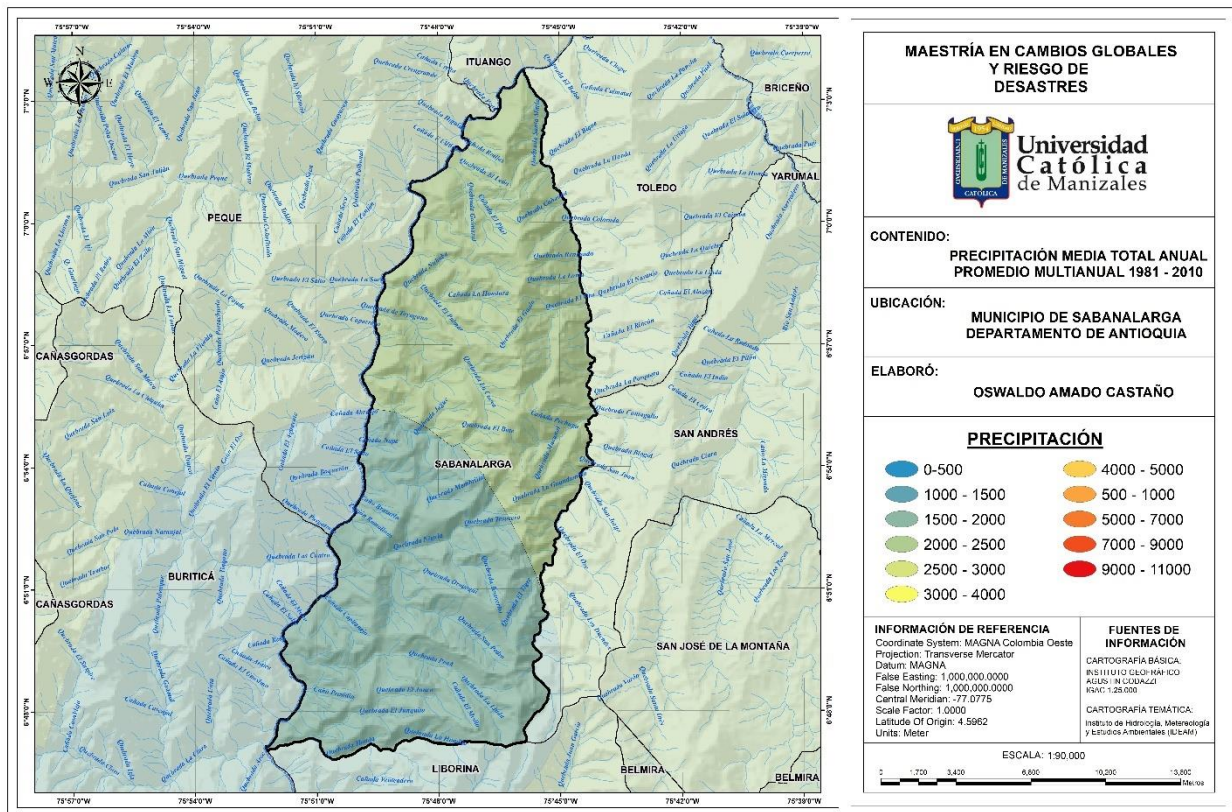
Nota. Adaptado de Precipitación media total anual, promedio multianual 1981-2010 de William Leonardo Peraza Herrera, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Distribución de la precipitación para el municipio de Sabanalarga

Para el municipio de Sabanalarga se presenta un promedio de precipitación que oscila entre 1500-2500 mm, como se puede observar en Figura 10.

Figura 10

Distribución de la precipitación media total municipio de Sabanalarga



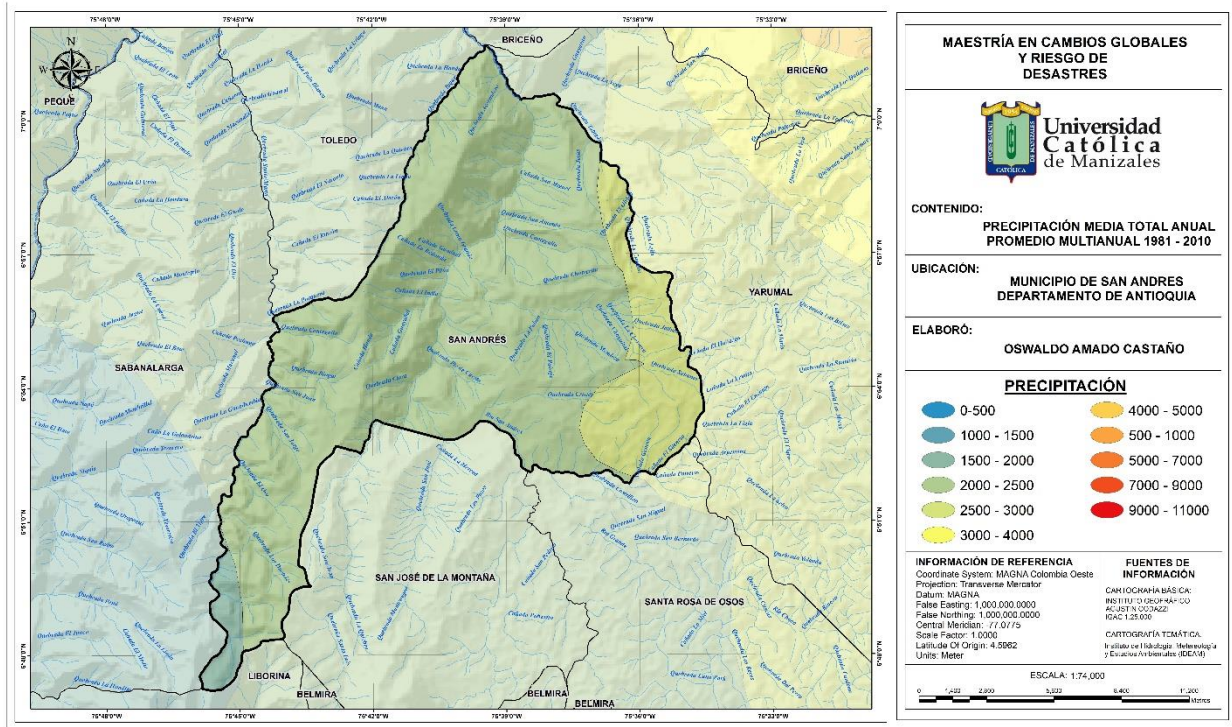
Nota. Adaptado de Precipitación media total anual, promedio multianual 1981-2010 de William Leonardo Peraza Herrera, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Distribución de la precipitación para el municipio de San Andres de Cuerquia

Para el municipio de San Andres de Cuerquia se presenta un promedio de precipitación que oscila entre 1000-3000 mm, como se puede observar en la Figura 11.

Figura 11

Distribución de la precipitación media total municipio de San Andres de Cuerquia



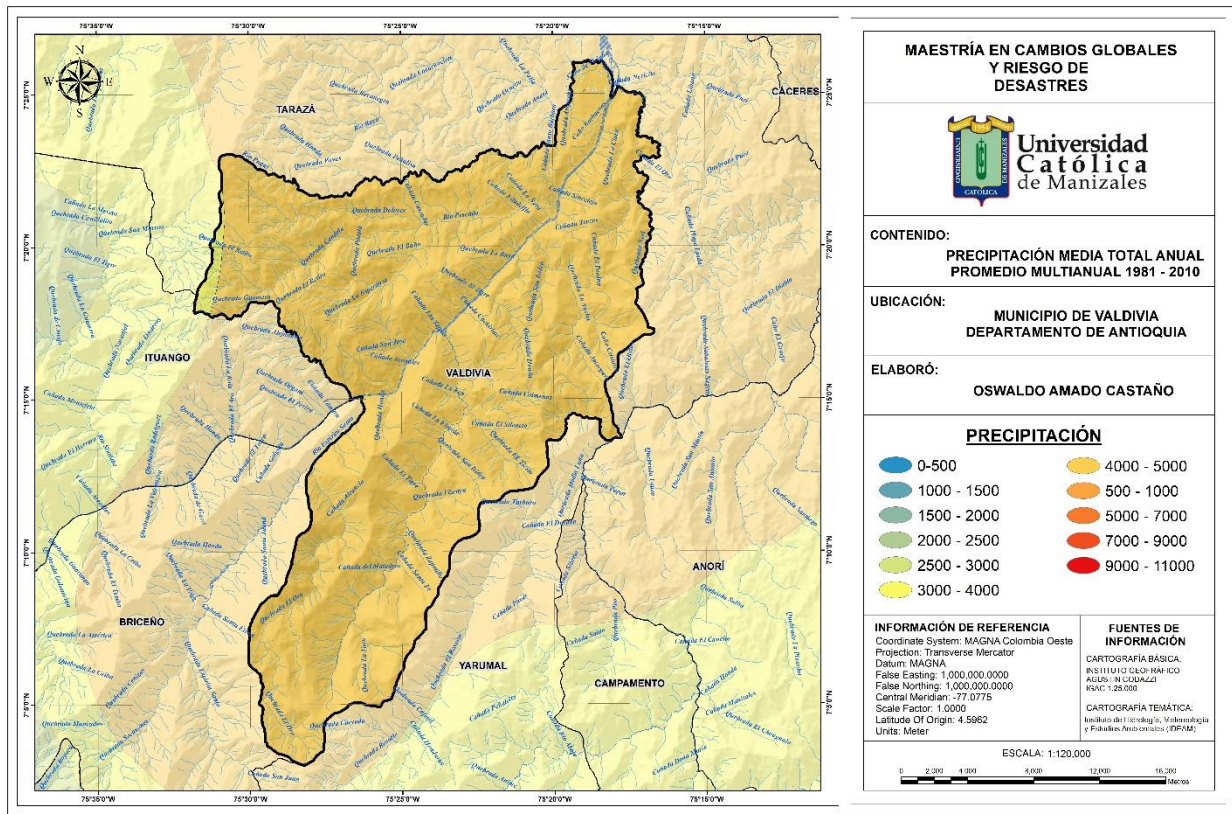
Nota. Adaptado de Precipitación media total anual, promedio multianual 1981-2010 de William Leonardo Peraza Herrera, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Distribución de la precipitación para el municipio de Valdivia

Para el municipio de Valdivia se presenta un promedio de precipitación que oscila entre 3000-7000 mm, dadas sus condiciones geográficas y por encontrarse en el bajo Cauca Antioqueño, como se puede observar en Figura 12.

Figura 12

Distribución de la precipitación media total municipio de Valdivia



Nota. Adaptado de Precipitación media total anual, promedio multianual 1981-2010 de William Leonardo Peraza Herrera, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Años de mayor frecuencia de eventos analizados con periodos Niño-Neutral-Niña

De acuerdo con la Tabla 5 el año en que mayor incidencia se presentó eventos fue el año 2010 el cual mostró durante el año valores superiores a -0.5 durante más de 5 meses lo cual consolidó el fenómeno de la niña a partir del segundo semestre del año.

Tabla 5

Consolidación fenómenos ENOS

Year	DIE	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2

Nota. Elaborado a partir de National Weather service Climate Prediction Center (12 de febrero 2022). https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Teniendo como base la información consolidada 1997-2020 se pudo evidenciar que para los municipios de la zona de estudio con mayor número de registros de eventos se concentraron en el año 2010 y 2011 lo cual concuerda con la consolidación del fenómeno de la niña según la Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 6*Índice oceánico el niño para los municipios del estudio*

FECHA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	EVENTO	INDICE OCEANICO EL NIÑO -ONI
1999/05/1	ANTIOQUIA	SABANALARGA	DESLIZAMIENTO	NIÑA MODERADA
2001/06/5	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2004/08/1	ANTIOQUIA	VALDIVIA	VENDAVAL	NIÑO DEBIL
2004/11/10	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑO DEBIL
2005/06/27	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2005/10/8	ANTIOQUIA	PEQUE	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2006/07/6	ANTIOQUIA	SABANALARGA	VENDAVAL	NEUTRAL
2006/07/31	ANTIOQUIA	PEQUE	VENDAVAL	NEUTRAL
2007/05/20	ANTIOQUIA	VALDIVIA	INUNDACION	NEUTRAL
2008/06/25	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑA DEBIL
2008/09/14	ANTIOQUIA	PEQUE	VENDAVAL	NEUTRAL
2008/12/14	ANTIOQUIA	BRICEÑO	INUNDACION	NIÑA DEBIL
2009/04/11	ANTIOQUIA	SAN ANDRES	VENDAVAL	NEUTRAL
2009/04/11	ANTIOQUIA	BRICEÑO	VENDAVAL	NEUTRAL
2009/04/11	ANTIOQUIA	ITUANGO	VENDAVAL	NEUTRAL
2009/05/10	ANTIOQUIA	VALDIVIA	VENDAVAL	NEUTRAL
2009/05/16	ANTIOQUIA	ITUANGO	INUNDACION	NEUTRAL
2009/05/26	ANTIOQUIA	ITUANGO	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2009/06/10	ANTIOQUIA	VALDIVIA	VENDAVAL	NEUTRAL
2010/06/16	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑA DEBIL
2010/06/24	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑA DEBIL
2010/06/28	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑA DEBIL
2010/08/11	ANTIOQUIA	BRICEÑO	DESLIZAMIENTO	NIÑA MODERADA
2010/09/13	ANTIOQUIA	SAN ANDRES DE CUERQUIA	DESLIZAMIENTO	NIÑA FUERTE
2010/11/3	ANTIOQUIA	VALDIVIA	INUNDACION	NIÑA FUERTE
2010/12/15	ANTIOQUIA	ITUANGO	INUNDACION	NIÑA FUERTE
2010/12/15	ANTIOQUIA	PEQUE	INUNDACION	NIÑA FUERTE
2010/12/15	ANTIOQUIA	SABANALARGA	INUNDACION	NIÑA FUERTE
2011/04/13	ANTIOQUIA	SAN ANDRES DE CUERQUIA	DESLIZAMIENTO	NIÑA DEBIL
2011/04/20	ANTIOQUIA	VALDIVIA	INUNDACION	NIÑA DEBIL

2012/03/8	ANTIOQUIA	SAN ANDRES DE VENDAVAL		NIÑA DEBIL
		CUERQUIA		
2012/04/28	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑA DEBIL
2012/10/20	ANTIOQUIA	SAN ANDRES DE VENDAVAL	INUNDACION	NEUTRAL
		CUERQUIA		
2013/05/23	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2013/09/24	ANTIOQUIA	VALDIVIA	VENDAVAL	NEUTRAL
2014/09/25	ANTIOQUIA	BRICEÑO	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2015/04/25	ANTIOQUIA	VALDIVIA	INUNDACION	NIÑO DEBIL
2015/05/14	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑO DEBIL
2015/05/15	ANTIOQUIA	VALDIVIA	VENDAVAL	NIÑO DEBIL
2016/04/23	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑO DEBIL
2016/09/19	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NIÑA DEBIL
2017/05/11	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2017/05/12	ANTIOQUIA	VALDIVIA	INUNDACION	NEUTRAL
2017/05/31	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2017/06/8	ANTIOQUIA	ITUANGO	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2017/06/15	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2017/07/1	ANTIOQUIA	BRICEÑO	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2018/05/30	ANTIOQUIA	VALDIVIA	DESLIZAMIENTO	NEUTRAL
2019/04/2	ANTIOQUIA	ITUANGO	VENDAVAL	NIÑO DEBIL
2019/04/2	ANTIOQUIA	BRICEÑO	VENDAVAL	NIÑO DEBIL
2019/05/19	ANTIOQUIA	VALDIVIA	INUNDACION	NIÑO DEBIL
2020/06/8	ANTIOQUIA	SAN ANDRES DE VENDAVAL		NEUTRAL
		CUERQUIA		
2020/07/31	ANTIOQUIA	VALDIVIA	MOVIMIENTO MASA	EN NEUTRAL
2020/07/31	ANTIOQUIA	BRICEÑO	MOVIMIENTO MASA	EN NEUTRAL
2020/08/15	ANTIOQUIA	SABANALARGA	MOVIMIENTO MASA	EN NIÑA DEBIL
2020/10/13	ANTIOQUIA	SABANALARGA	MOVIMIENTO MASA	EN NIÑA MODERADA
2020/11/23	ANTIOQUIA	VALDIVIA	MOVIMIENTO MASA	EN NIÑA MODERADA
2020/11/27	ANTIOQUIA	VALDIVIA	MOVIMIENTO MASA	EN NIÑA MODERADA

Nota. Elaborado a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020.

Pérdidas en infraestructura, y análisis en relación con las personas fallecidas y heridas

Una vez identificados los fenómenos presentados en los municipios del estudio, se realizó la identificación de su origen y a partir del consolidado de emergencias se desarrolló una identificación por municipio como se puede ver a continuación:

Para el municipio de Briceño los eventos más recurrentes están asociados a las inundaciones, los movimientos en masa y los vendavales lo cual incide directamente en afectaciones sobre las viviendas y en afectaciones sobre las personas mismas.

Tabla 7

Pérdidas y afectaciones municipio de Briceño

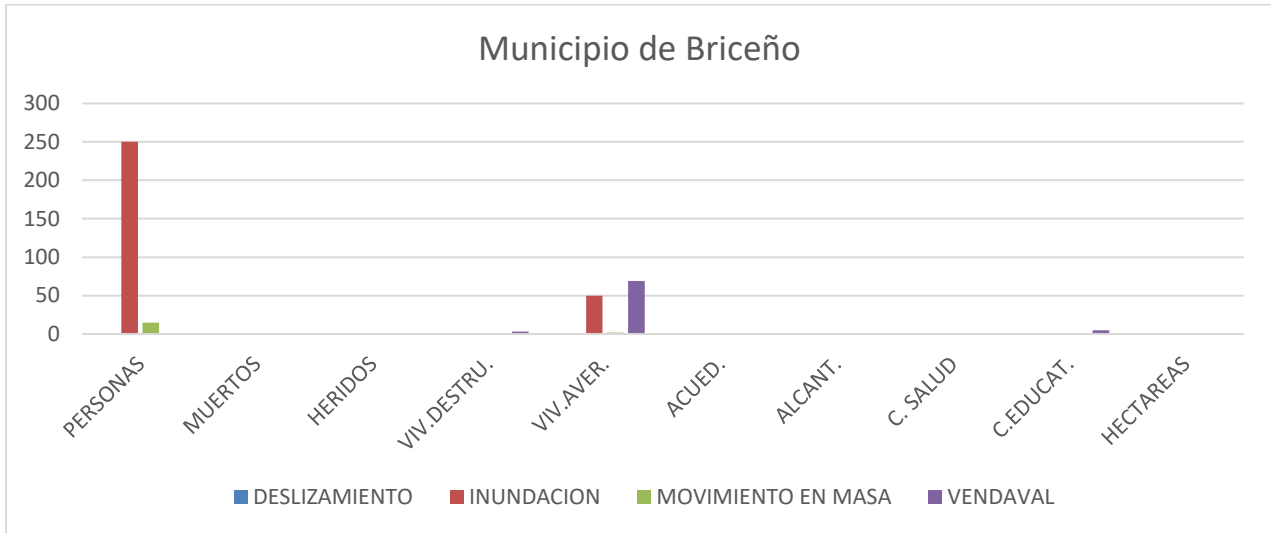
BRICEÑO	PERSO NAS	MUER TOS	HERID OS	VIV.DES TRU.	VIV.AV ER.	ACUE D.	ALCA NT.	C. SALUD	C.EDUC AT.	HECTAR EAS
DESLIZAMIE NTO		1		1					1	
INUNDACION	250				50					
MOVIMIENTO EN MASA	15				2					
VENDAVAL		1		3	69				5	
Total general	265	2	0	4	121	0	0	0	6	0

Nota. En la tabla se muestra la cantidad de afectaciones presentadas en el municipio de Briceño a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020

Gráficamente se puede observar en la Figura 13 que el mayor número de afectaciones se centra en las personas, lo cual se puede entender por una mayor exposición a los fenómenos.

Figura 13

Pérdidas y afectaciones municipio de Briceño



Nota. Esta figura muestra el comportamiento de las pérdidas y afectaciones ocurridas por diversos fenómenos en el municipio de Briceño.

Para el municipio de Ituango los eventos más recurrentes están asociados a las inundaciones y deslizamientos seguido finalmente de vendavales lo cual incide directamente en afectaciones sobre las viviendas y en afectaciones sobre las personas mismas.

Tabla 8

Pérdidas y afectaciones municipio de Ituango

	PERSO NAS	MUER TOS	HERI DOS	VIV.DE STRU.	VIV.A VER.	ACUE D.	ALCA NT.	C. SALU D	C.EDU CAT.	HECTA REAS
DESLIZAMIENTO	2615	1		1	522				8	
INCENDIO DE COBERTURA VEGETAL										10

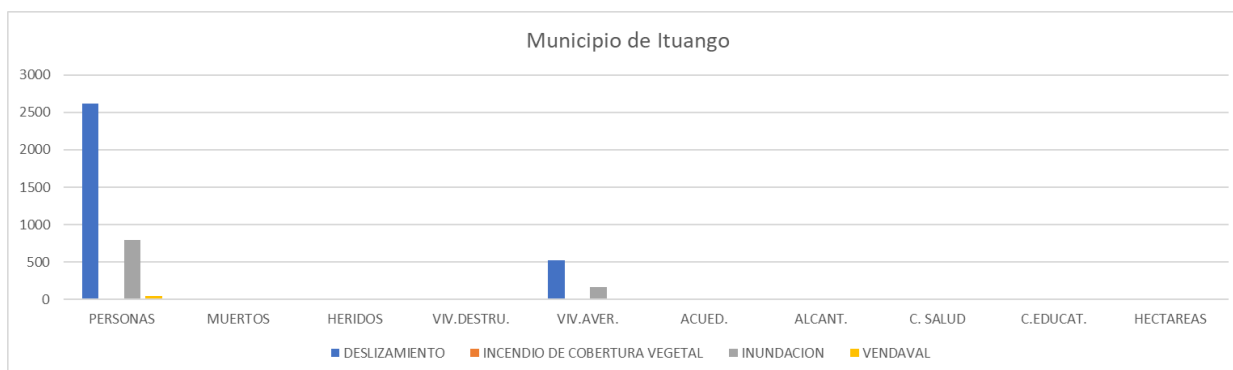
INUNDACION	798				171					
VENDAVAL	50								1	
Total general	3463	1	0	1	693	0	0	0	9	10

Nota. En la tabla se muestra la cantidad de afectaciones presentadas en el municipio de Ituango a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020

De acuerdo con la Figura 14 se puede establecer que los eventos asociados a movimientos en masa o deslizamientos seguidos son los que mayor numeros de afectados genera, seguidos por las inundaciones que provocan impactos en las viviendas, cultivos y enseres de las comunidades, finalmente otro evento que impacta el municipio son los vendales.

Figura 14

Pérdidas y afectaciones municipio de Ituango



Nota. Esta figura muestra el comportamiento de las pérdidas y afectaciones ocurridas por diversos fenómenos en el municipio de Ituango.

Para el municipio de Peque los eventos más recurrentes están asociados a los deslizamientos y las inundaciones, seguido finalmente de vendavales lo cual incide directamente en afectaciones sobre las viviendas y en afectaciones sobre las personas.

Tabla 9

Pérdidas y afectaciones municipio de Peque

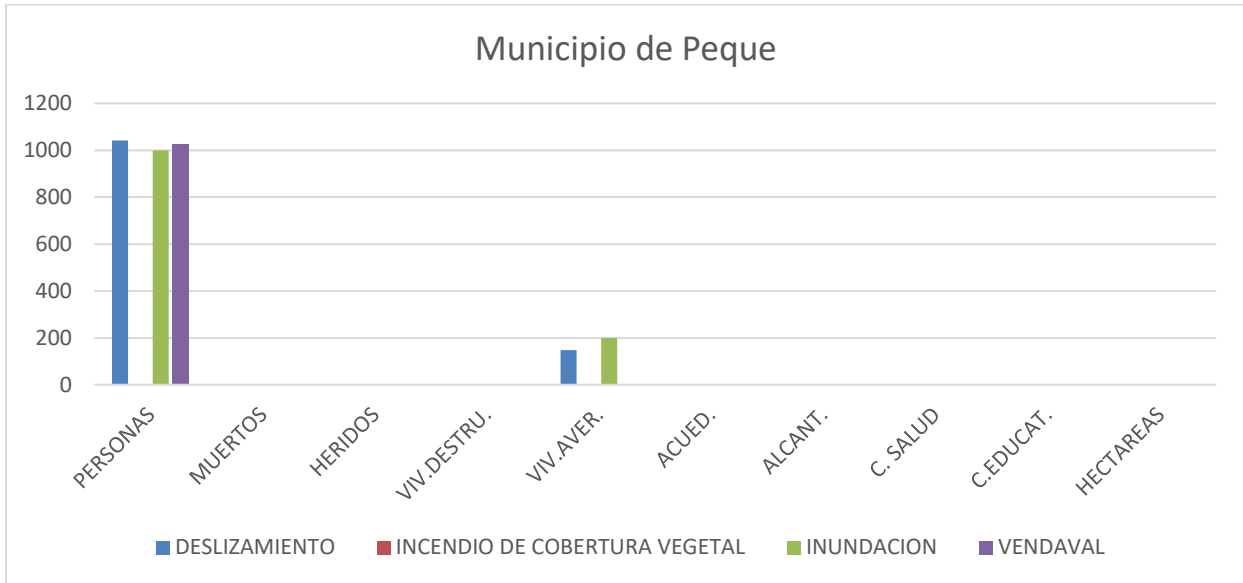
	PERSO	MUER	HERI	VIV.DES	VIV.A	CU	ALCA	C.	C.EDU	HECTA
PEQUE	NAS	TOS	DOS	TRU.	VER.	ED.	NT.	SALU	CAT.	REAS
DESlizamiento	1042			3	148					
INCENDIO DE COBERTURA VEGETAL										
INUNDACION	1000				200					
VENDAVAL	1025									
Total general	3067	0	0	3	348	0	0	0	0	0

Nota. En la tabla se muestra la cantidad de afectaciones presentadas en el municipio de Peque a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020

De acuerdo con la Figura 15 se puede establecer que los eventos asociados a movimientos en masa o deslizamientos son los que mayor numeros de afectados genera, seguidos por los vendales que provocan impactos en las viviendas, finalmente otro evento que impacta el municipio son las inundaciones impactando cultivos y enseres de las comunidades.

Figura 15

Pérdidas y afectaciones municipio de Peque



Nota. Esta figura muestra el comportamiento de las pérdidas y afectaciones ocurridas por diversos fenómenos en el municipio de Peque.

Para el municipio de Sabanalarga los eventos más recurrentes están asociados a las inundaciones, seguido de vendavales los cuales impactan las viviendas y algunos cultivos y finalmente los deslizamientos que aunque no tiene tantos eventos presenta fatalidades.

Tabla 10

Pérdidas y afectaciones municipio de Sabanalarga

	PERSO NAS	MUER TOS	HERI DOS	VIV.DES TRU.	VIV.A VER.	ACU ED.	ALCA NT.	C. SALU D	C.EDU CAT.	HECTA REAS
DESLIZAMIENTO	2	4	2	1						

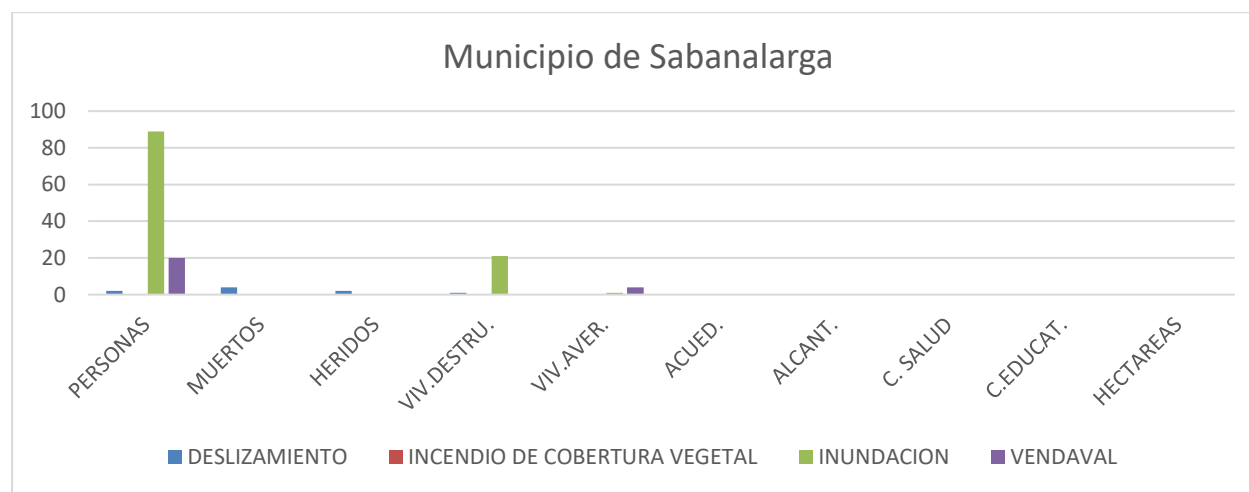
INCENDIO DE COBERTURA VEGETAL										
INUNDACION	89		21	1						
VENDAVAL	20			4						
Total general	111	4	2	22	5	0	0	0	0	0

Nota. En la tabla se muestra la cantidad de afectaciones presentadas en el municipio de Sabanalarga a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020.

De acuerdo con la Figura 16 se puede establecer que los eventos asociados a las inundaciones son los que mayor numero de afectados genera, seguidos por los vendales que provocan impactos en las viviendas, finalmente otro evento que impacta el municipio son los deslizamientos impactando cultivos y enseres de las comunidades, así mismo podemos observar que se presentan fatalidades por este tipo de eventos.

Figura 16

Pérdidas y afectaciones municipio de Sabanalarga



Nota. Esta figura muestra el comportamiento de las pérdidas y afectaciones ocurridas por diversos fenómenos en el municipio de Sabanalarga.

Para el municipio de San Andres de Cuerquia los eventos más recurrentes están asociados a los vendavales y finalmente los deslizamientos que aunque no tiene tantos eventos afectan la infraestructura.

Tabla 11

Pérdidas y afectaciones municipio de San Andres de Cuerquia

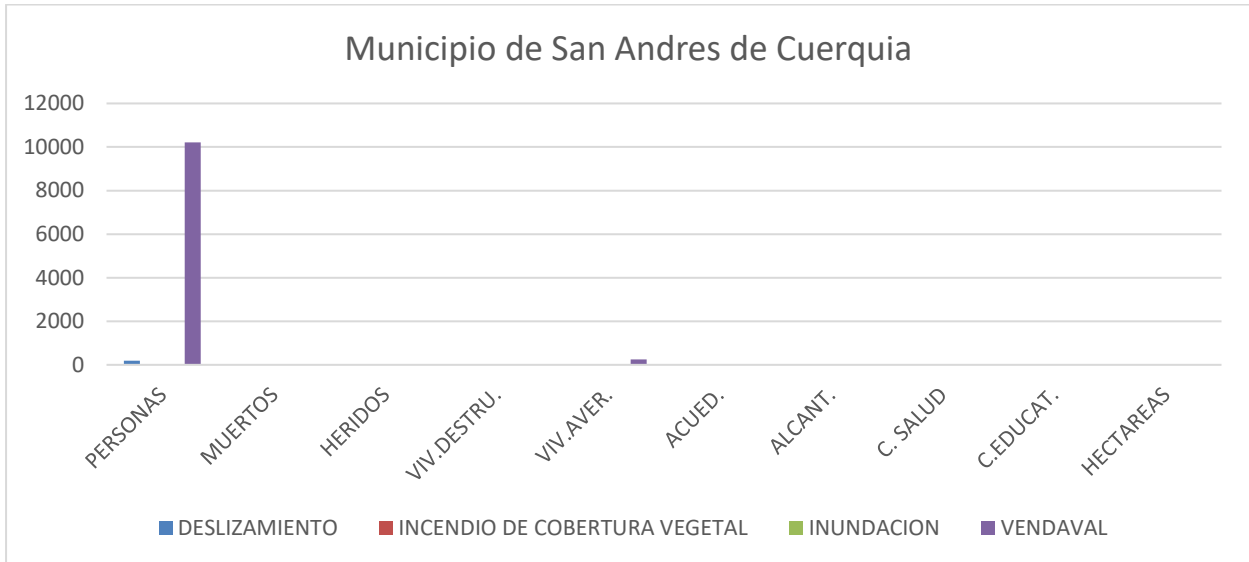
SAN ANDRES DE CUERQUIA	PERSO NAS	MUER TOS	HERI DOS	VIV.DES TRU.	VIV.A VER.	ACU ED.	ALCA NT.	C. SALU D	C.EDU CAT.	HECTA REAS
DESLIZAMIENTO	191			14	26					
INCENDIO DE COBERTURA VEGETAL										
INUNDACION										
VENDAVAL	10207				244	1	1		10	
Total general	10398	0	0	14	270	1	1	0	10	0

Nota. En la tabla se muestra la cantidad de afectaciones presentadas en el municipio de San Andres de Cuerquia a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020.

De acuerdo con la Figura 17 se puede establecer que los eventos asociados a los vendavlaes han generado una gran afectación a la población, seguidos por los deslizamientos que provocan impactos en las viviendas, finalmente otro evento que impacta el municipio son los deslizamientos generando pérdidas en cultivos y enseres.

Figura 17

Pérdidas y afectaciones municipio de San Andres de Cuerquia



Nota. Esta figura muestra el comportamiento de las pérdidas y afectaciones ocurridas por diversos fenómenos en el municipio de Sabanalarga.

Para el municipio de Valdivia los eventos más recurrentes están asociados a los vendavales dada su ubicación geográfica, asimismo en las zonas bajas del municipio se presentan inundaciones y finalmente en la mayor parte del territorio los deslizamientos que afectan la infraestructura tanto privada como pública.

Tabla 12

Pérdidas y afectaciones municipio de Valdivia

	PERSO	MUER	HERI	VIV.DES	VIV.A	ACU	ALCA	C.	C.EDU	HECTA
VALDIVIA	NAS	TOS	DOS	TRU.	VER.	ED.	NT.	SALU	CAT.	REAS
								D		
DESLIZAMIENTO	672	14	12	7	99	1	0	0	0	0

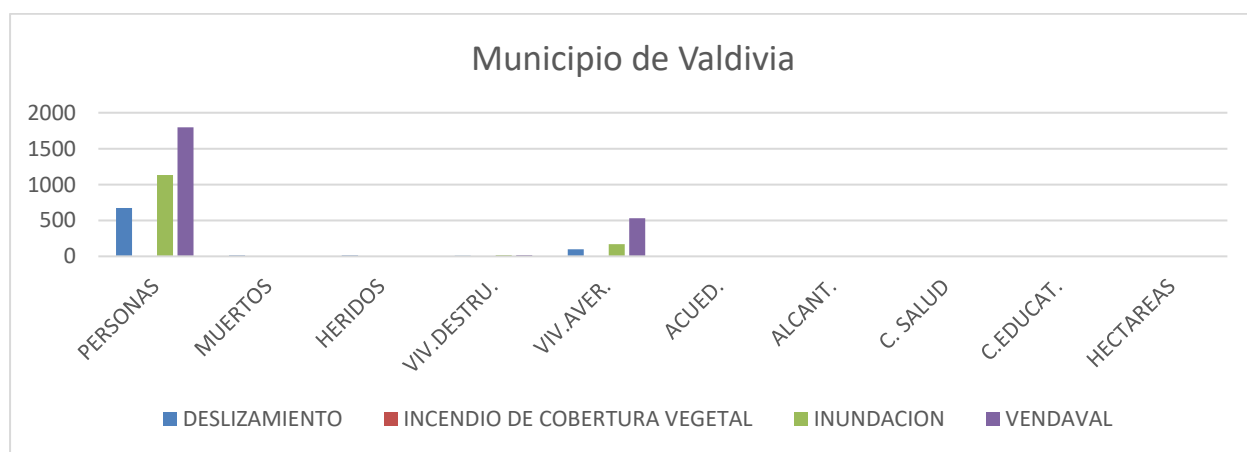
	PERSO	MUER	HERI	VIV.DES	VIV.A	ACU	ALCA	C.	C.EDU	HECTA
VALDIVIA	NAS	TOS	DOS	TRU.	VER.	ED.	NT.	SALU	CAT.	REAS
INCENDIO DE COBERTURA VEGETAL										
INUNDACION	1133	2		17	169					
VENDAVAL	1795			18	530					

Nota. En la tabla se muestra la cantidad de afectaciones presentadas en el municipio de Valdivia a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020.

De acuerdo con la Figura 18 se puede establecer que los eventos asociados a los vendavlaes han generado una gran afectación a la población, seguidos por las inundaciones que provocan impactos en las viviendas, finalmente otro evento que impacta el municipio son los deslizamientos generando pérdidas en cultivos y enseres.

Figura 18

Pérdidas y afectaciones municipio de Valdivia



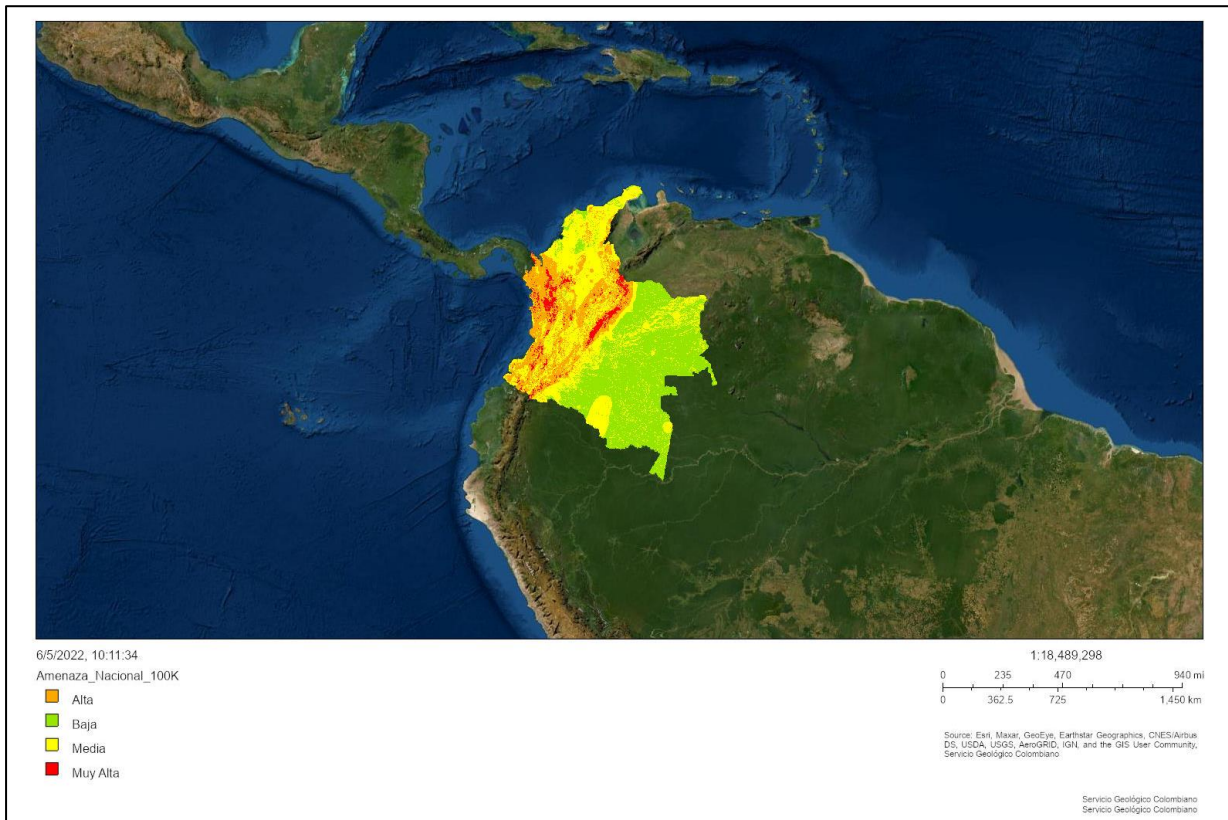
Nota. Esta figura muestra el comportamiento de las pérdidas y afectaciones ocurridas por diversos fenómenos en el municipio de Valdivia.

Amenaza por movimientos en masa

A partir del mapa de zonificación de amenaza se desarrolló la ubicación de los seis municipios utilizados para este estudio con el propósito de mostrar el comportamiento de los fenómenos asociados a movimientos en masa en el territorio los cuales pueden verse incrementados por los fenómenos hidrometeorológicos.

Figura 19

Mapa nacional de amenaza por movimientos en masa

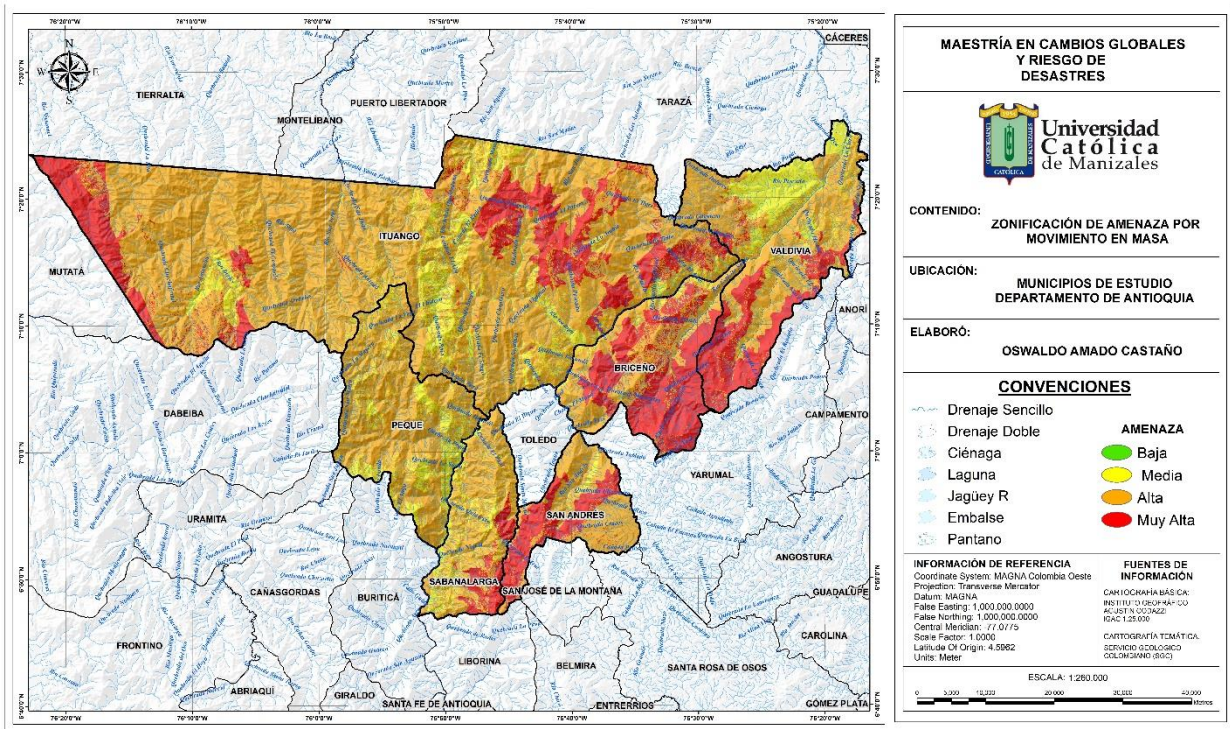


Nota. Generado a partir de Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community, Servicio Geológico Colombiano, 2022.

En la Figura 20 se presenta el mapa de movimiento en masa para los municipios de la zona de estudio en el departamento de Antioquia los cuales presentan una condición mayor en número de eventos dada su ubicación geográfica perteneciente a la cuenca media y baja del Cauca.

Figura 20

Mapa de amenaza para los municipios del estudio



Nota. Elaborado a partir de la zonificación de Amenaza. © SGC, Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022.

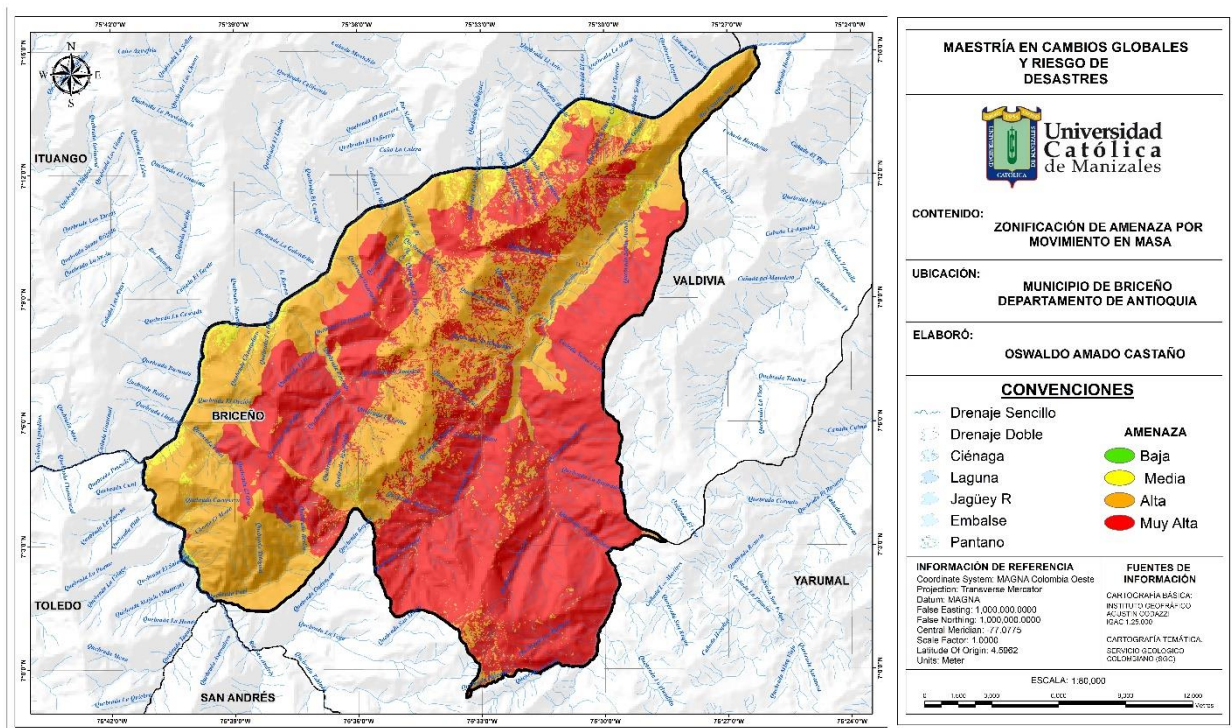
Amenaza por movimiento en masa municipio de Briceño

En el municipio de Briceño se presenta una topografía y morfología con predominantes pendientes por su posición geográfica dentro del entorno, además sus suelos ricos en limos y arcillas lo que en presencia de agua constante genera poca estabilidad de los terrenos siendo una particularidad que en algunas partes del territorio se presenten movimientos progresivos de suelos.

El municipio de Briceño presenta una distribución de zonas entre amenaza alta y muy alta según la Figura 21.

Figura 21

Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Briceño



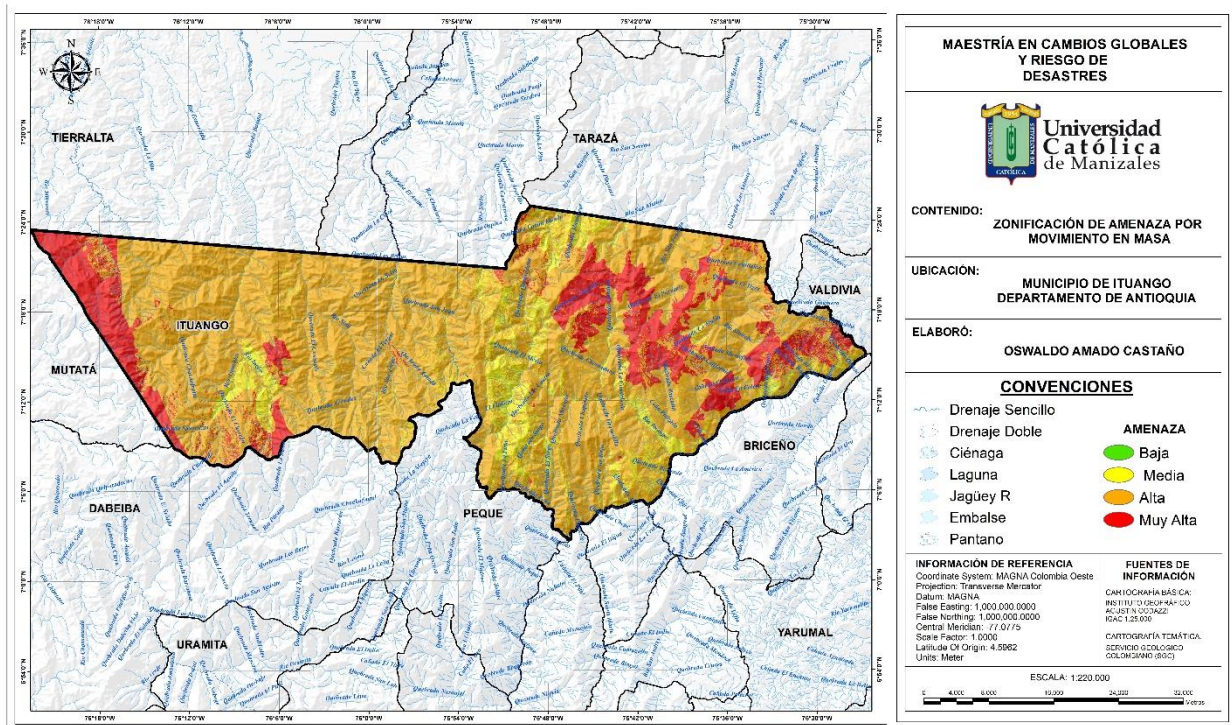
Nota. Elaborado a partir de la zonificación de Amenaza. © SGC, Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022.

Amenaza por movimiento en masa municipio de Ituango

En el municipio de Ituango, los fenómenos de movimientos en masa se presentan a causa de la topografía representada en grandes pendientes, la deforestación y uso extensivo de ganadería en zonas de ladera favorecen la desestabilización de los suelos incidiendo directamente en la materialización del fenómeno, el municipio de Ituango presenta una distribución de zonas entre amenaza media, alta y muy alta según la Figura 22.

Figura 22

Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Ituango



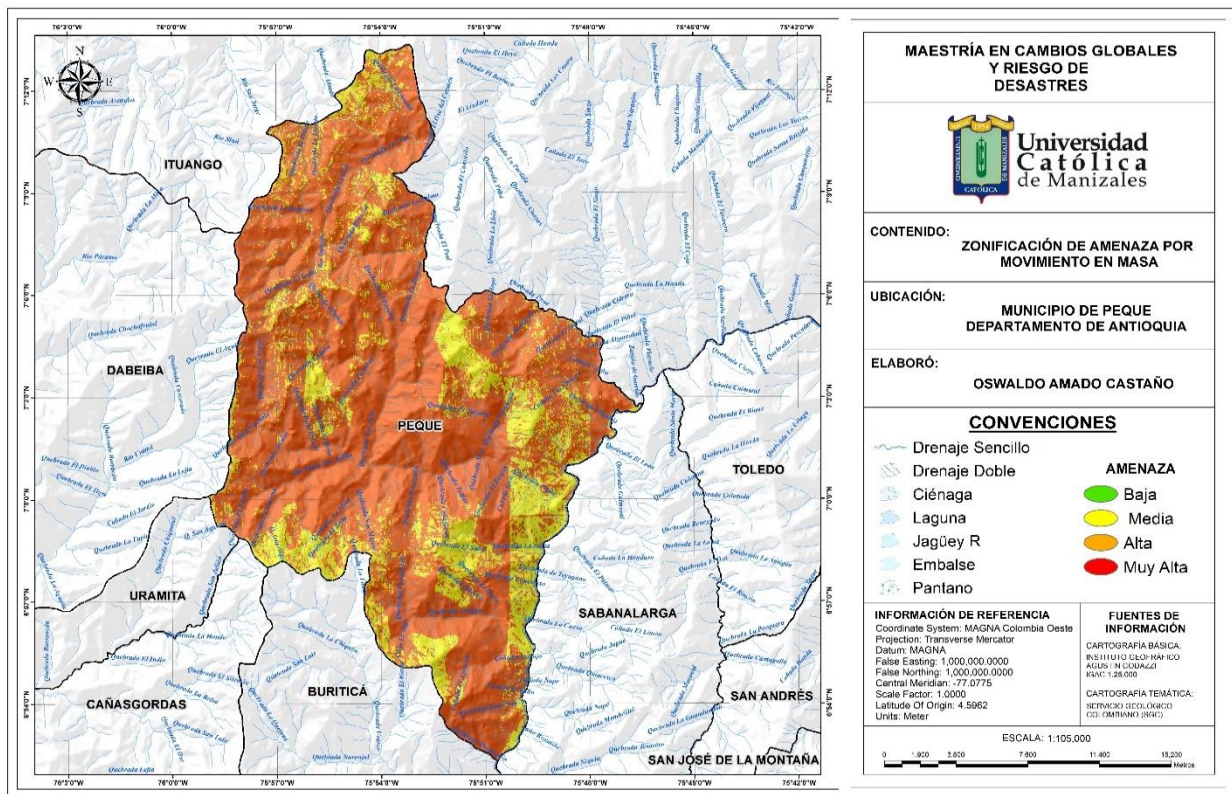
Nota. Elaborado a partir de la zonificación de Amenaza. © SGC, Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022.

Amenaza por movimiento en masa municipio de Peque

En el municipio de Peque, los fenómenos de movimientos en masa se presentan a causa de las fuertes pendientes, la deforestación y el uso cultivos no tecnificados además de la ganadería lo cual favorece la desestabilización de los suelos incidiendo directamente en la materialización del fenómeno, el municipio de Peque presenta una distribución de zonas entre amenaza media, alta y muy alta según la Figura 23.

Figura 23

Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Peque



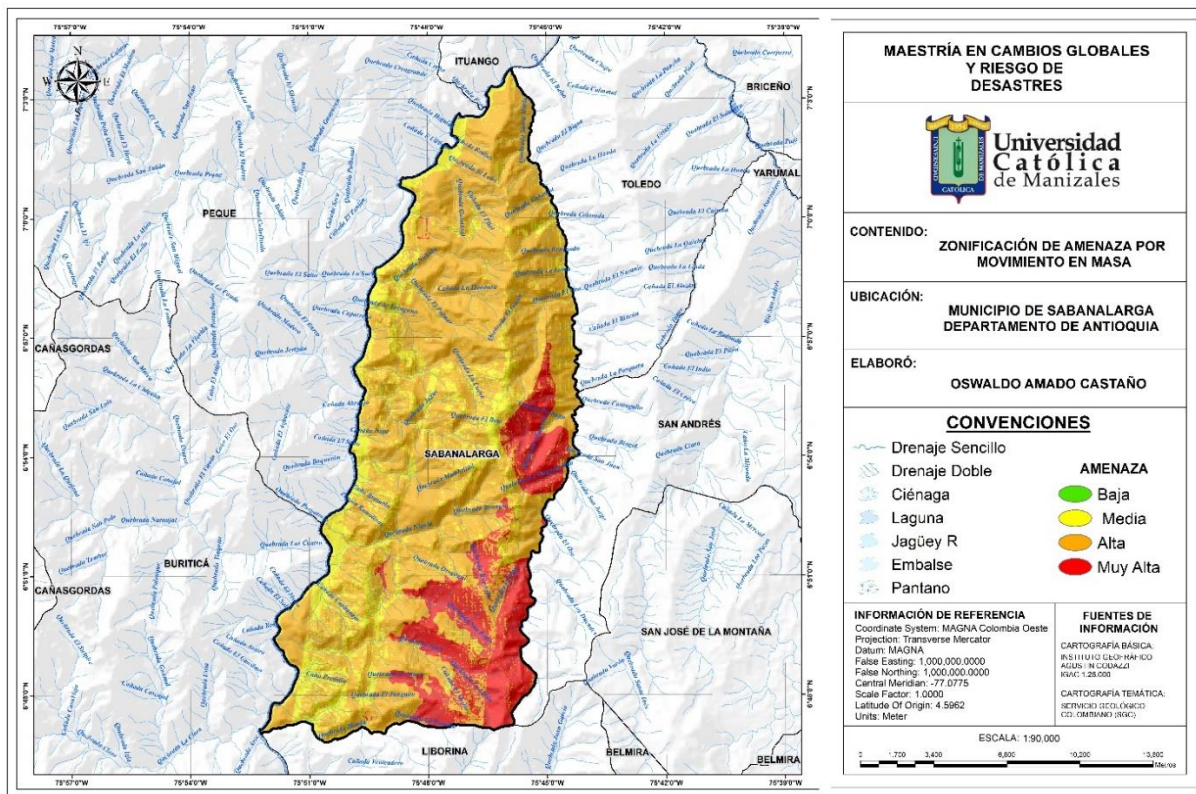
Nota. Elaborado a partir de la zonificación de Amenaza. © SGC, Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022.

Amenaza por movimiento en masa municipio de Sabanalarga

Los movimientos en masa hacen parte del comportamiento geomorfológico de los suelos y las estructuras geológicas del municipio, su ocurrencia está asociada al incremento de la expansión de las actividades y la ocupación de las zonas de ladera, las cuales favorecen la pérdida de coberturas vegetales y desestabilizan los suelos, el municipio de Sabanalarga presenta una distribución de zonas mayormente entre amenaza alta y muy alta según la Figura 24.

Figura 24

Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Sabanalarga



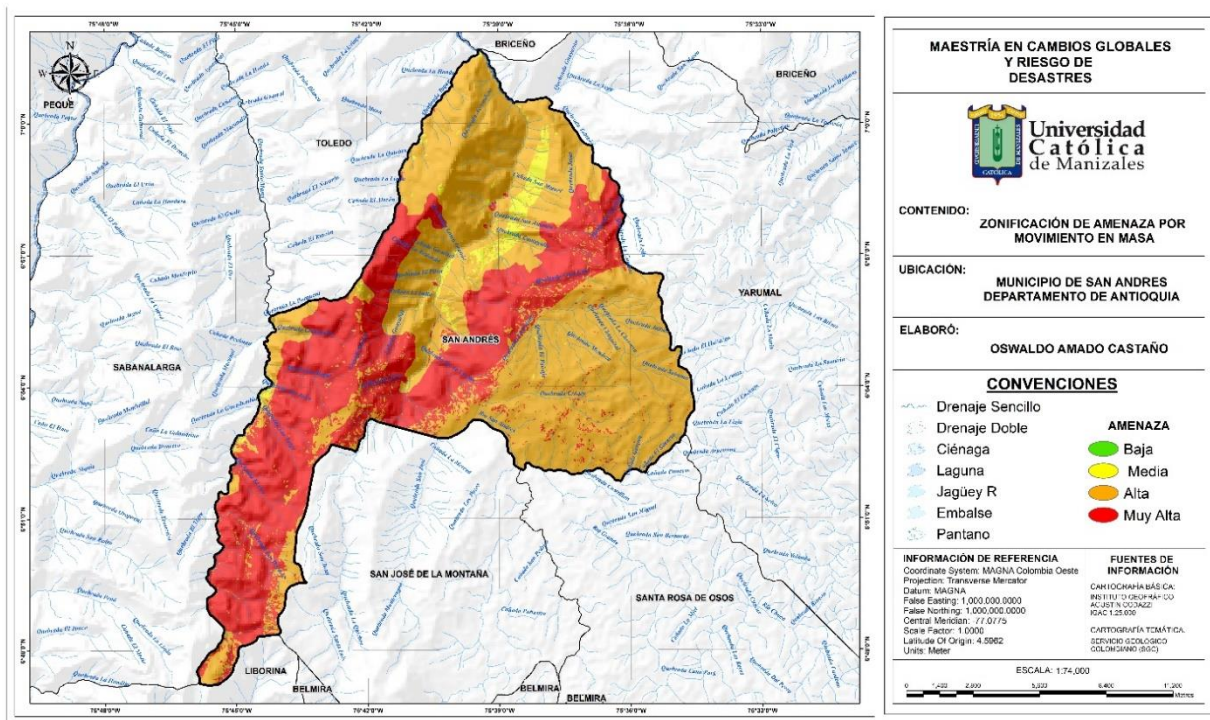
Nota. Elaborado a partir de la zonificación de Amenaza. © SGC, Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022.

Amenaza por movimiento en masa municipio de San Andres de Cuerquia

El municipio de San Andres de Cuerquia se encuentra ubicado en una zona de condición geográfica agreste combinadas con las características climáticas y meteorológicas de la zona y su acelerada ocupación de las laderas favorecen la materialización fenómenos por movimientos en masa, esto incrementado por los procesos de intervención antrópica, el municipio de San Andres de Cuerquia presenta una distribución de zonas de amenaza mayormente entre alta y muy alta como se puede observar en la Figura 25.

Figura 25

Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de San Andres de Cuerquia



Nota. Elaborado a partir de la zonificación de Amenaza. © SGC, Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022.

Amenaza por movimiento en masa municipio de Valdivia

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Valdivia el relieve es bastante accidentado, altas pendientes, suelos ácidos en la mayor parte de su territorio con horizontes delgados; lo atraviesan y afectan marcadas fallas geológicas, que han generado inconvenientes en la apertura de vías y demás construcciones de vivienda, servicios e infraestructura.

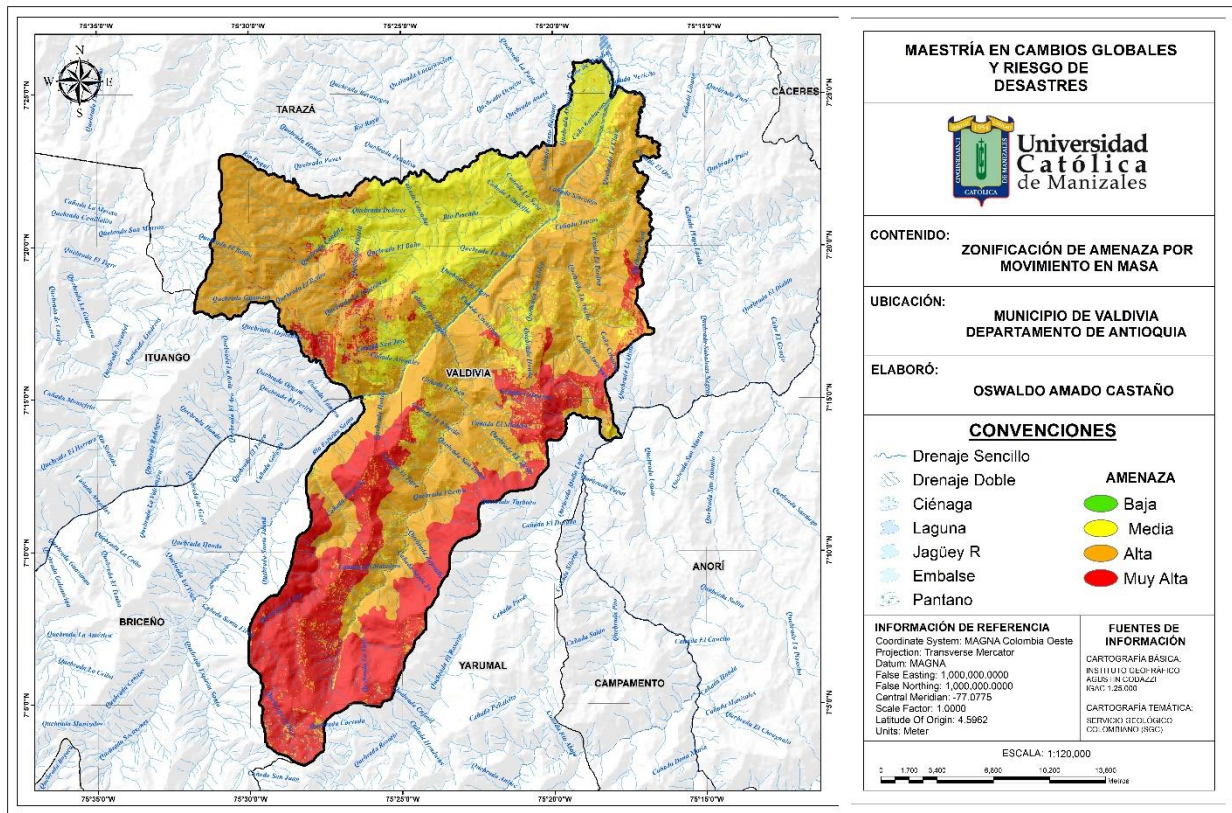
El principal fenómeno dentro de estas condiciones son los deslizamientos rotacionales o traslacionales debido a factores como las pendientes mayores del 25%, la acción de las aguas superficiales sobre los taludes y la acción humana en cortes de carreteras.

La construcción de viviendas de forma no técnica en terrenos de ladera, en la zona rural principalmente, sin contar con adecuados manejos de aguas tanto subterráneas como superficiales, la tala y establecimiento de potreros para pastoreo de ganado, tanto en la zona de recarga como en la franja protectora de las márgenes, escorrentía superficial de considerable magnitud, la falta de control al reglamento urbano y rural en cuanto a uso de suelo y licencias urbanísticas.

Entre los factores que favorecen la ocurrencia del fenómeno por movimiento en masa, se encuentran las pendientes mayores de 25%, la baja densidad de cobertura vegetal y la acción de las aguas superficiales sobre los taludes, por otra parte la acción humana para la construcción de vías, actividades de pastoreo y ganadería, sin embargo las fuertes lluvias de la ola invernal del 2010 – 2011 impactan sobre la materialización del evento por saturación de los suelos y los malos drenajes que existen en algunas obras en el municipio, como se observa en la Figura 26.

Figura 26

Mapa de amenaza por movimiento en masa municipio de Valdivia



Nota. Elaborado a partir de la zonificación de Amenaza. © SGC, Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022.

Ciclo anual de lluvia para las décadas 1971-2000 y 1981-2010

Se desarrolla la identificación de los municipios con mayor número de eventos asociados a movimientos en masa y avenidas torrenciales a partir de los datos procesados del consolidado anual de emergencias, como se puede ver en la Tabla 13 se evidencia que la mayor cantidad de eventos se concentra en el municipio de Valdivia seguido por Ituango, lo cual concuerda con la presentado en su Plan de Ordenamiento territorial la cual está asociada a fuertes pendientes y una

gran incidencia del factor humano a través de la ganadería intensiva, cultivos y la deforestación con el fin de ampliar las zonas de pastoreo y aprovechamiento forestal.

Tabla 13

Número de eventos

MUNICIPIO	CANTIDAD DE EVENTOS
VALDIVIA	34
ITUANGO	23
BRICEÑO	8
PEQUE	6
SABANALARGA	6
SAN ANDRES DE CUERQUIA	5

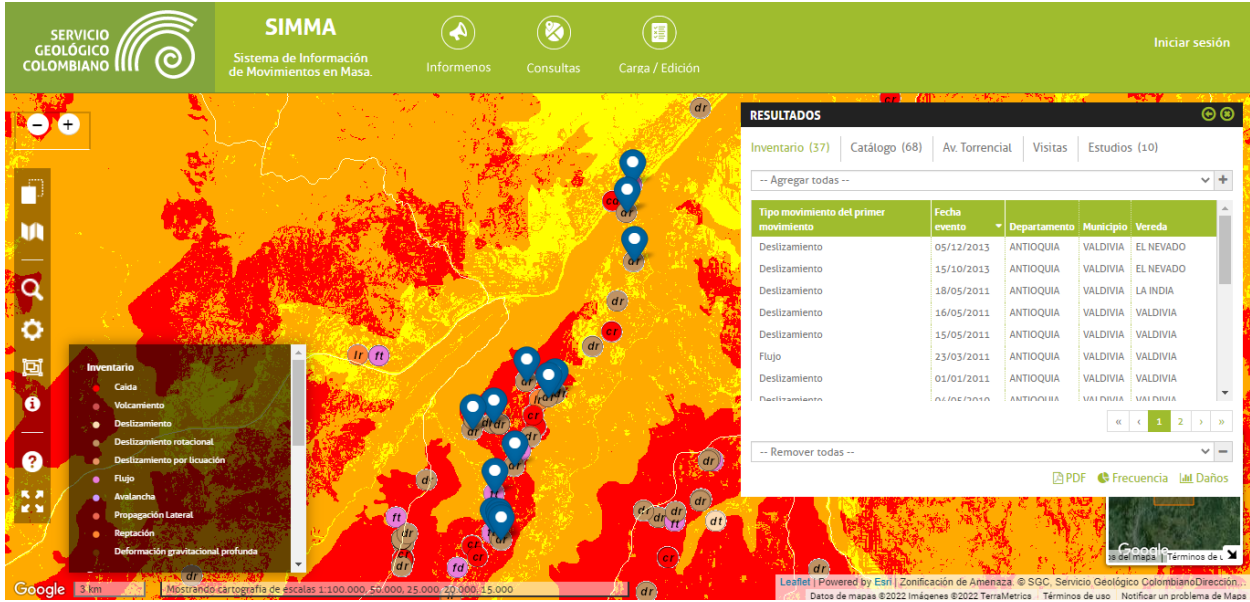
Nota. Elaborado a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGRD para el periodo 1998-2020.

Ciclo Anual para el municipio de Valdivia

A partir del registro de eventos de SIMMA, ver Figura 27, se desarrolla la búsqueda correspondiente al municipio de Valdivia y el corregimiento de Puerto Valdivia caracterizada como la zona donde mayor número de registros se identifican asociados a deslizamientos, caídas y flujos de material, esto para corroborar dentro del municipio en que zonas se están presentado los fenómenos por movimientos en masa.

Figura 27

Registro de eventos por movimiento en masa Valdivia

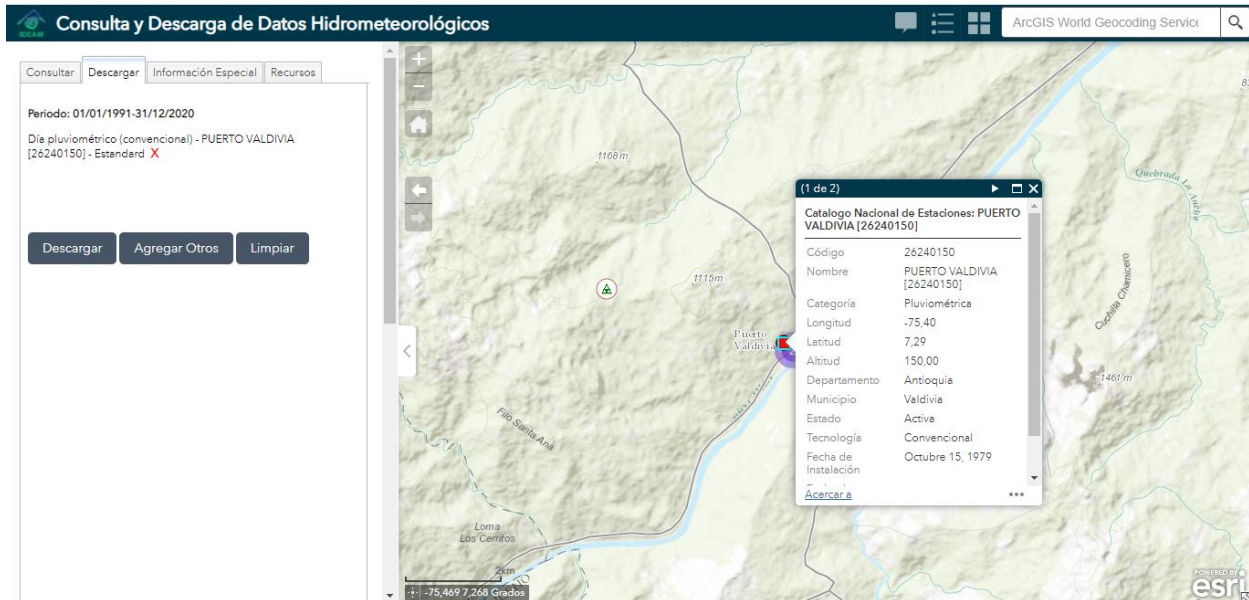


Nota. Adaptado del mapa de zonificación de Amenaza, por Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022, <https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

Seguido a esto se ubica en la herramienta DHIME del IDEAM la estación más cercana a los eventos la cual corresponde a “Puerto Valdivia [26240150]” ver Figura 28.

Figura 28

Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos Valdivia



Nota. . Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez identificada la estación se descargaron los archivos correspondientes a precipitación para un rango de años entre 01-01-1991 y 31-12-2020 como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14*Base de datos estación Puerto Valdivia*

Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Frecuencia	Fecha
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/1
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/2
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/3
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/4
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/5
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/6
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/7
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/8
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/9
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/10
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/11
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/12
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/13
VALDIVIA						00:00		0:00

PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/14
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/15
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/16
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/17
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/18
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/19
VALDIVIA						00:00		0:00
PUERTO	7.29	-75.4	150	Antioquia	Valdivia	15/10/1979	Diaria	1991/01/20
VALDIVIA						00:00		0:00

Nota. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/> Ver Anexo E.

De acuerdo con los datos determinados se hace necesario identificar el número de datos faltantes con la aplicación de la metodología de complementación de series para la estación “Puerto Valdivia [26240150]”.

Para calcular la estimación datos faltantes se utiliza el método de las proporciones para lo cual se aplica la siguiente formula:

$$X = X * Pf / Pa - X$$

X: lluvia promedio mes faltante

Pf: total anual (del mes faltante)

Pa: total anual promedio

Tabla 15

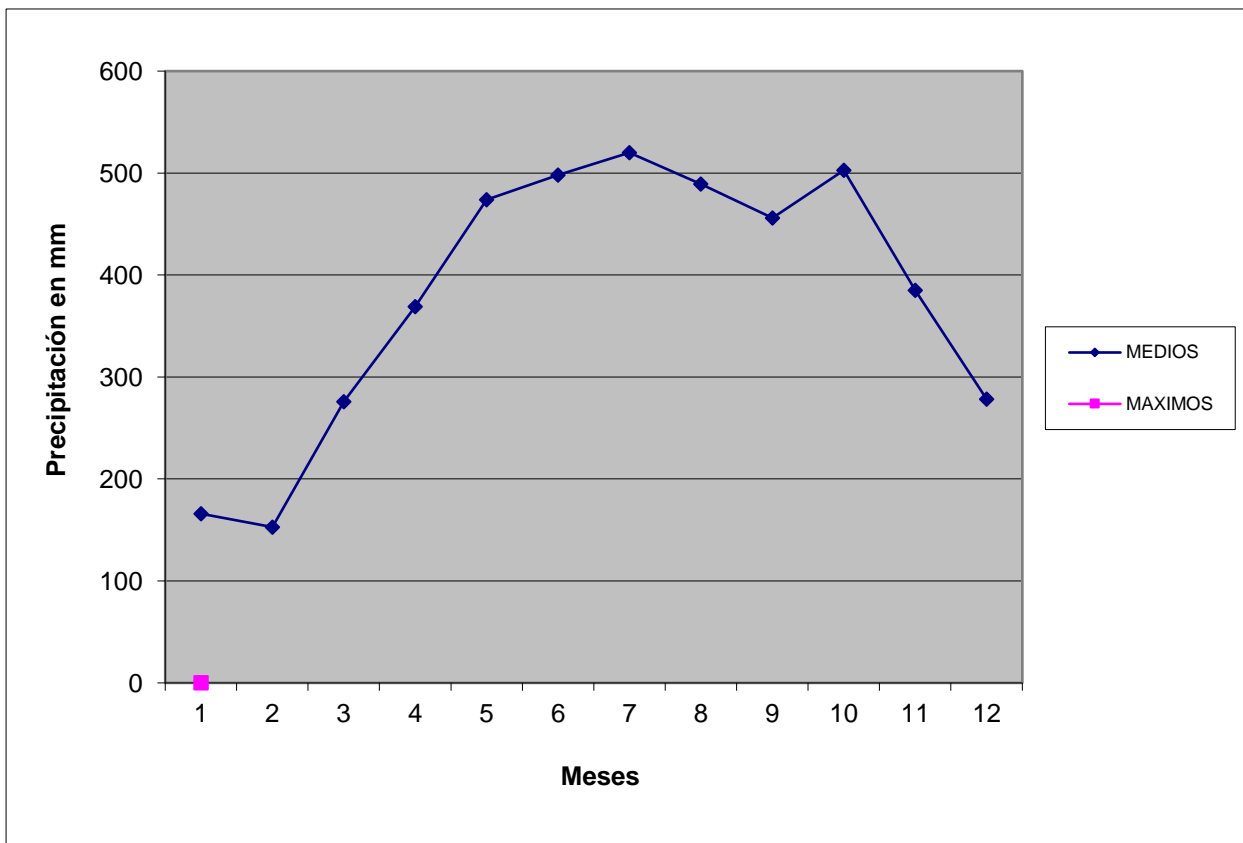
Valores totales mensuales de precipitación estación Valdivia

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
SISTEMA DE INFORMACION													VR
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													NACIONAL AMBIENTAL
LATITUD 7.29 N	TIPO EST SP		DEPTO ANTIOQUIA		FECHA-INSTALACION 15/10/1979						FECHA-SUSPENSION		
LONGITUD -75.4 W	ENTIDAD 01 IDEAM		MUNICIPIO VALDIVIA		REGIONAL						CORRIENTE		
ELEVACION 150 m.s.n.m													
AÑO	ENE	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	95	214	159	237	654	445	632	481	796	461	385	268	4827
1992	71	192	111	522	540.2	419	713	473	595	430	257	145	4468
1993	147	113	196	473	861	690	485	375	692	608	448	204	5292
1994	9	149	57	538	448	325.7	310	760	294.6	329.0	244.1	171.4	2361
1995	03	78	256	356	514	517	430	518	498	155	296	122	3943
1996	22	414	541	418	489	595	659	623	476	459	392	189	5377
1997	7	424	66	281	230	377	425	657	348	397	241	178	3691
1998	227.7	205	199	332	469	550	806	842	689	421	423	477	5414
1999	42	27	275	612	782	756	626	625	700	675	207	573	6700
2000	121	432	119	363	519	597	612	381	631	691	377	345	5188
2001	282	95	289	367	596	540	492	409	536	464	554	340	4964
2002	168	115	319	435	399	462	467	567	389	475	270	97	4163
2003	39	80	67	451	461	406	430	382	363	456	298	302	3735
2004	30	10	164	139	289	512	542	319	302	308	340	299	3254
2005	149	72	143	372	343	717	613	517	306	353	396.0	245	3830
2006	121	78	514	429	856	514	475	749	514	938	832	160	6180
2007	30	15	1059	930	891	576	350	647	841	487	336	121	6283
2008	341	174	555.2	345	1178	943	885	479	605	1401	998	371	7720
2009	238.2	352	468	547	494	521	509	426	359	564	370	91	4939
2010	56	234	274	71	423.4	119	711	577	371	390	81	366	3250
2011	559	163.6	304.6	417.9	161	715	679	497	696	384	265	280	4236
2012	66	24	304	515	450	460	501	275	476	305	339	175	3890
2013	60	33	340	222	485	350	397	298	235	337.2	250.2	175.7	2420
2014	53.1	48.7	90.8	124.5	164.4	174.1	182.8	170.6	157.5	175.9	659	603	1262
2015	201	260	90	333	237	306	220	330	343	377.1	196	190	2706
2016	76	25	37	244	258	354	331	471	185.2	380.8	301.7	270.4	2934
2017	133.4	110.8	375.7	263.7	421.5	347.8	388.2	343.7	448	447.6	438.6	244.8	3964
2018	303.5	62.6	308.8	220.8	189.6	149.7	157.2	146.7	135.4	151.2	112.2	78.8	1085
2019	144.6	100	284	202	364	409	385	379	481	265	294	276	3439
2020	142.6	34	95	445	349	428	596	596	214	251	268	116	3392
MED	165.9	152.8	275.7	369.1	473.7	498.2	520.0	489.4	456.0	502.7	385.2	278.2	4110.0
MAX													
MINI													

A partir de los valores contenidos en la base de información de la estación Valdivia se grafica el comportamiento de la precipitación media mensual multianual como se puede ver en la Figura 29.

Figura 29

Precipitación media estación Valdivia



Nota. Ponderación de los valores medios de precipitación para la estación Valdivia para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

De acuerdo con la aplicación de la metodología de complementación de series por el método de las proporciones se corrige las series como se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16

Serie corregida estación Puerto Valdivia

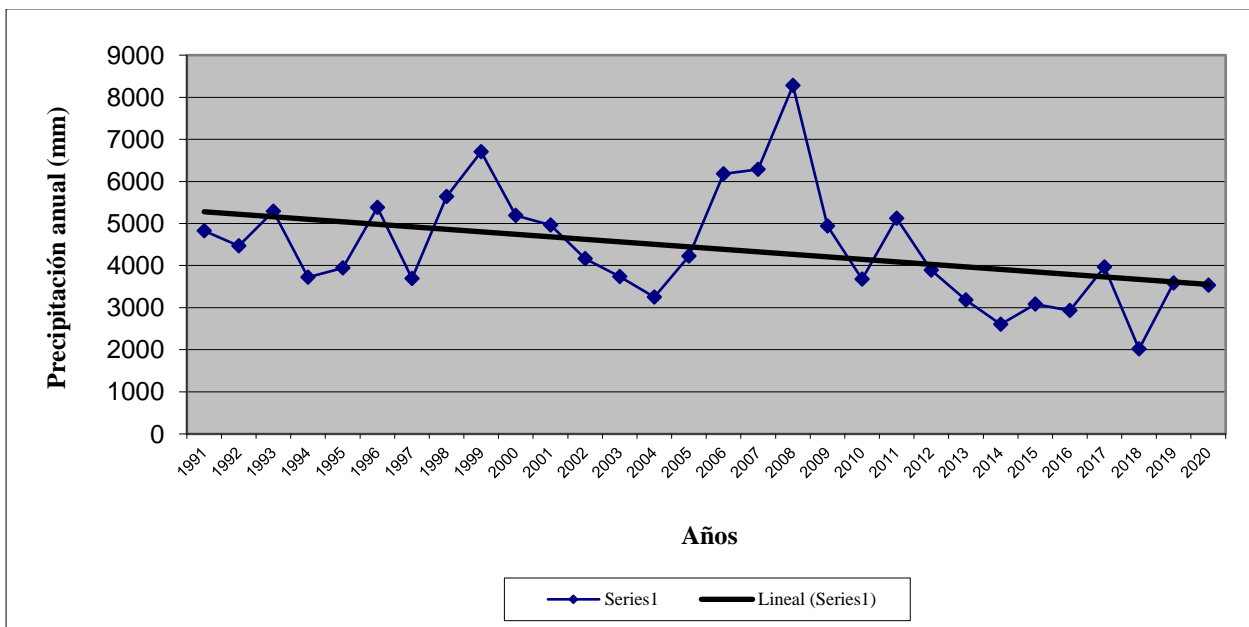
													LATITUD 7.29 N	TIPO EST SP	DEPTO ANTIOQUIA	FECHA-INSTALACION 15/10/1979		
													LONGITUD -75.4 W	ENTIDAD 01 IDEAM	MUNICIPIO VALDIVIA	FECHA-SUSPENSION		
													ELEVACION 150 m.s.n.m	REGIONAL	CORRIENTE			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL					
1991	95	214	159	237	654	445	632	481	796	461	385	268	4,827.00					
1992	71	192	111	522	540.2	419	713	473	595	430	257	145	4,468.20					
1993	147	113	196	473	861	690	485	375	692	608	448	204	5,292.00					
1994	99	149	57	538	448	325.7	310	760	294.6	329	244.1	171.4	3,725.80					
1995	203	78	256	356	514	517	430	518	498	155	296	122	3,943.00					
1996	122	414	541	418	489	595	659	623	476	459	392	189	5,377.00					
1997	67	424	66	281	230	377	425	657	348	397	241	178	3,691.00					
1998	227.7	205	199	332	469	550	806	842	689	421	423	477	5,640.70					
1999	442	427	275	612	782	756	626	625	700	675	207	573	6,700.00					
2000	121	432	119	363	519	597	612	381	631	691	377	345	5,188.00					
2001	282	95	289	367	596	540	492	409	536	464	554	340	4,964.00					
2002	168	115	319	435	399	462	467	567	389	475	270	97	4,163.00					
2003	39	80	67	451	461	406	430	382	363	456	298	302	3,735.00					
2004	30	10	164	139	289	512	542	319	302	308	340	299	3,254.00					
2005	149	72	143	372	343	717	613	517	306	353	396	245	4,226.00					
2006	121	78	514	429	856	514	475	749	514	938	832	160	6,180.00					
2007	30	15	1,059.00	930	891	576	350	647	841	487	336	121	6,283.00					
2008	341	174	555.2	345	1,178.00	943	885	479	605	1,401.00	998	371	8,275.20					
2009	238.2	352	468	547	494	521	509	426	359	564	370	91	4,939.20					
2010	56	234	274	71	423.4	119	711	577	371	390	81	366	3,673.40					
2011	559	163.6	304.6	417.9	161	715	679	497	696	384	265	280	5,122.20					
2012	66	24	304	515	450	460	501	275	476	305	339	175	3,890.00					
2013	60	33	340	222	485	350	397	298	235	337.2	250.2	175.7	3,183.20					
2014	53.1	48.7	90.8	124.5	164.4	174.1	182.8	170.6	157.5	175.9	659	603	2,604.30					
2015	201	260	90	333	237	306	220	330	343	377.1	196	190	3,083.10					
2016	76	25	37	244	258	354	331	471	185.2	380.8	301.7	270.4	2,934.10					
2017	133.4	110.8	375.7	263.7	421.5	347.8	388.2	343.7	448	447.6	438.6	244.8	3,963.80					

2018	303.5	62.6	308.8	220.8	189.6	149.7	157.2	146.7	135.4	151.2	112.2	78.8	2,016.60
2019	144.6	100	284	202	364	409	385	379	481	265	294	276	3,583.60
2020	142.6	34	95	445	349	428	596	596	214	251	268	116	3,534.60
MEDIOS	159.6	157.8	268.7	373.5	483.9	475.8	500.3	477.1	455.9	451.2	362.3	249.1	4,415.40
MAXIMOS													
MINIMOS													

Tomando los datos corregidos de la serie 1991-2020 mediante el método de las proporciones se completan los datos faltantes, de esta manera se grafica y se incluye una línea de tendencia para poder apreciar el comportamiento de los valores durante el tiempo evaluado, como se observa en la Figura 30, el comportamiento ha sido decreciente lo que supone un descenso de las lluvias en los últimos años.

Figura 30

Serie corregida estación Puerto Valdivia



Nota. Serie corregida a partir de los valores medios de precipitación para la estación Valdivia para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Con la serie corregida se ordenan los datos de mayor a menor rango para cada uno de los meses del año y para el periodo completo utilizado, se estiman periodos de probabilidad con incremento de 5% para poder estimar la probabilidad de los años así:

- Año Seco (Prob. 75%)
- Año Normal (Prob. 50%)
- Año Húmedo (Prob. 25%)

Tabla 17

Ordenación y estimación de la probabilidad de los datos mensuales de precipitación

LATITUD 7.29 N TIPO EST SP DEPTO ANTIOQUIA FECHA-INSTALACION 15/10/1979													
LONGITUD -75.4 W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO VALDIVIA FECHA-SUSPENSION													
ELEVACION 150 m.s.n.m REGIONAL CORRIENTE													
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROB. (%)
1	559	432	1,059.00	930	1,178.00	943	885	842	841	1,401.00	998	603	5
2	442	427	555.2	612	891	756	806	760	796	938	832	573	10
3	341	424	541	547	861	717	713	749	700	691	659	477	15
4	303.5	414	514	538	856	715	711	657	696	675	554	371	20
5	282	352	468	522	782	690	679	647	692	608	448	366	25
6	238.2	260	375.7	515	654	597	659	625	689	564	438.6	345	30
7	227.7	234	340	473	596	595	632	623	631	487	423	340	35
8	203	214	319	451	540.2	576	626	596	605	475	396	302	40
9	201	205	308.8	445	519	550	613	577	595	464	392	299	45
10	168	192	304.6	435	514	540	612	567	536	461	385	280	50
11	149	174	304	429	494	521	596	518	514	459	377	276	55
12	147	163.6	289	418	489	517	542	517	498	456	370	270.4	60
13	144.6	149	284	417.9	485	514	509	497	481	447.6	340	268	65

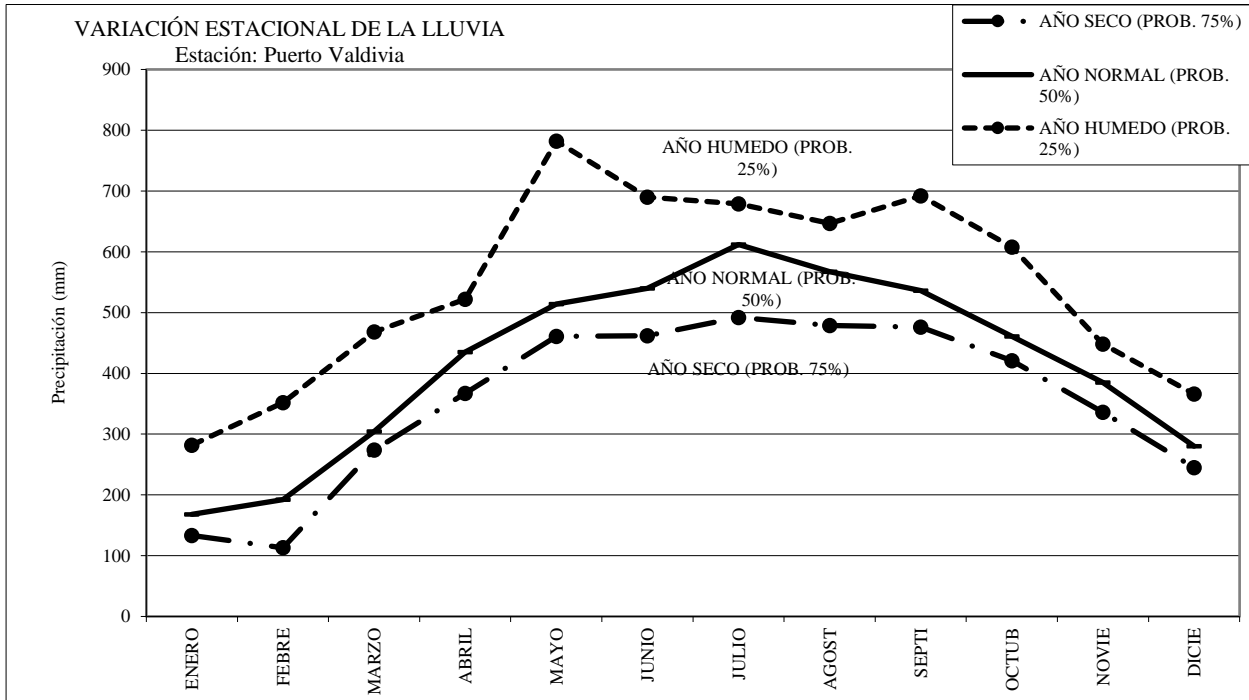
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROB. (%)
14	142.6	115	275	372	469	512	501	481	476	430	339	245	70
15	133.4	113	274	367	461	462	492	479	476	421	336	244.8	75
16	122	110.8	256	363	450	460	485	473	448	397	301.7	204	80
17	121	100	199	356	448	445	475	471	389	390	298	190	85
18	121	95	196	345	423.4	428	467	426	371	384	296	189	90
19	99	80	164	333	421.5	419	430	409	363	380.8	294	178	95
20	95	78	159	332	399	409	430	382	359	377.1	270	175.7	100
21	76	78	143	281	364	406	425	381	348	353	268	175	105
22	71	72	119	263.7	349	377	397	379	343	337.2	265	171.4	110
23	67	62.6	111	244	343	354	388.2	375	306	329	257	160	115
24	66	48.7	95	237	289	350	385	343.7	302	308	250.2	145	120
25	60	34	90.8	222	258	347.8	350	330	294.6	305	244.1	122	125
26	56	33	90	220.8	237	325.7	331	319	235	265	241	121	130
27	53.1	25	67	202	230	306	310	298	214	251	207	116	135
28	39	24	66	139	189.6	174.1	220	275	185.2	175.9	196	97	140
29	30	15	57	124.5	164.4	149.7	182.8	170.6	157.5	155	112.2	91	145
30	30	10	37	71	161	119	157.2	146.7	135.4	151.2	81	78.8	150
AÑO SECO (PROB. 75%)	133.4	113	274	367	461	462	492	479	476	421	336	244.8	4,259
AÑO NORMAL (PROB. 50%)	168	192	304.6	435	514	540	612	567	536	461	385	280	4,995
AÑO HUMEDO (PROB. 25%)	282	352	468	522	782	690	679	647	692	608	448	366	6,536

Teniendo en cuenta la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada año se grafica teniendo como resultado el comportamiento de la precipitación anual como se presenta en la Figura 31.

PROBABILIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
AÑO SECO (PROB. 75%)	133.4	113.0	274.0	367.0	461.0	462.0	492.0	479.0	476.0	421.0	336.0	244.8	4,259.2
AÑO NORMAL (PROB. 50%)	168.0	192.0	304.6	435.0	514.0	540.0	612.0	567.0	536.0	461.0	385.0	280.0	4,994.6
AÑO HUMEDO (PROB. 25%)	282.0	352.0	468.0	522.0	782.0	690.0	679.0	647.0	692.0	608.0	448.0	366.0	6,536.0

Figura 31

Variación estacional de la lluvia estación Puerto Valdivia



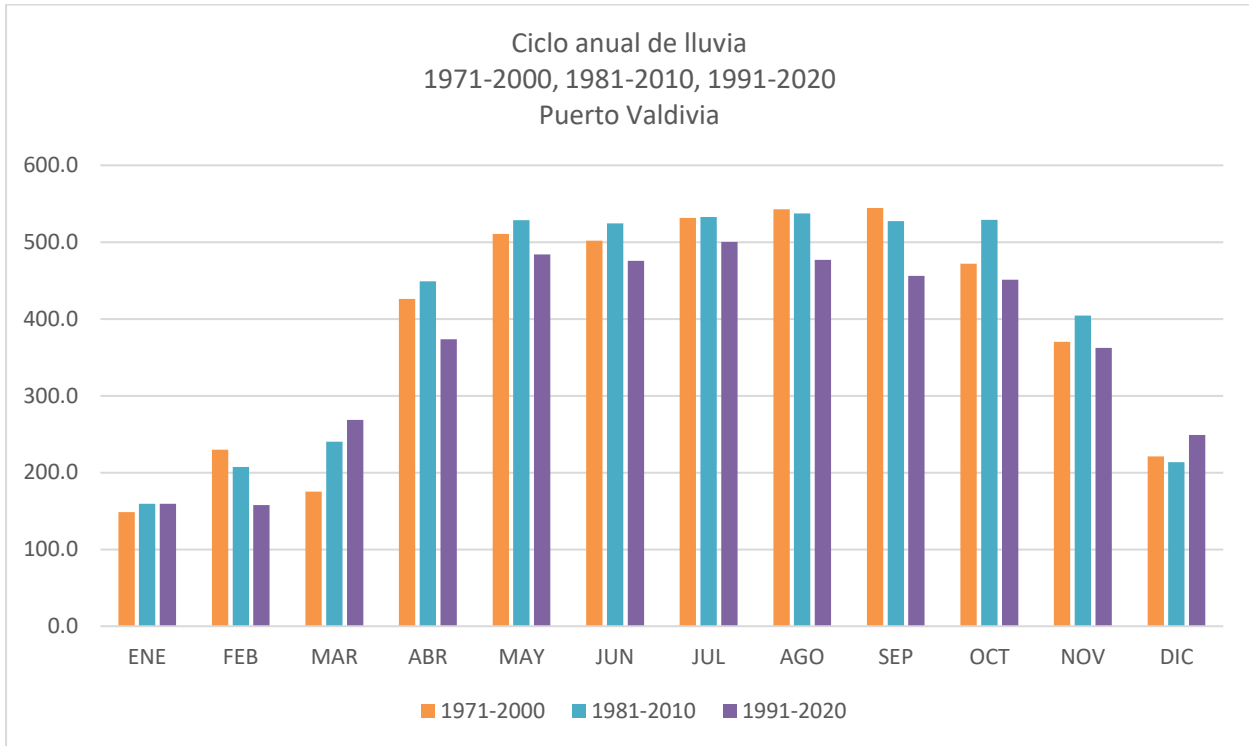
Nota. Serie corregida a partir de los valores medios de precipitación para la estación Puerto Valdivia para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez completadas las series faltantes de la estación se desarrolla comparación entre las tres series con el fin de identificar variaciones significativas para los diferentes meses del año.

A partir de la precipitación anual de las series 1971 – 2000, 1981-2010 y 1991-2020, se pudo evidenciar que para los meses más lluviosos mayo y noviembre se tiene una incidencia de mayores lluvias, así mismo se observa que los meses de marzo y abril y octubre han tenido una tendencia marcada al incremento de las precipitaciones.

Figura 32

Ciclo anual de lluvia estación Puerto Valdivia



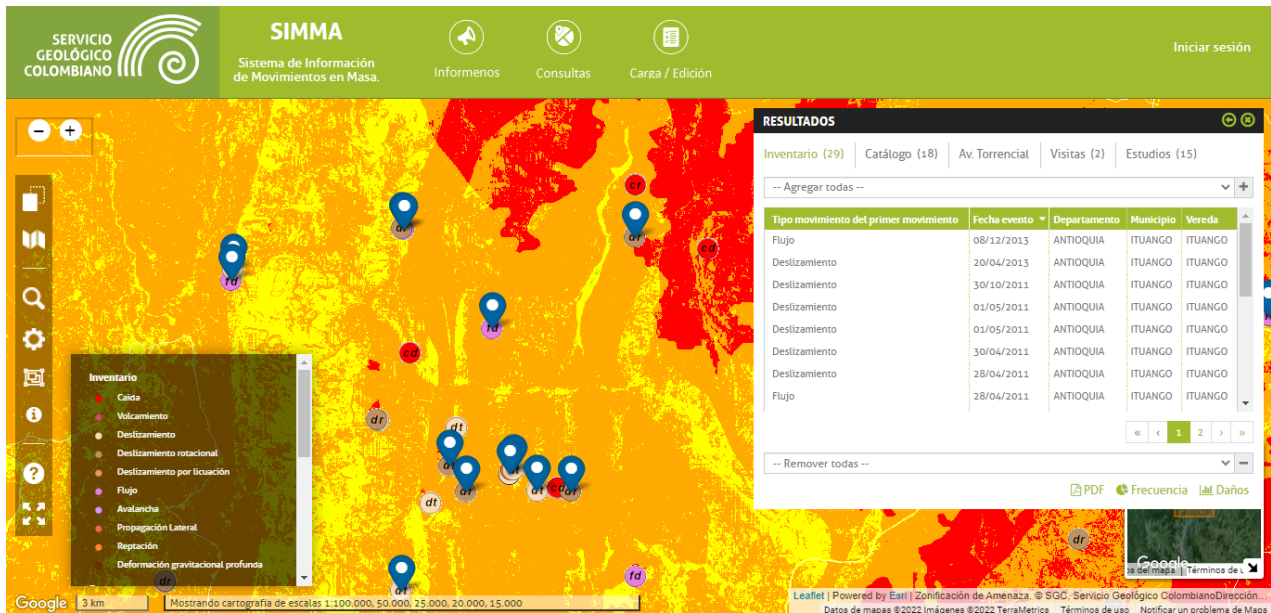
Nota. Elaboración propia, muestra el comportamiento de la precipitación para los periodos 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2020.

Ciclo Anual para el municipio de Ituango

A partir del registro de eventos de SIMMA se desarrolla la búsqueda correspondiente al municipio de Ituango caracterizada como la segunda zona donde mayor número de registros se identifican de los municipio del estudio.

Figura 33

Registro de eventos por movimiento en masa Ituango



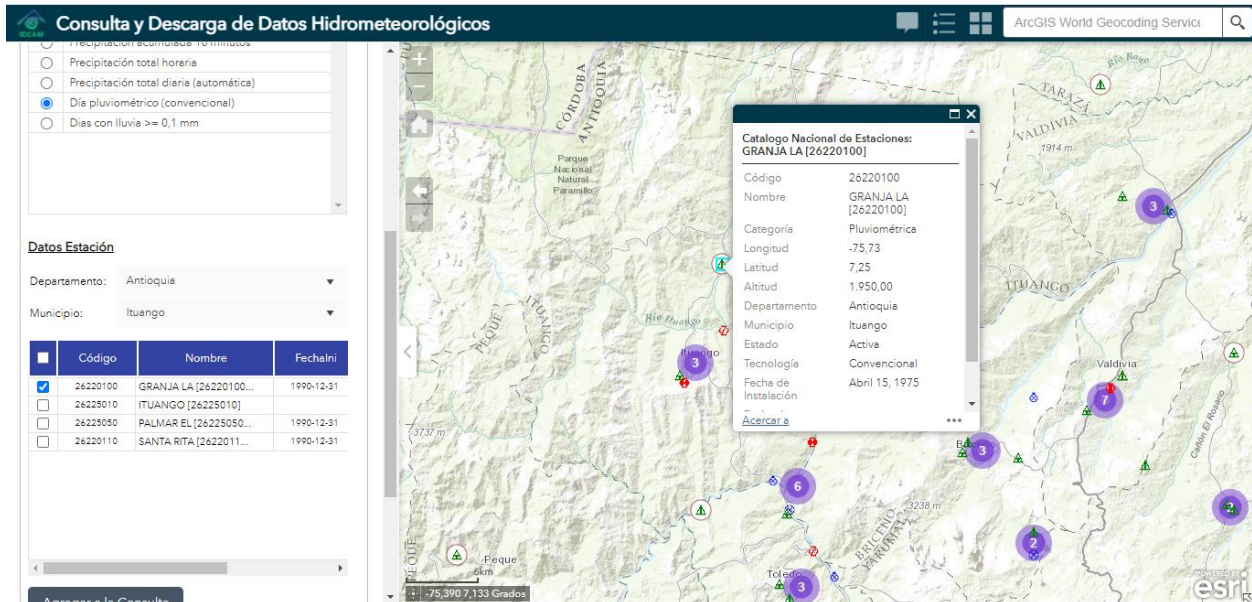
Nota. Adaptado del mapa de zonificación de Amenaza, por Servicio Geológico Colombiano

Dirección de Geoamenazas, 2022, <https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

Seguido a esto se ubica en la herramienta DHIME del IDEAM, ver Figura 34, la estación más cercana a los eventos la cual corresponde a “La Granja [26220100]”.

Figura 34

Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos Ituango



Nota. . Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez identificada la estación se descargan los archivos correspondientes a precipitación para un rango de años entre 31-12-1990 y 31-12-2020 como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18*Base de datos estación La Granja*

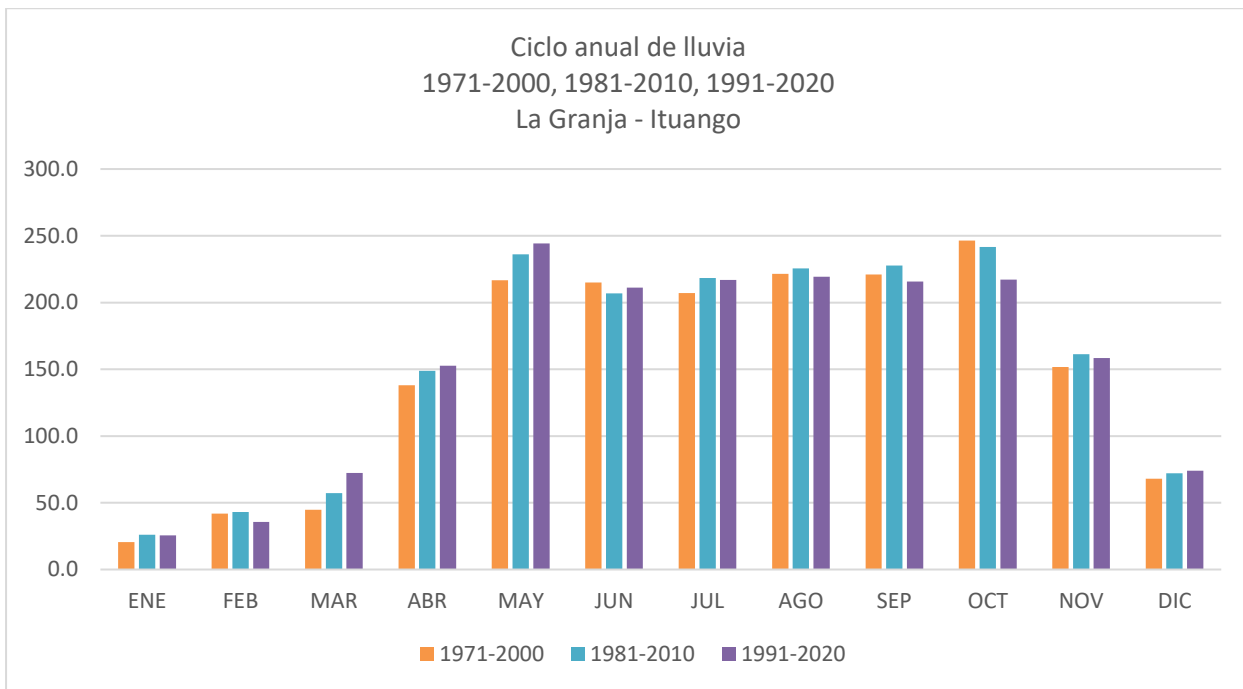
Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Frecuencia	Fecha	Valor
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/1 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/2 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/3 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/4 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/5 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/6 0:00	4
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/7 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/8 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/9 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/10 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/11 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/12 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/13 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/14 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/15 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/16 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/17 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/18 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/19 0:00	0
GRANJA LA	7.24963889	-75.7340833	1950	Antioquia	Ituango	15/04/1975 00:00	Diaria	1991/01/20 0:00	0

Nota. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometereológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>, ver Anexo E.

A partir de la precipitación anual de las series 1971 – 2000, 1981-2010 y 1990-2020, se pudo evidenciar que el meses más lluviosos fue mayo con un incremento para la serie 1990-2020, mientras que para el mes de octubre se tiene una incidencia de menores lluvias, así mismo se observa que para el resto de los meses se ha tenido una tendencia a la disminución de las precipitaciones.

Figura 35

Ciclo anual de lluvia estación La Granja - Ituango



Nota. Elaboración propia, muestra el comportamiento de la precipitación para los periodos 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2020.

Ciclo Anual para el municipio de Briceño

A partir del registro de eventos de SIMMA se desarrolla la búsqueda correspondiente al municipio de Briceño caracterizada como la tercera zona donde mayor número de registros se identifican en los municipios del estudio.

Figura 36

Registro de eventos por movimiento en masa Briceño



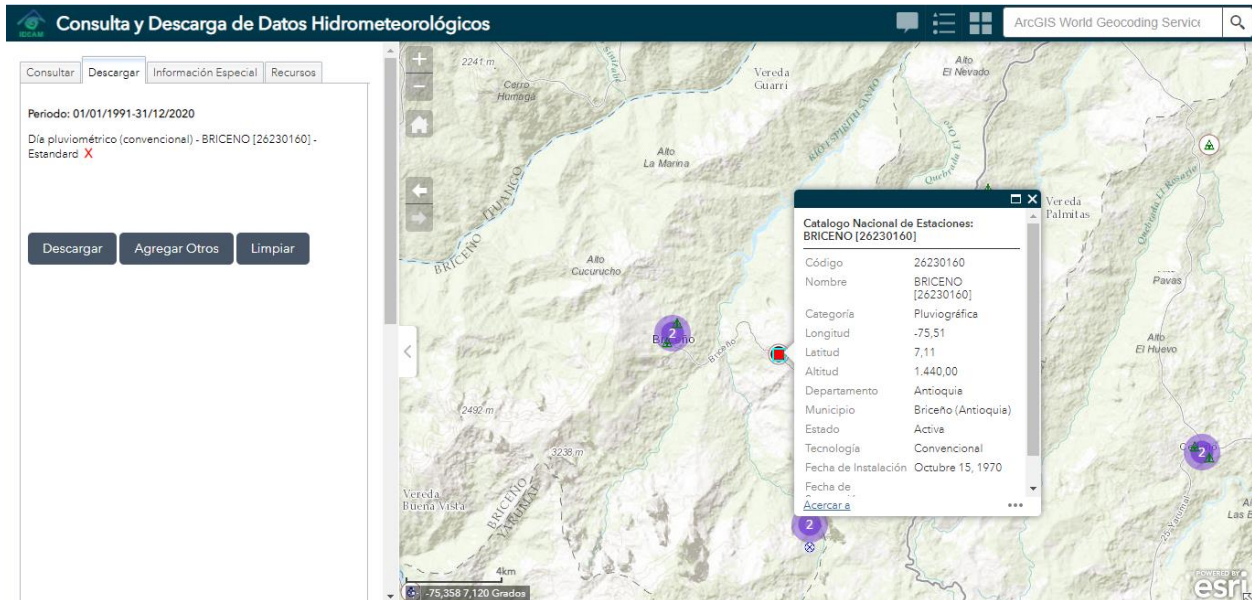
Nota. Adaptado del mapa de zonificación de Amenaza, por Servicio Geológico Colombiano

Dirección de Geoamenazas, 2022, <https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

Seguido a esto se ubica en la herramienta DHIME del IDEAM la estación más cercana a los eventos la cual corresponde a “BRICEÑO [26230160]”.

Figura 37

Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos Briceño



Nota. . Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez identificada la estación se descargan los archivos correspondientes a precipitación para un rango de años entre 01-01-1991 y 31-12-2020 como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19*Base de datos estación Briceño*

Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Frecuencia	Fecha	Valor
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/1 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/2 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/3 0:00	7
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/4 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/5 0:00	4
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/6 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/7 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/8 0:00	3
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/9 0:00	16
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/10 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/11 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/12 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/13 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/14 0:00	1
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/15 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/16 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/17 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/18 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/19 0:00	0
BRICENO	7.10527778	-75.5116667	1440	Antioquia	Briceño	15/10/1970 00:00	Diaria	1991/01/20 0:00	0

Nota. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022,

<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

De acuerdo con los datos determinados se hace necesario identificar el número de datos faltantes con la aplicación de la metodología de complementación de series para la estación “BRICEÑO [26230160]”.

Para calcular la estimación datos faltantes se utiliza el método de las proporciones para lo cual se aplica la siguiente formula:

$$X = X * Pf / Pa - X$$

X: lluvia promedio mes faltante

Pf: total anual (del mes faltante)

Pa: total anual promedio

Tabla 20

Valores totales mensuales de precipitación estación Briceño

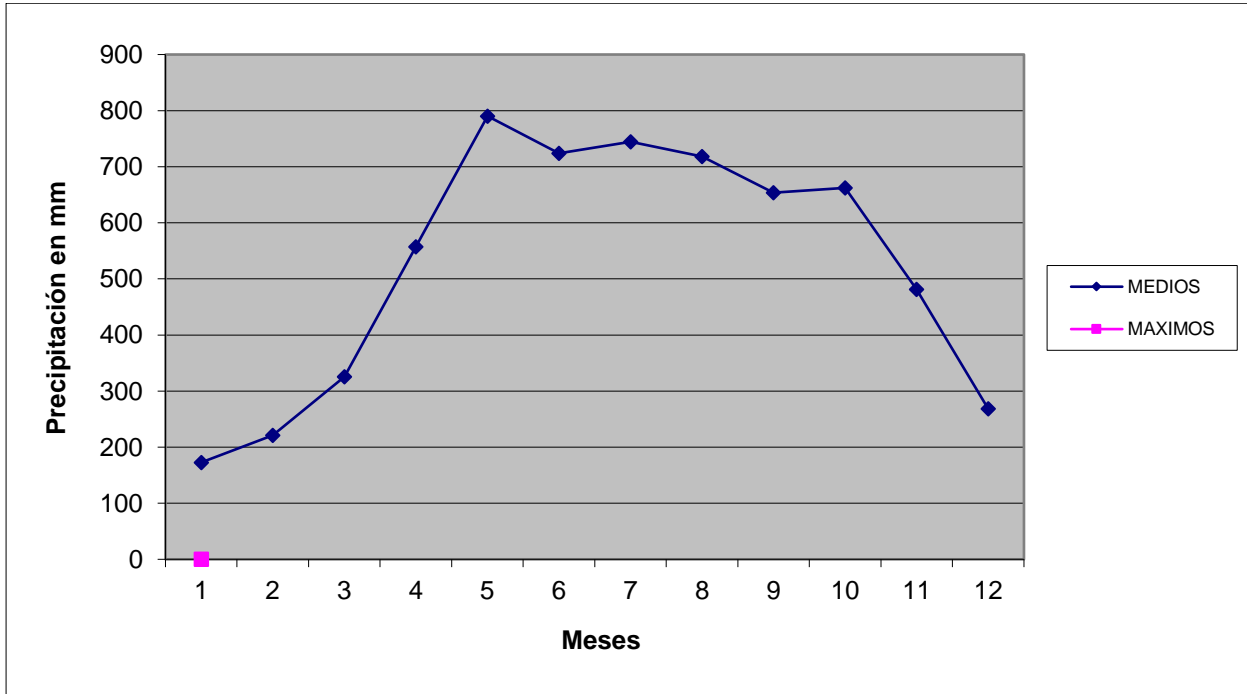
I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES														
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL	
LATITUD	7.105 N	TIPO EST	SP	DEPTO	ANTIOQUIA	FECHA-INSTALACION	1970-OCT							VR ANUAL
LONGITUD	-75.511 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	BRICENO	FECHA-SUSPENSION								
ELEVACION	1440 m.s.n.m	REGIONAL	CORRIENTE											
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL	
1991	37	513	311	438	624	834	417	536	455	558	391	189.7	5,303.70	
1992	76	108	297	575	536	457	872	659	748	572	417	249	5,566.00	
1993	246	53	468	417	832	457	514	446	436	323	492	211	4,895.00	
1994	104	179	250	763	885	900	651	941	373	713	752	183	6,694.00	
1995	132	26	330	439	679	955	800	697	579	693	488	307	6,125.00	
1996	214	312	692	697	1186	1117	1029	1016	818	462	233	64	7,840.00	
1997	9	810	177	746	1038	630	584	637	663	1064	417	61	6,836.00	
1998	208	331	200	523	902	836	1086	1050	1019	722	499	660	8,036.00	
1999	378	537	353	706	953.4	617	744.6	729.5	936	1068.6	238.1	334.4	7,595.60	
2000	106.3	100	316	620	940	822	1198	834	710	757	325	522.7	7,251.00	
2001	334.1	163.8	291.8	660.6	792	714	853	568	921	937	731	614	7,580.30	
2002	255	207	348	521.3	1108.8	1198.3	742	815.2	588.4	651.5	446.8	222.3	7,104.60	
2003	43	272.4	233.7	718.8	1263.4	635.2	797	733	964	812	768	456	7,696.50	

2004	81	179	322.4	730.4	699.1	731	923	615	789	956	722	197	6,944.90
2005	69	67	139	774	796	940	634	704.4	633.6	1077	704	249	5,449.00
2006	435	335	363	661	1061	907	758	671.9	539.9	711.8	593	48	7,084.60
2007	376	178	271	777	988	917	543.8	1229.9	1288	709	510	354	8,141.70
2008	152	391	509	404.3	624.7	675	1256	1013	737	659	794	168.4	7,383.40
2009	231.7	412.9	430	433	829.6	705.9	651.2	801.7	478.3	618.5	769.8	394.4	6,757.00
2010	54.7	172.1	345.1	500.8	727	1263.4	1449.2	1304.2	868.5	448.2	373	401.7	7,907.90
2011	233.9	119.2	289.3	425.1	545.1	684	686.2	397.5	485	510.8	408.7	294.2	5,079.00
2012	142.8	53.4	464.6	660.8	689.6	550	678	688.4	429	693.7	342.4	167.7	5,560.40
2013	66.3	307.1	303.2	397.3	508.7	486.3	500.5	895.7	692.2	519.2	244.6	114.9	5,036.00
2014	150.5	152.7	208.6	861.6	336.8	634.4	461.4	762	552.6	712	449.1	254.1	5,535.80
2015	178.1	182	179	401.6	775.9	453.6	542.5	448.8	572.7	421.7	521.7	204.6	4,882.20
2016	10.6	20	34.9	468.2	619.3	425.7	594.9	456	448.2	477.5	471	237	4,263.30
2017	182	74.6	332.8	217	663.8	739.7	755.1	571.3	579	442.2	401.9	333.3	5,292.70
2018	279.5	72.4	347.3	538.8	729.3	538.7	559.7	480.7	504.7	566.1	381	115	5,113.20
2019	154	90.5	796	431	948	300.8	619.2	451	361	465.6	299.1	293.3	5,209.50
2020	243.8	212.4	160.5	203.2	424.3	597	430.7	374.6	413.6	546.8	256.5	159	4,022.40
MEDIOS	172.8	221.1	325.4	557	790.2	724.1	744.4	718	653.4	662.3	481.3	268.7	6,272.90
MAXIMOS													
MINIMOS													

A partir de los valores contenidos en la base de información de la estación Briceño - La Granja se grafica el comportamiento de la precipitación media mensual multianual como se puede ver en la Figura 38.

Figura 38

Precipitación media estación Briceño



Nota. Ponderación de los valores medios de precipitación para la estación Briceño - La Granja para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometereológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

De acuerdo con la aplicación de la metodología de complementación de series por el método de las proporciones se corrige las series como se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21

Serie corregida estación Briceño

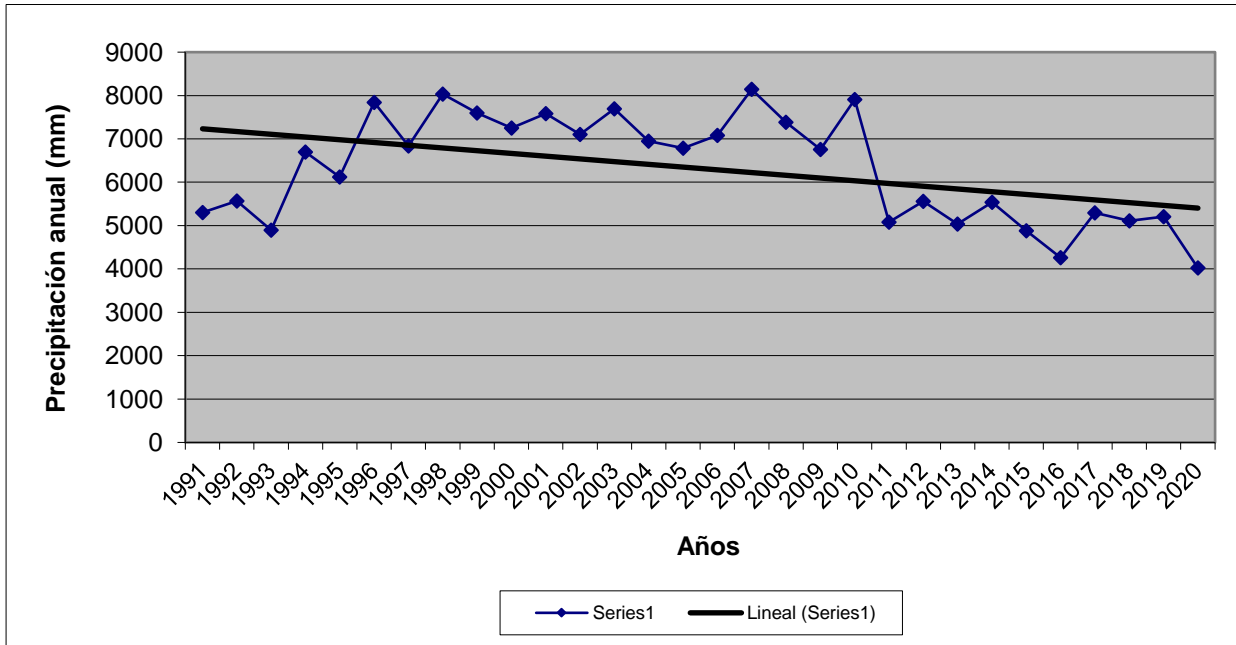
LATITUD 7.105 N TIPO EST SP DEPTO ANTIOQUIA FECHA-INSTALACION 1970-OCT													
LONGITUD -75.511 W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO BRICENO FECHA-SUSPENSION													
ELEVACION 1440 m.s.n.m REGIONAL CORRIENTE													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JU	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1991	37	513	311	438	624	834	417	536	455	558	391	190	5304
1992	76	108	297	575	536	457	872	659	748	572	417	249	5566
1993	246	53	468	417	832	457	514	446	436	323	492	211	4895

1994	104	179	250	763	885	900	651	941	373	713	752	183	6694
1995	132	26	330	439	679	955	800	697	579	693	488	307	6125
1996	214	312	692	697	1186	1117	1029	1016	818	462	233	64	7840
1997	9	810	177	746	1038	630	584	637	663	1064	417	61	6836
1998	208	331	200	523	902	836	1086	1050	1019	722	499	660	8036
1999	378	537	353	706	953	617	745	730	936	1069	238	334	7596
2000	106	100	316	620	940	822	1198	834	710	757	325	523	7251
2001	334	164	292	661	792	714	853	568	921	937	731	614	7580
2002	255	207	348	521	1109	1198	742	815	588	652	447	222	7105
2003	43	272	234	719	1263	635	797	733	964	812	768	456	7697
2004	81	179	322	730	699	731	923	615	789	956	722	197	6945
2005	69	67	139	774	796	940	634	704	634	1077	704	249	6787
2006	435	335	363	661	1061	907	758	672	540	712	593	48	7085
2007	376	178	271	777	988	917	544	1230	1288	709	510	354	8142
2008	152	391	509	404	625	675	1256	1013	737	659	794	168	7383
2009	232	413	430	433	830	706	651	802	478	619	770	394	6757
2010	55	172	345	501	727	1263	1449	1304	869	448	373	402	7908
2011	234	119	289	425	545	684	686	398	485	511	409	294	5079
2012	143	53	465	661	690	550	678	688	429	694	342	168	5560
2013	66	307	303	397	509	486	501	896	692	519	245	115	5036
2014	151	153	209	862	337	634	461	762	553	712	449	254	5536
2015	178	182	179	402	776	454	543	449	573	422	522	205	4882
2016	11	20	35	468	619	426	595	456	448	478	471	237	4263
2017	182	75	333	217	664	740	755	571	579	442	402	333	5293
2018	280	72	347	539	729	539	560	481	505	566	381	115	5113
2019	154	91	796	431	948	301	619	451	361	466	299	293	5210
2020	244	212	161	203	424	597	431	375	414	547	257	159	4022
MEDIOS	173	221	325	557	790	724	744	718	653	662	481	269	6318
MAXIMOS													
MINIMOS													

Tomando los datos corregidos de la serie 1991-2020 mediante el método de las proporciones se completan los datos faltantes, de esta manera se gráfica y se incluye una línea de tendencia para poder apreciar el comportamiento de los valores durante el tiempo evaluado, como se observa en la Figura 39, el comportamiento ha sido decreciente lo que supone un descenso de las lluvias en los últimos años.

Figura 39

Serie corregida estación Briceño



Nota. Serie corregida a partir de los valores medios de precipitación para la estación Valdivia para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometereológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Con la serie corregida se ordenan los datos de mayor a menor rango para cada uno de los meses del año y para el periodo completo utilizado, ver Tabla 22, se estiman periodos de probabilidad con incremento de 5% para poder estimar la probabilidad de los años así:

- Año Seco (Prob. 75%)
- Año Normal (Prob. 50%)
- Año Húmedo (Prob. 25%)

Tabla 22

Ordenación y estimación de la probabilidad de los datos mensuales de precipitación estación

Briceño

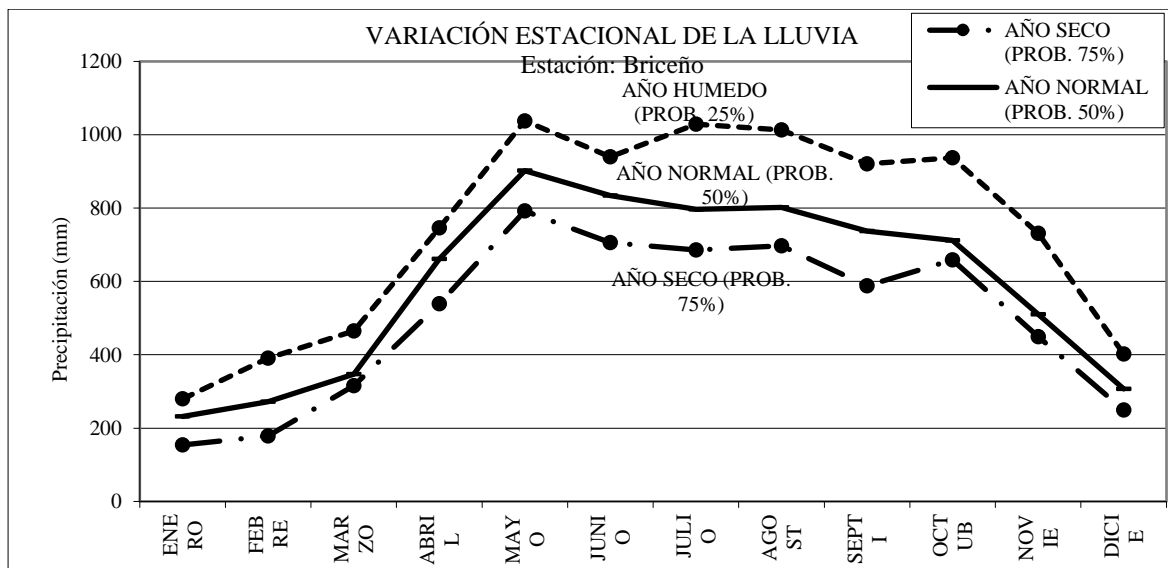
LATITUD 7.105 N TIPO EST SP DEPTO ANTIOQUIA FECHA-INSTALACION 1970-OCT													
LONGITUD -75.511 W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO BRICENO FECHA-SUSPENSION													
ELEVACION 1440 m.s.n.m REGIONAL CORRIENTE													
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROB. (%)
1	435	810	796	862	1263	1263	1449	1304	1288	1077	794	660	5
2	378	537	692	777	1186	1198	1256	1230	1019	1069	770	614	10
3	376	513	509	774	1109	1117	1198	1050	964	1064	768	523	15
4	334	413	468	763	1061	955	1086	1016	936	956	752	456	20
5	280	391	465	746	1038	940	1029	1013	921	937	731	402	25
6	255	335	430	730	988	917	923	941	869	812	722	394	30
7	246	331	363	719	953	907	872	896	818	757	704	354	35
8	244	312	353	706	948	900	853	834	789	722	593	334	40
9	234	307	348	697	940	836	800	815	748	713	522	333	45
10	232	272	347	661	902	834	797	802	737	712	510	307	50
11	214	212	345	661	885	822	758	762	710	712	499	294	55
12	208	207	333	661	832	740	755	733	692	709	492	293	60
13	182	182	330	620	830	731	745	730	663	694	488	254	65
14	178	179	322	575	796	714	742	704	634	693	471	249	70
15	154	179	316	539	792	706	686	697	588	659	449	249	75
16	152	178	311	523	776	684	678	688	579	652	447	237	80
17	151	172	303	521	729	675	651	672	579	619	417	222	85
18	143	164	297	501	727	635	651	659	573	572	417	211	90
19	132	153	292	468	699	634	634	637	553	566	409	205	95
20	106	119	289	439	690	630	619	615	540	558	402	197	100
21	104	108	271	438	679	617	595	571	505	547	391	190	105
22	81	100	250	433	664	597	584	568	485	519	381	183	110
23	76	91	234	431	625	550	560	536	478	511	373	168	115
24	69	75	209	425	624	539	544	481	455	478	342	168	120
25	66	72	200	417	619	486	543	456	448	466	325	159	125
26	55	67	179	404	545	457	514	451	436	462	299	115	130
27	43	53	177	402	536	457	501	449	429	448	257	115	135
28	37	53	161	397	509	454	461	446	414	442	245	64	140
29	11	26	139	217	424	426	431	398	373	422	238	61	145
30	9	20	35	203	337	301	417	375	361	323	233	48	150

DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROB. (%)
AÑO SECO (PROB. 75%)	154	179	316	539	792	706	686	697	588	659	449	249	6014
AÑO NORMAL (PROB. 50%)	232	272	347	661	902	834	797	802	737	712	510	307	7113
AÑO HUMEDO (PROB. 25%)	280	391	465	746	1038	940	1029	1013	921	937	731	402	8892

Teniendo en cuenta la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada año se grafica teniendo como resultado el comportamiento de la precipitación anual como se presenta en la Figura 40.

Figura 40

Variación estacional de la lluvia estación Briceño



PROBABILIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AÑO SECO (PROB. 75%)	154	179	316	539	792	706	686	697	588	659	449	249
AÑO NORMAL (PROB. 50%)	232	272	347	661	902	834	797	802	737	712	510	307

AÑO HUMEDO (PROB. 25%)	280	391	465	746	1038	940	1029	1013	921	937	731	402
---------------------------	-----	-----	-----	-----	------	-----	------	------	-----	-----	-----	-----

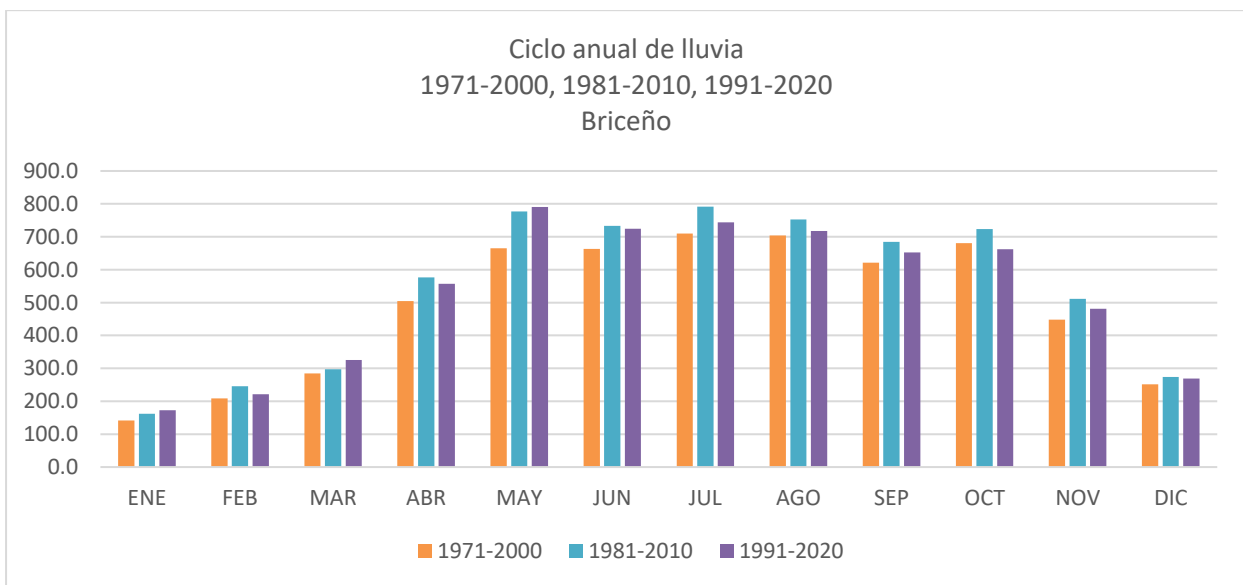
Nota. Serie corregida a partir de los valores medios de precipitación para la estación Briceño para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometereológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez completadas las series faltantes de la estación se desarrolla comparación entre las tres series con el fin de identificar variaciones significativas para los diferentes meses del año.

A partir de la precipitación anual de las series 1971 – 2000, 1981-2010 y 1991-2020, se pudo evidenciar que se presentó un incremento en las precipitaciones en el primer semestre del año, así mismo se observa que para el segundo semestre se presentó una reducción respecto al primer semestre.

Figura 41

Ciclo anual de lluvia estación Briceño



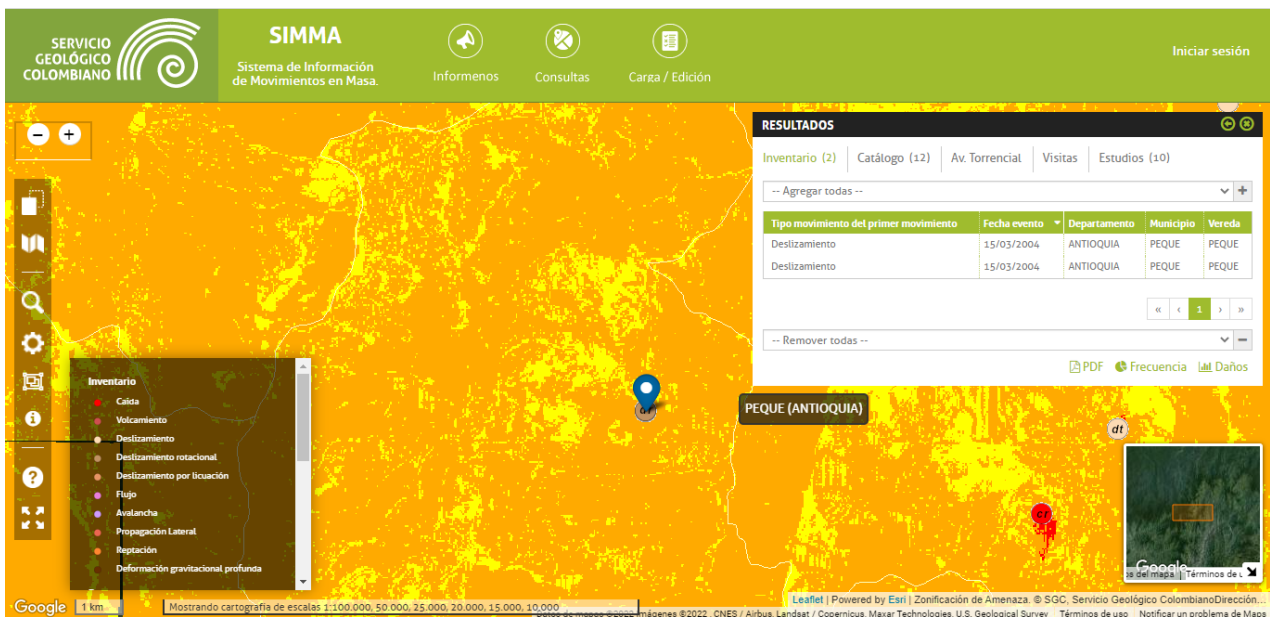
Nota. Elaboración propia, muestra el comportamiento de la precipitación para los periodos 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2020.

Ciclo Anual para el municipio de Peque

A partir del registro de eventos de SIMMA se desarrolla la búsqueda correspondiente al municipio de Peque caracterizada como la cuarta zona donde mayor número de registros se identifican en los municipios del estudio.

Figura 42

Registro de eventos por movimiento en masa Peque



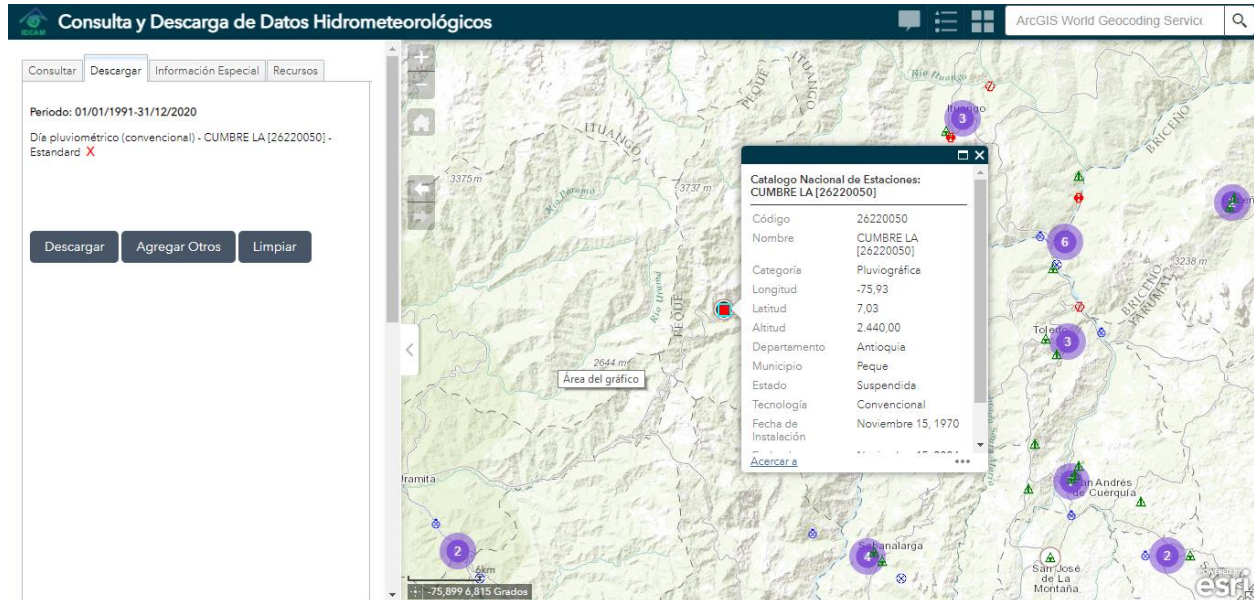
Nota. Adaptado del mapa de zonificación de Amenaza, por Servicio Geológico Colombiano

Dirección de Geoamenazas, 2022, <https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

Seguido a esto se ubica en la herramienta DHIME del IDEAM la estación más cercana a los eventos la cual corresponde a “Cumbre La [26220050]”.

Figura 43

Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos Peque



Nota. . Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez identificada la estación se descargan los archivos correspondientes a precipitación para un rango de años entre 01-01-1991 y 31-12-2020 como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23*Base de datos estación Peque*

Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Fecha Suspensión	Frecuencia	Fecha	Valor
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/1	14.4
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/2	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/3	4.2
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/4	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/5	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/6	7.7
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/7	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/8	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/9	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/10	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/11	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/12	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/13	6.4
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/14	14.1
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/15	2.2
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/16	59
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/17	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/18	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/19	0
CUMBRE LA	7.03	-75.93	2440	Antioquia	Peque	15/11/1970	15/11/2004	Diaria	1991/01/20	0

Nota. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometereológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>, ver Anexo E.

De acuerdo con los datos determinados se hace necesario identificar el número de datos faltantes con la aplicación de la metodología de complementación de series para la estación “Cumbre La [26220050]”.

Para calcular la estimación datos faltantes se utiliza el método de las proporciones para lo cual se aplica la siguiente formula:

$$X = X * Pf / Pa - X$$

X: lluvia promedio mes faltante

Pf: total anual (del mes faltante)

Pa: total anual promedio

Tabla 24

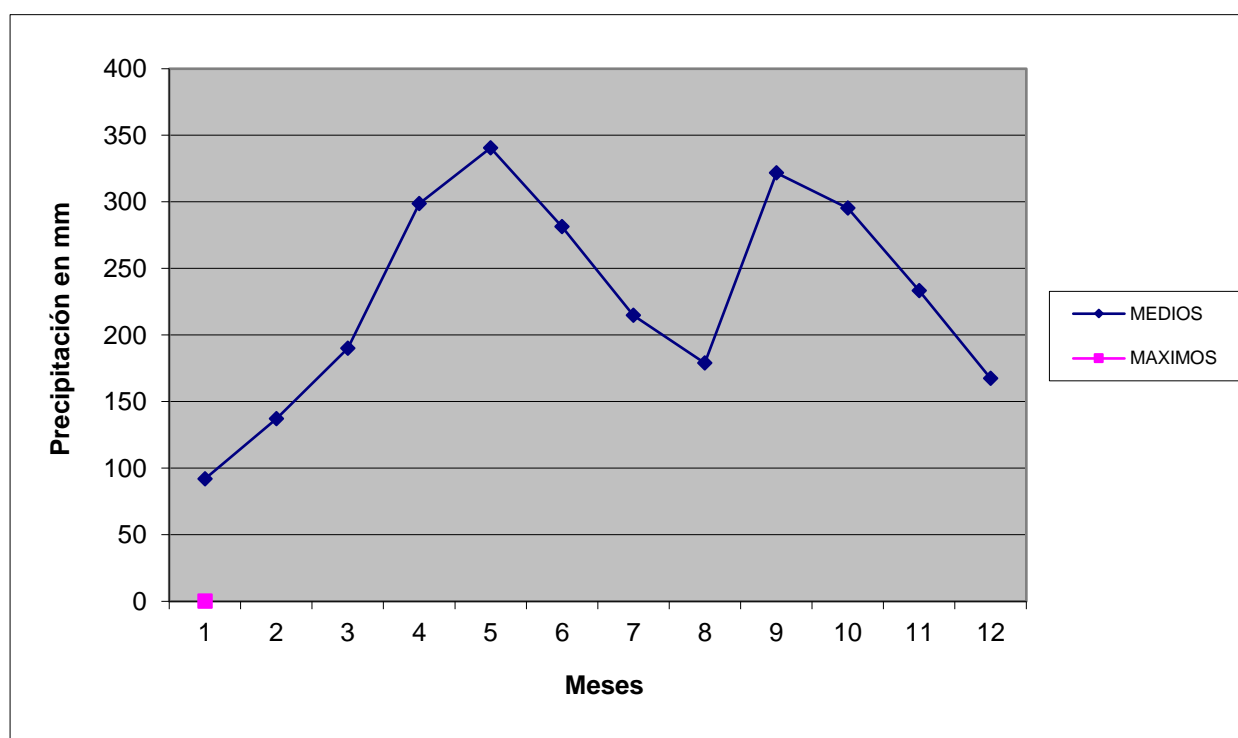
Valores totales mensuales de precipitación estación Peque

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
SISTEMA DE INFORMACION													
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)										NACIONAL AMBIENTAL			
LATITUD	7.0333N			TIPO EST	SP		DEPTO	ANTIOQUIA			FECHA-INSTALACION	15/11/1970	
LONGITUD	-75.9333W			ENTIDAD	01 IDEAM		MUNICIPIO	PEQUE			FECHA-SUSPENSION	15/11/2004	
ELEVACION	2440 m.s.n.m			REGIONAL	CORRIENTE								
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL
1991	108	39	349	261	373	249	226	79	256	312	349	137	2738
1992	23	141	36	324	337	155	269	234	314	269	260	206	2567
1993	135	3	244	264	355	175	303	205	300	287	273	165	2545
1994	67	151	104	308	309	238	119	453	296	327	210	114	2694
1995	20	135	190	163	392	346	354	296	306	315	150	223	2564
1996	152	155	288	311	404	390	347	238	295	243	184	118	3125
1997	132	185	152	249	311	281	76	39	260	319	238	31	2270
1998	36	103	271	348	393	316	314	269	409	266	486	213	3425
1999	153	227	169	360	284	288	183	271	426	374	277	243	3254
2000	166	161	53	264	254	305	285	219	321	261	108	138	2535
2001	77	36	179	195	337	193	254	63	282	286	227	219	2348
2002	80	33	228	422	406	283	121	129	198	222	160	169	2451
2003	103	216	277	253	399	305	270	263	356	339	138	159	2975
MEDIOS	92	137	190	299	341	281	215	179	322	295	233	167	2751
MAXIMOS													

A partir de los valores contenidos en la base de información de la estación La Cumbre se grafica el comportamiento de la precipitación media mensual multianual como se puede ver en la Figura 44.

Figura 44

Precipitación media estación La Cumbre



Nota. Ponderación de los valores medios de precipitación para la estación La Cumbre para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

De acuerdo con la aplicación de la metodología de complementación de series por el método de las proporciones se corrige las series como se presenta en la Tabla 25.

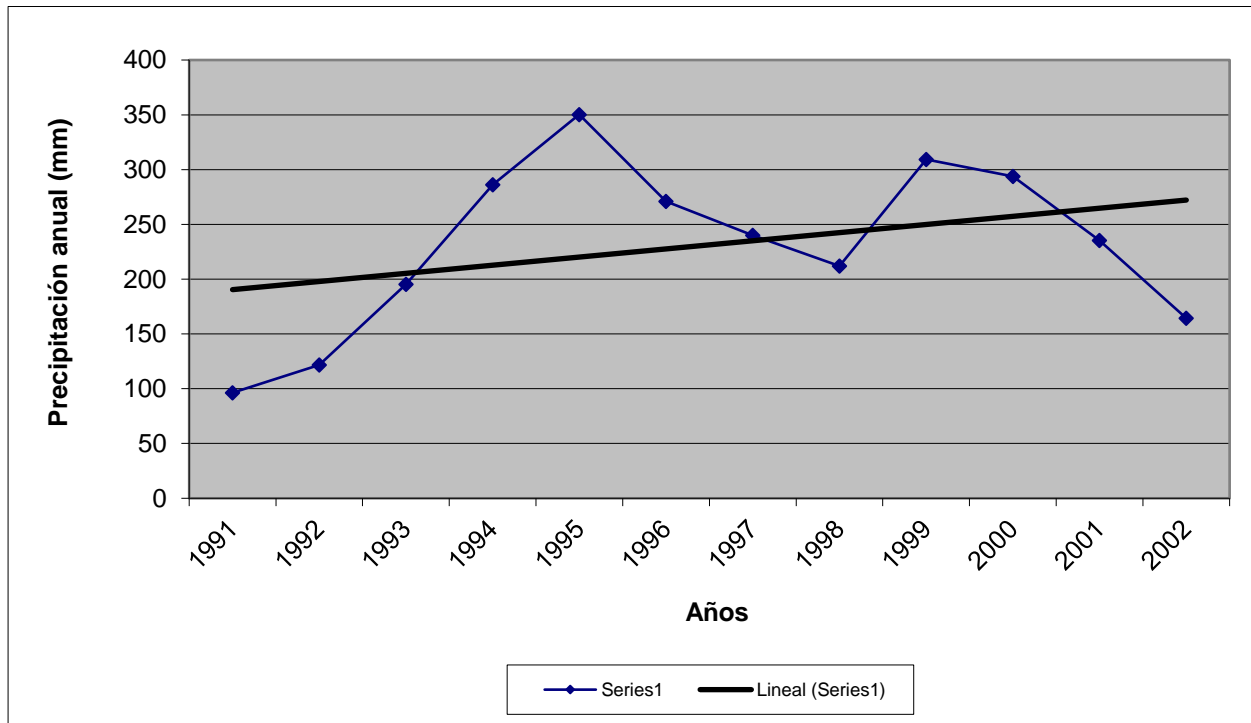
Tabla 25*Serie corregida estación Peque*

LATITUD 7.0333N TIPO EST SP DEPTO ANTIOQUIA FECHA-INSTALACION 15/11/1970													
LONGITUD -75.9333W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO PEQUE FECHA-SUSPENSION 15/11/2004													
ELEVACION 2440 m.s.n.m REGIONAL CORRIENTE													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1991	108	39	349	261	373	249	226	79	256	312	349	137	2738
1992	23	141	36	324	337	155	269	234	314	269	260	206	2567
1993	135	3	244	264	355	175	303	205	300	287	273	165	2710
1994	67	151	104	308	309	238	119	453	296	327	210	114	2694
1995	20	135	190	163	392	346	354	296	306	315	150	223	2888
1996	152	155	288	311	404	390	347	238	295	243	184	118	3125
1997	132	185	152	249	311	281	76	39	260	319	238	31	2270
1998	36	103	271	348	393	316	314	269	409	266	486	213	3425
1999	153	227	169	360	284	288	183	271	426	374	277	243	3254
2000	166	161	53	264	254	305	285	219	321	261	108	138	2535
2001	77	36	179	195	337	193	254	63	282	286	227	219	2348
2002	80	33	228	422	406	283	121	129	198	222	160	169	2451
2003	103	216	277	253	399	305	270	263	356	339	138	159	3078
MEDIOS	96	122	195	286	350	271	240	212	309	294	235	164	2776
MAXIMOS													
MINIMOS													

Tomando los datos corregidos de la serie 1991-2020 mediante el método de las proporciones se completan los datos faltantes, de esta manera se gráfica y se incluye una línea de tendencia para poder apreciar el comportamiento de los valores durante el tiempo evaluado, como se observa en la Figura 45, el comportamiento ha sido creciente lo que supone un aumento de las lluvias en los últimos años.

Figura 45

Serie corregida estación La Cumbre



Nota. Serie corregida a partir de los valores medios de precipitación para la estación La Cumbre para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Con la serie corregida se ordenan los datos de mayor a menor rango para cada uno de los meses del año y para el periodo completo utilizado, se estiman periodos de probabilidad con incremento de 5% para poder estimar la probabilidad de los años así:

- Año Seco (Prob. 75%)
- Año Normal (Prob. 50%)
- Año Húmedo (Prob. 25%)

Tabla 26

Ordenación y estimación de la probabilidad de los datos mensuales de precipitación estación

Peque

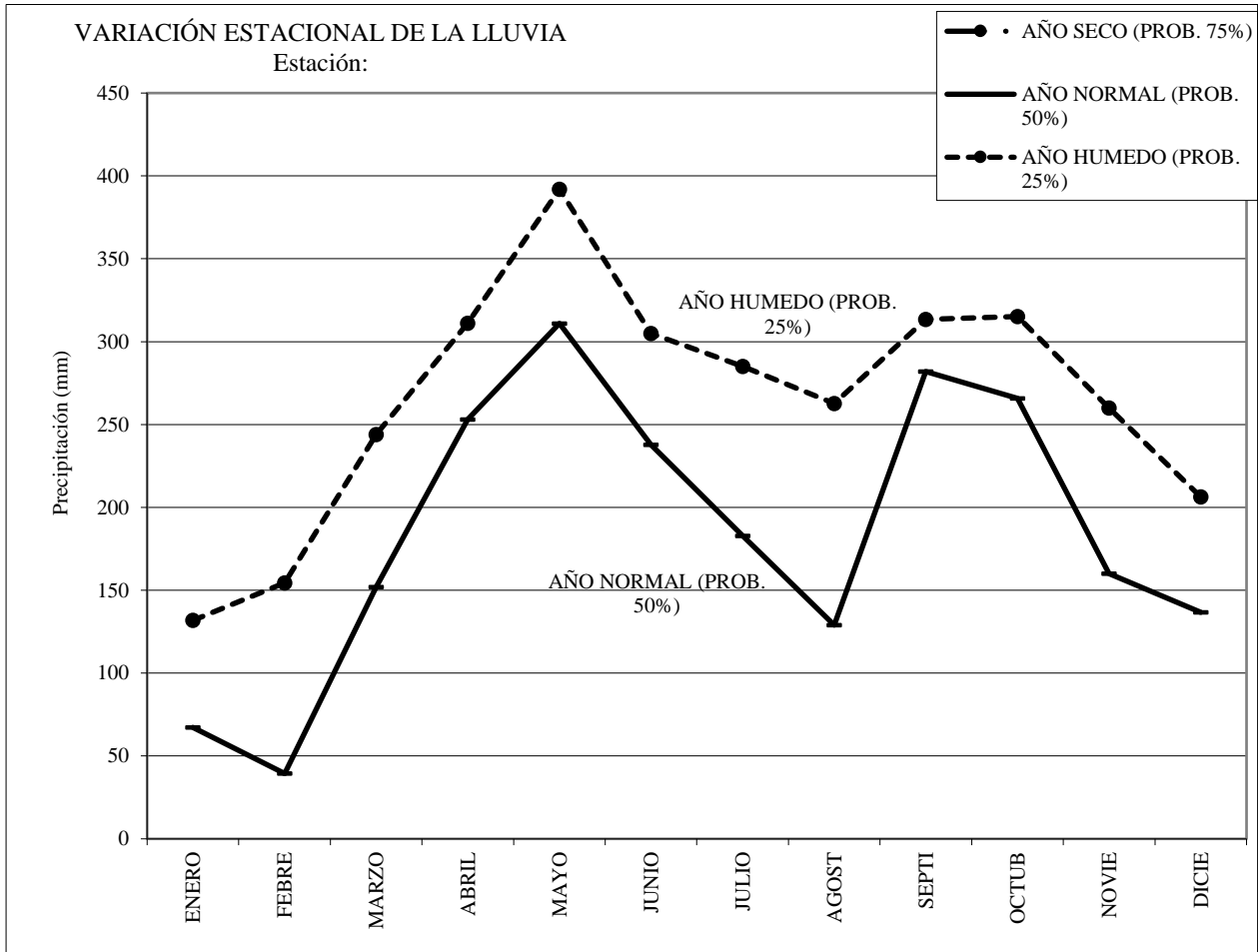
LATITUD 7.0333N TIPO EST SP DEPTO ANTIOQUIA FECHA-INSTALACION 15/11/1970													
LONGITUD -75.9333W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO PEQUE FECHA-SUSPENSION 15/11/2004													
ELEVACION 2440 m.s.n.m REGIONAL CORRIENTE													
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROB. (%)
1	166.0	227.0	348.5	422.0	406.0	389.6	354.0	452.6	426.0	374.0	486.0	243.0	5
2	153.0	216.0	288.0	359.6	404.1	346.0	347.3	295.5	409.4	339.2	348.7	222.8	10
3	152.1	184.5	277.0	348.0	398.6	316.0	314.0	271.0	356.2	326.5	277.0	219.0	15
4	135.2	161.0	271.2	323.5	393.2	305.0	303.2	269.1	321.0	318.5	273.3	213.0	20
5	131.8	154.5	243.9	311.1	392.0	304.9	285.0	262.7	313.5	315.2	260.0	206.3	25
6	108.0	151.0	228.0	308.0	372.7	288.0	270.0	238.4	305.8	311.8	238.0	169.0	30
7	102.9	140.5	190.1	264.2	354.7	283.0	268.5	234.1	300.1	286.8	227.0	164.9	35
8	80.0	134.5	179.1	264.0	337.4	280.5	254.0	219.0	295.6	286.0	210.0	159.4	40
9	76.7	102.7	168.9	261.1	337.3	249.4	226.0	204.9	294.9	269.4	183.8	138.0	45
10	67.2	39.4	152.0	253.0	311.0	237.8	182.8	129.0	282.0	265.8	160.0	136.7	50
11	36.2	35.7	104.2	249.0	308.7	192.5	121.0	79.3	260.0	261.0	149.5	118.0	55
12	23.2	33.0	53.0	195.4	284.0	175.2	118.7	63.0	256.1	243.0	137.7	114.0	60
13	20.0	3.3	36.0	163.0	254.0	154.5	75.8	38.5	198.0	222.0	108.0	30.6	65
AÑO SECO (PROB. 75%)													0
AÑO NORMAL (PROB. 50%)	67.2	39.4	152	253	311	237.8	182.8	129	282	265.8	160	136.7	2,217
AÑO HUMEDO (PROB. 25%)	131.8	154.5	243.9	311.1	392	304.9	285	262.7	313.5	315.2	260	206.3	3,181

Teniendo en cuenta la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada año se grafica teniendo como resultado el comportamiento de la precipitación anual como se presenta en la Figura 46.

PROBABILIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
AÑO SECO (PROB. 75%)													
AÑO NORMAL (PROB. 50%)	67.2	39.4	152	253	311	237.8	182.8	129	282	265.8	160	136.7	2,217
AÑO HUMEDO (PROB. 25%)	131.8	154.5	243.9	311.1	392	304.9	285	262.7	313.5	315.2	260	206.3	3,181

Figura 46

Variación estacional de la lluvia estación La Cumbre



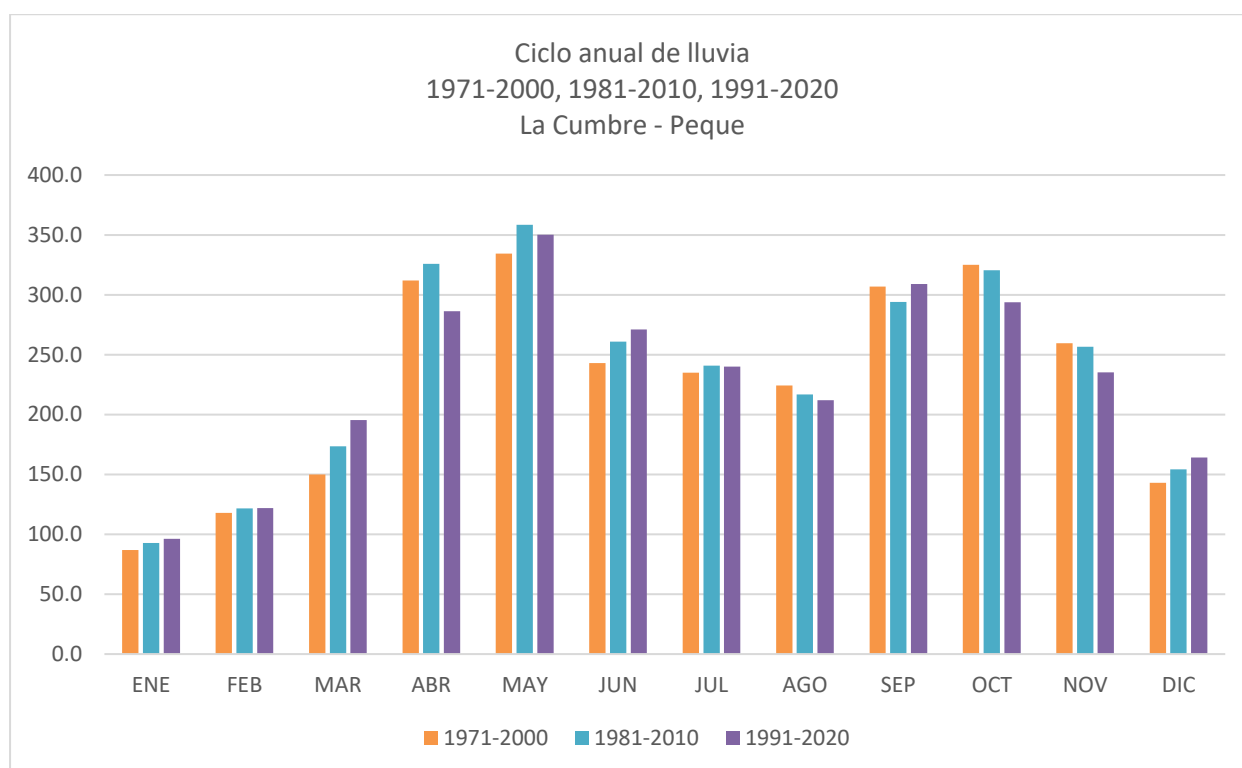
Nota. Serie corregida a partir de los valores medios de precipitación para la estación Puerto Valdivia para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez completadas las series faltantes de la estación se desarrolla comparación entre las tres series con el fin de identificar variaciones significativas para los diferentes meses del año.

A partir de la precipitación anual de las series 1971 – 2000, 1981-2010 y 1991-2020, se pudo evidenciar que para los meses más lluviosos mayo y octubre se presenta una reducción de precipitaciones y para los mes siguientes se presenta un incremento en las precipitaciones.

Figura 47

Ciclo anual de lluvia estación La Cumbre



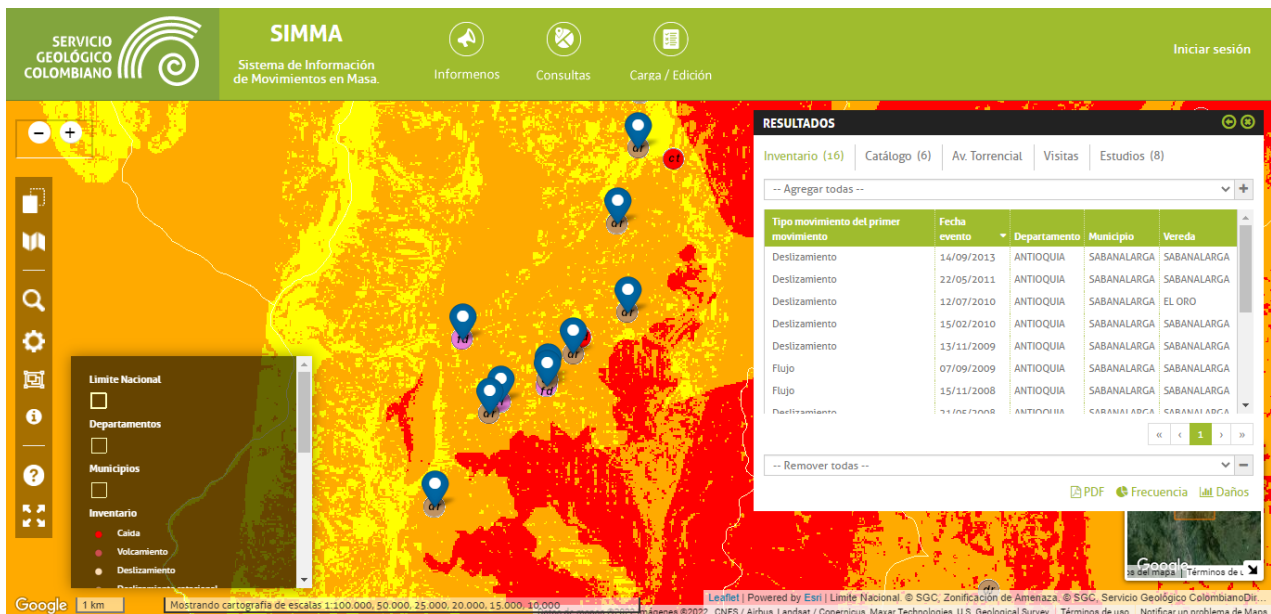
Nota. Elaboración propia, muestra el comportamiento de la precipitación para los periodos 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2020.

Ciclo Anual para el municipio de Sabanalarga

A partir del registro de eventos de SIMMA se desarrolla la búsqueda correspondiente al municipio de Sabanalarga caracterizada como la quinta zona donde se identifican eventos en los municipios del estudio.

Figura 48

Registro de eventos por movimiento en masa Sabanalarga

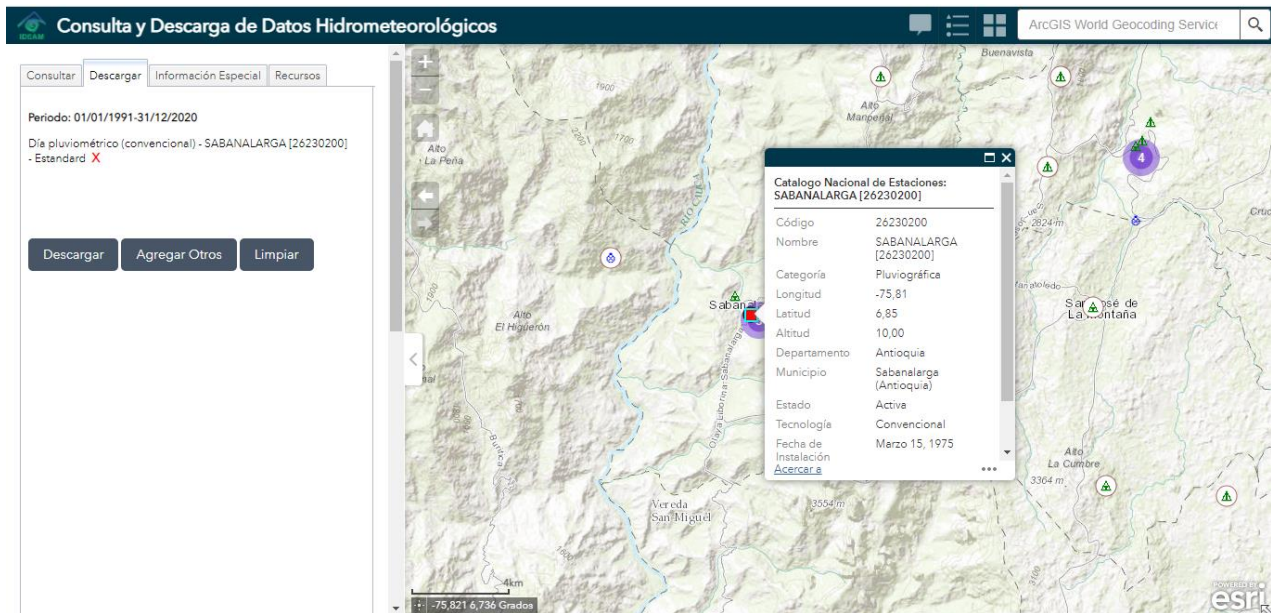


Nota. Adaptado del mapa de zonificación de Amenaza, por Servicio Geológico Colombiano Dirección de Geoamenazas, 2022, <https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

Seguido a esto se ubica en la herramienta DHIME del IDEAM la estación más cercana a los eventos la cual corresponde a “Sabanalarga [26230200]”.

Figura 49

Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos estación Sabanalarga



Nota. . Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez identificada la estación se descargan los archivos correspondientes a precipitación para un rango de años entre 01-01-1991 y 31-12-2020 como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27*Base de datos estación Sabanalarga*

Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Frecuencia	Fecha	Valor
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/1 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/2 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/3 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/4 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/5 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/6 12: a. m.	19.2
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/7 12: a. m.	0.5
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/8 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/9 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/10 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/11 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/12 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/13 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/14 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/15 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/16 12: a. m.	0.6
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/17 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/18 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/19 12: a. m.	0
SABANALARGA	6.85	-75.81	10	Antioquia	Sabanalarga	15/03/1975	Diaria	1991/01/20 12: a. m.	0

Nota. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>, ver Anexo E.

De acuerdo con los datos determinados se hace necesario identificar el número de datos faltantes con la aplicación de la metodología de complementación de series para la estación “Sabanalarga [26230200]”.

Para calcular la estimación datos faltantes se utiliza el método de las proporciones para lo cual se aplica la siguiente formula:

$$X = X * Pf / Pa - X$$

X: lluvia promedio mes faltante

Pf: total anual (del mes faltante)

Pa: total anual promedio

Tabla 28

Valores totales mensuales de precipitación estación Sabanalarga

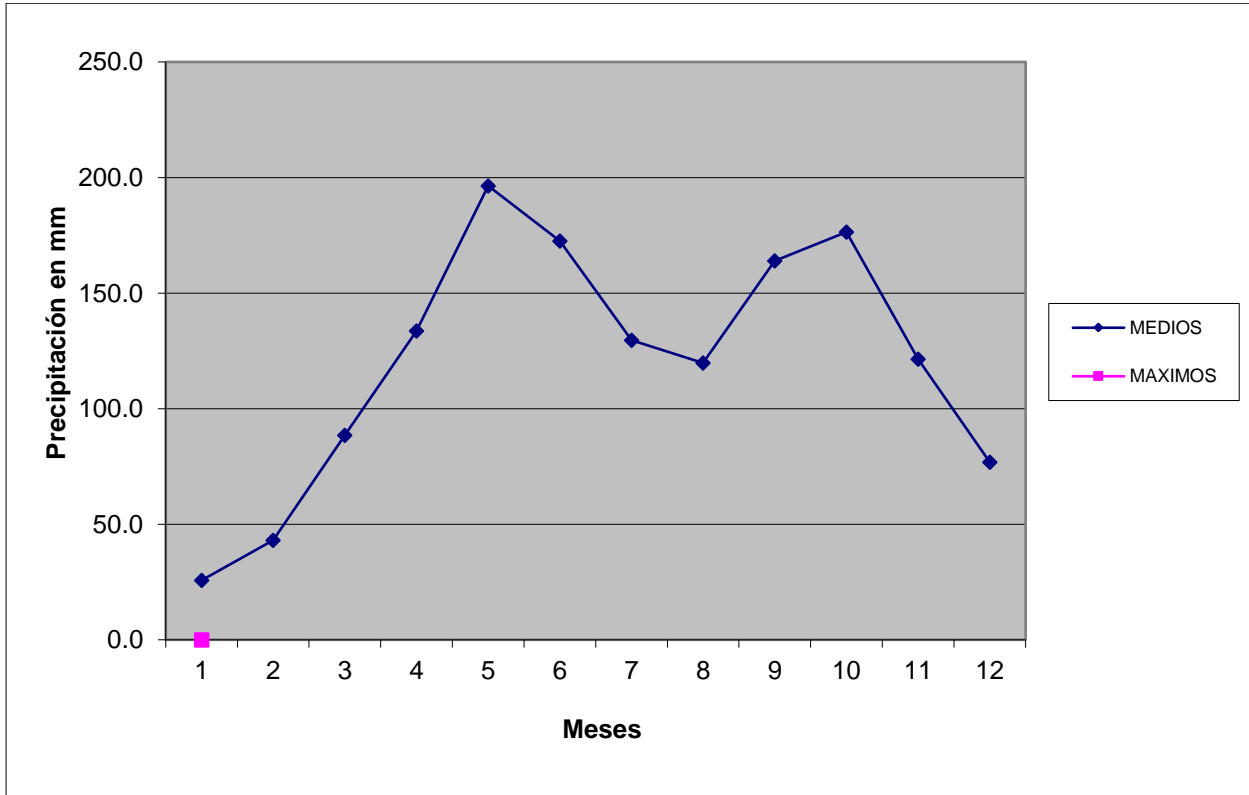
I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
SISTEMA DE INFORMACION													
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													NACIONAL AMBIENTAL
	LATITUD	6.846 N	TIPO EST	SP	DEPTO	ANTIOQUIA	FECHA-INSTALACION	15/03/1975					
	LONGITUD	-75.814 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	SABANALARGA	FECHA-SUSPENSION						
	ELEVACION	10 m.s.n.m	REGIONAL	CORRIENTE									
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1991	21.8	1.3	66.9	82	187.7	85.5	132.5	33	74.3	149.6	144.3	7.1	986
1992	7.3	15	48	92	154	114	79	113	218	146.2	127.6	49	1163
1993	40.5	9.8	123	128.7	105	123	127.4	67	182	147	210	61	1324.4
1994	35	46	99	221	107	132	58	209	105	239	176	36	1463
1995	38	0	40	160	194	153	242	136	123	191	68	85	1430
1996	15	52	127	102	205	188	156	142	221	144	142	84	1578
1997	20	97	43	80	113	205	14	9	197	180	147	3	1108
1998	33	57	108	170	243	158	226	209	272	175	118	65	1834
1999	46	127	47	166	162	202	104	122	150	266	54	54	1500
2000	12	66	98	135	240	280	204	156	257	78	20	79	1625
2001	42	23	97	122	129	125	105	22	211	205	219	128	1428
2002	34	22	110	127	186	158	73	100	161	171	90	80	1312
2003	3	28	53	112	165	176	117	153	154	212.5	99	62	1334.5

2004	30	50	68	116	340	84	193	63	177	126	109	100	1456
2005	32	0	103	103	161	94	135	109	164	180	210	56	1347
2006	19	15	96	114	158	119	67	78	195.6	112.6	117.5	120.3	1212
2007	29.1	6.2	89.4	209.6	283.8	138.1	156	169.2	129	225	88.7	68.7	1592.8
2008	34	37.7	142.7	104.2	157.5	217	246.1	195.6	170.9	200.8	196.1	6.8	1709.4
2009	47.9	66.9	106.6	107.1	162.4	189.3	88.6	98	84	204	104.3	41	1300
2010	2	48	84	120	170.5	284	242	201	228	124	247	152	1902.5
2011	25	41.3	109.3	145.4	147.5	211	179.9	113	135.5	144.7	97	99.5	1449.1
2012	32.5	46.5	39.3	240	174.3	107.8	67.7	178.6	122.5	212	95.1	42.7	1359
2013	3.1	49.6	129.4	126.7	230.8	104.7	74.5	135.8	123.2	104.4	104.5	103	1289.7
2014	33	82	47	111	115	91	38	159	160	282	113	108	1339
2015	40	43	57	111	181	35	109	131	61	104.8	152	48.5	1073.3
2016	33.3	12.7	58.7	161.4	189.2	151.5	120.6	77.9	151.4	163.7	111.9	77.2	1310
2017	7.5	0.8	220.4	46.2	326.3	177.1	127.3	62.5	199.7	170.2	129.5	94.9	1562
2018	12.6	21.4	45.3	70.9	109.6	94.4	68.6	97.4	166.8	226.6	114.6	74.6	680
2019	8.4	38.9	99.1	247.5	341.2	535.1	110.2	55.4	102.8	151.9	71.4	79.7	1841.6
2020	24.8	32.7	27.8	99.2	140.7	125.8	183.5	179.4	160.4	213.1	107	101	1395.4
MEDIOS	25.7	43.1	88.4	133.7	196.4	172.5	129.6	119.8	163.9	176.4	121.5	76.9	1415
MAXIMOS													
MINIMOS													

A partir de los valores contenidos en la base de información de la estación Sabanalarga se grafica el comportamiento de la precipitación media mensual multianual como se puede ver en la Figura 50.

Figura 50

Precipitación media estación Sabanalarga



Nota. Ponderación de los valores medios de precipitación para la estación Sabanalarga para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

De acuerdo con la aplicación de la metodología de complementación de series por el método de las proporciones se corrige las series como se presenta en la Tabla 29.

Tabla 29

Serie corregida estación Sabanalarga

LATITUD	6.846 N	TIPO EST	SP	DEPTO	ANTIOQUIA	FECHA-INSTALACION	15/03/1975
LONGITUD	-75.814 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	SABANALARGA	FECHA-SUSPENSION	
		ELEVACION	10 m.s.n.m	REGIONAL	CORRIENTE		

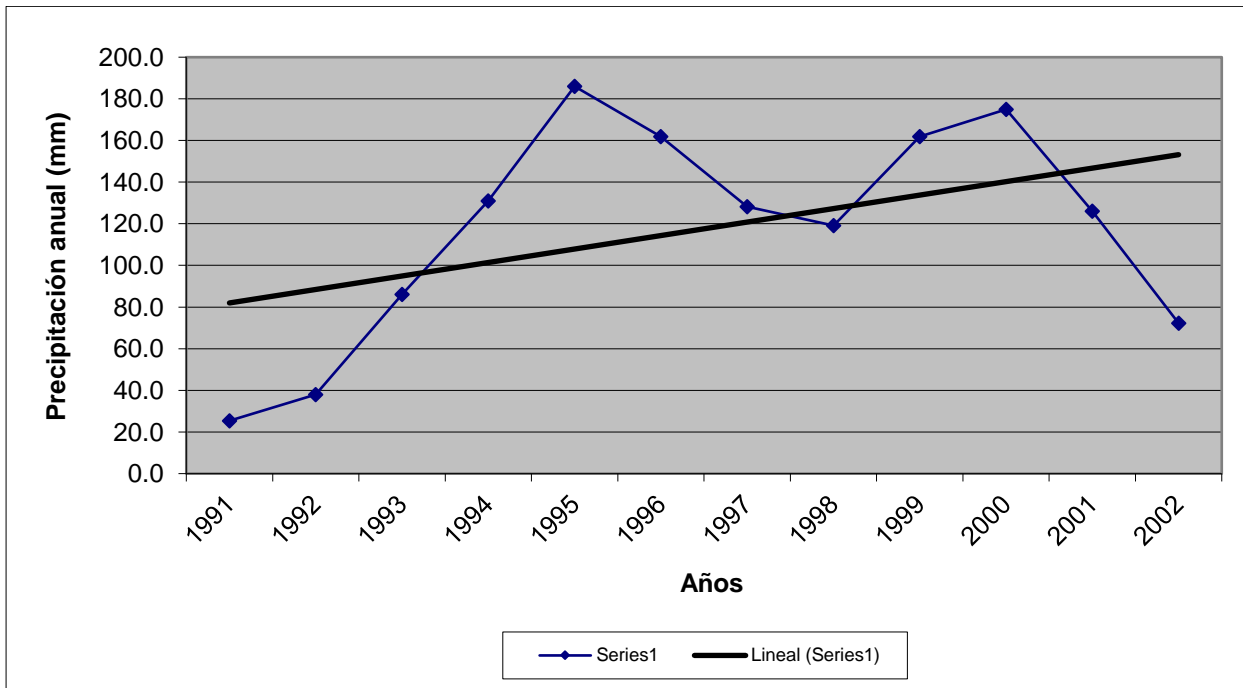
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1991	21.8	1.3	66.9	82.0	187.7	85.5	132.5	33.0	74.3	149.6	144.3	7.1	986.0
1992	7.3	15.0	48.0	92.0	154.0	114.0	79.0	113.0	218.0	146.2	127.6	49.0	1163.1
1993	40.5	9.8	123.0	128.7	105.0	123.0	127.4	67.0	182.0	147.0	210.0	61.0	1324.4
1994	35.0	46.0	99.0	221.0	107.0	132.0	58.0	209.0	105.0	239.0	176.0	36.0	1463.0
1995	38.0	0.0	40.0	160.0	194.0	153.0	242.0	136.0	123.0	191.0	68.0	85.0	1430.0
1996	15.0	52.0	127.0	102.0	205.0	188.0	156.0	142.0	221.0	144.0	142.0	84.0	1578.0
1997	20.0	97.0	43.0	80.0	113.0	205.0	14.0	9.0	197.0	180.0	147.0	3.0	1108.0
1998	33.0	57.0	108.0	170.0	243.0	158.0	226.0	209.0	272.0	175.0	118.0	65.0	1834.0
1999	46.0	127.0	47.0	166.0	162.0	202.0	104.0	122.0	150.0	266.0	54.0	54.0	1500.0
2000	12.0	66.0	98.0	135.0	240.0	280.0	204.0	156.0	257.0	78.0	20.0	79.0	1625.0
2001	42.0	23.0	97.0	122.0	129.0	125.0	105.0	22.0	211.0	205.0	219.0	128.0	1428.0
2002	34.0	22.0	110.0	127.0	186.0	158.0	73.0	100.0	161.0	171.0	90.0	80.0	1312.0
2003	3.0	28.0	53.0	112.0	165.0	176.0	117.0	153.0	154.0	212.5	99.0	62.0	1334.5
2004	30.0	50.0	68.0	116.0	340.0	84.0	193.0	63.0	177.0	126.0	109.0	100.0	1456.0
2005	32.0	0.0	103.0	103.0	161.0	94.0	135.0	109.0	164.0	180.0	210.0	56.0	1347.0
2006	19.0	15.0	96.0	114.0	158.0	119.0	67.0	78.0	195.6	112.6	117.5	120.3	1212.0
2007	29.1	6.2	89.4	209.6	283.8	138.1	156.0	169.2	129.0	225.0	88.7	68.7	1592.8
2008	34.0	37.7	142.7	104.2	157.5	217.0	246.1	195.6	170.9	200.8	196.1	6.8	1709.4
2009	47.9	66.9	106.6	107.1	162.4	189.3	88.6	98.0	84.0	204.0	104.3	41.0	1300.1
2010	2.0	48.0	84.0	120.0	170.5	284.0	242.0	201.0	228.0	124.0	247.0	152.0	1902.5
2011	25.0	41.3	109.3	145.4	147.5	211.0	179.9	113.0	135.5	144.7	97.0	99.5	1449.1
2012	32.5	46.5	39.3	240.0	174.3	107.8	67.7	178.6	122.5	212.0	95.1	42.7	1359.0
2013	3.1	49.6	129.4	126.7	230.8	104.7	74.5	135.8	123.2	104.4	104.5	103.0	1289.7
2014	33.0	82.0	47.0	111.0	115.0	91.0	38.0	159.0	160.0	282.0	113.0	108.0	1339.0
2015	40.0	43.0	57.0	111.0	181.0	35.0	109.0	131.0	61.0	104.8	152.0	48.5	1073.3
2016	33.3	12.7	58.7	161.4	189.2	151.5	120.6	77.9	151.4	163.7	111.9	77.2	1309.5
2017	7.5	0.8	220.4	46.2	326.3	177.1	127.3	62.5	199.7	170.2	129.5	94.9	1562.4
2018	12.6	21.4	45.3	70.9	109.6	94.4	68.6	97.4	166.8	226.6	114.6	74.6	1102.8
2019	8.4	38.9	99.1	247.5	341.2	535.1	110.2	55.4	102.8	151.9	71.4	79.7	1841.6
2020	24.8	32.7	27.8	99.2	140.7	125.8	183.5	179.4	160.4	213.1	107.0	101.0	1395.4
MEDIOS	25.4	37.9	86.1	131.0	186.0	161.9	128.2	119.2	161.9	175.0	126.1	72.2	1410.9
MAXIMOS													
MINIMOS													

Tomando los datos corregidos de la serie 1991-2020 mediante el método de las proporciones se completan los datos faltantes, de esta manera se gráfica y se incluye una línea de tendencia para poder apreciar el comportamiento de los valores durante el tiempo evaluado,

como se observa en la Figura 51, el comportamiento ha sido creciente lo que supone un aumento de las lluvias en los últimos años.

Figura 51

Serie corregida estación Sabanalarga



Nota. Serie corregida a partir de los valores medios de precipitación para la estación Sabanalarga para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Con la serie corregida se ordenan los datos de mayor a menor rango para cada uno de los meses del año y para el periodo completo utilizado, se estiman periodos de probabilidad con incremento de 5% para poder estimar la probabilidad de los años así:

- Año Seco (Prob. 75%)

- Año Normal (Prob. 50%)
- Año Húmedo (Prob. 25%)

Tabla 30

Ordenación y estimación de la probabilidad de los datos mensuales de precipitación estación

Sabanalarga

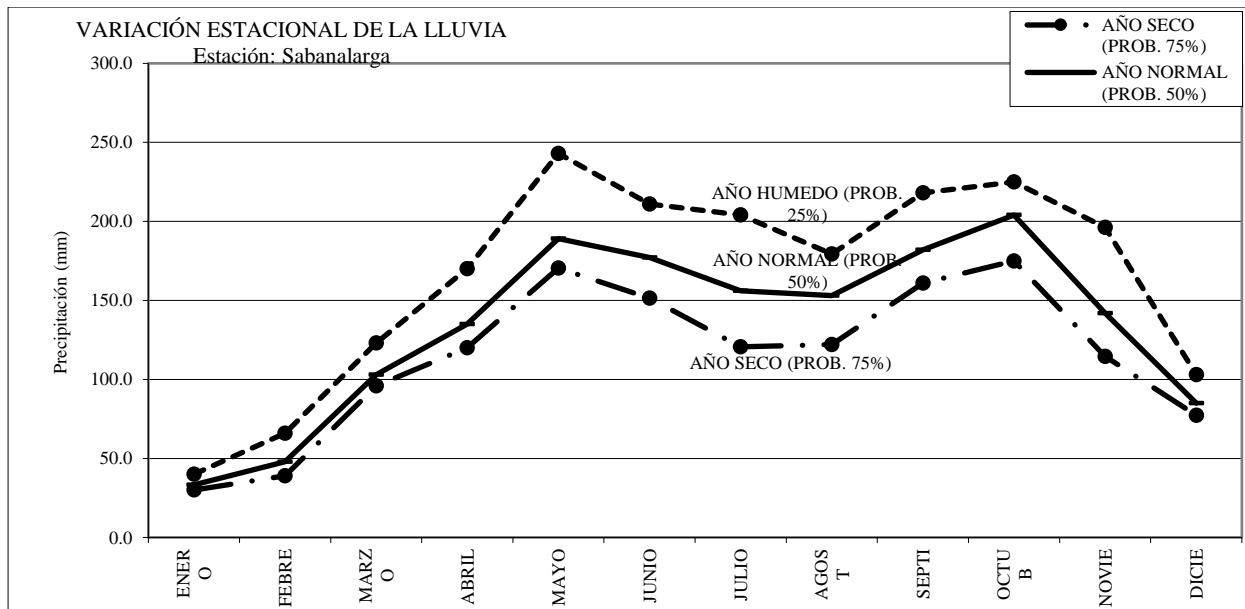
LATITUD 6.846 N		TIPO EST SP		DEPTO ANTIOQUIA		FECHA-INSTALACION 15/03/1975							
LONGITUD -75.814 W		ENTIDAD 01 IDEAM		MUNICIPIO SABANALARGA							FECHA-SUSPENSION		
ELEVACION 10 m.s.n.m		REGIONAL							CORRIENTE				
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROB. (%)
1	47.9	127	220.4	247.5	341.2	535.1	246.1	209	272	282	247	152	5
2	46	97	142.7	240	340	284	242	209	257	266	219	128	10
3	42	82	129.4	221	326.3	280	242	201	228	239	210	120.3	15
4	40.5	66.9	127	209.6	283.8	217	226	195.6	221	226.6	210	108	20
5	40	66	123	170	243	211	204	179.4	218	225	196.1	103	25
6	38	57	110	166	240	205	193	178.6	211	213.1	176	101	30
7	35	52	109.3	161.4	230.8	202	183.5	169.2	199.7	212.5	152	100	35
8	34	50	108	160	205	189.3	179.9	159	197	212	147	99.5	40
9	34	49.6	106.6	145.4	194	188	156	156	195.6	205	144.3	94.9	45
10	33.3	48	103	135	189.2	177.1	156	153	182	204	142	85	50
11	33	46.5	99.1	128.7	187.7	176	135	142	177	200.8	129.5	84	55
12	33	46	99	127	186	158	132.5	136	170.9	191	127.6	80	60
13	32.5	43	98	126.7	181	158	127.4	135.8	166.8	180	118	79.7	65
14	32	41.3	97	122	174.3	153	127.3	131	164	180	117.5	79	70
15	30	38.9	96	120	170.5	151.5	120.6	122	161	175	114.6	77.2	75
16	29.1	37.7	89.4	116	165	138.1	117	113	160.4	171	113	74.6	80
17	25	32.7	84	114	162.4	132	110.2	113	160	170.2	111.9	68.7	85
18	24.8	28	68	112	162	125.8	109	109	154	163.7	109	65	90
19	21.8	23	66.9	111	161	125	105	100	151.4	151.9	107	62	95
20	20	22	58.7	111	158	123	104	98	150	149.6	104.5	61	100
21	19	21.4	57	107.1	157.5	119	88.6	97.4	135.5	147	104.3	56	105
22	15	15	53	104.2	154	114	79	78	129	146.2	99	54	110
23	12.6	15	48	103	147.5	107.8	74.5	77.9	123.2	144.7	97	49	115
24	12	12.7	47	102	140.7	104.7	73	67	123	144	95.1	48.5	120
25	8.4	9.8	47	99.2	129	94.4	68.6	63	122.5	126	90	42.7	125

26	7.5	6.2	45.3	92	115	94	67.7	62.5	105	124	88.7	41	130
27	7.3	1.3	43	82	113	91	67	55.4	102.8	112.6	71.4	36	135
28	3.1	0.8	40	80	109.6	85.5	58	33	84	104.8	68	7.1	140
29	3	0	39.3	70.9	107	84	38	22	74.3	104.4	54	6.8	145
30	2	0	27.8	46.2	105	35	14	9	61	78	20	3	150
AÑO SECO (PROB. 75%)	30	38.9	96	120	170.5	151.5	120.6	122	161	175	114.6	77.2	1,377
AÑO NORMAL (PROB. 50%)	33.3	48	103	135	189.2	177.1	156	153	182	204	142	85	1,608
AÑO HUMEDO (PROB. 25%)	40	66	123	170	243	211	204	179.4	218	225	196.1	103	1,979

Teniendo en cuenta la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada año se grafica teniendo como resultado el comportamiento de la precipitación anual como se presenta en la Figura 52.

Figura 52

Variación estacional de la lluvia estación Sabanalarga



PROBABILIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
AÑO SECO (PROB. 75%)	30	38.9	96	120	170.5	151.5	120.6	122	161	175	114.6	77.2	1,377.30
AÑO NORMAL (PROB. 50%)	33.3	48	103	135	189.2	177.1	156	153	182	204	142	85	1,607.60
AÑO HUMEDO (PROB. 25%)	40	66	123	170	243	211	204	179.4	218	225	196.1	103	1,978.50

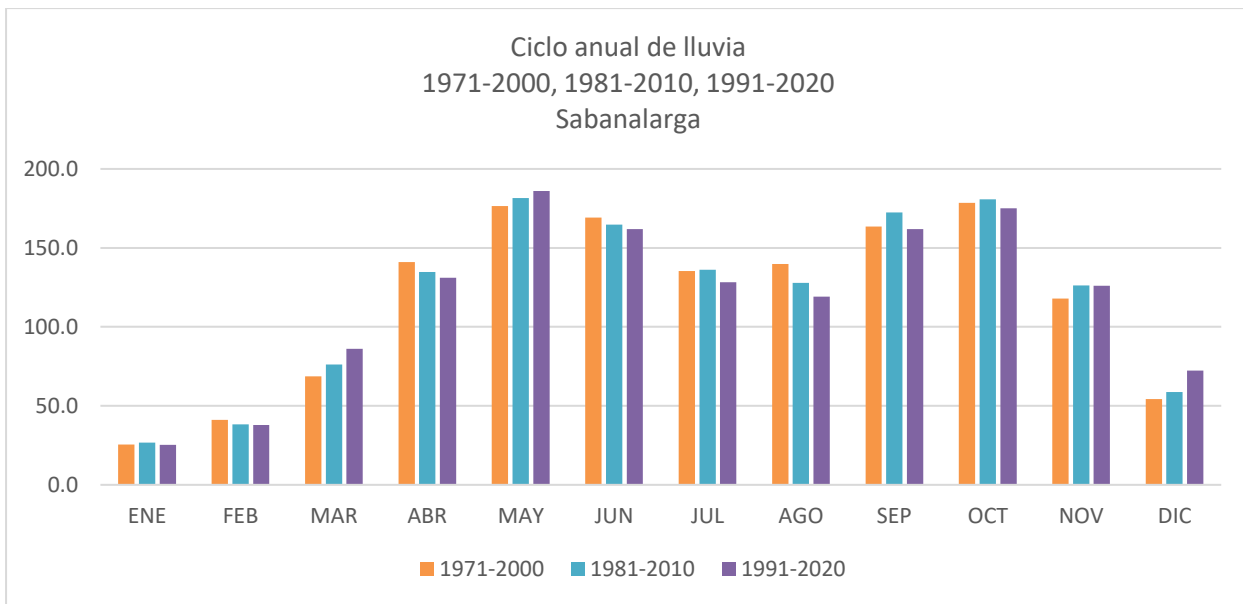
Nota. Serie corregida a partir de los valores medios de precipitación para la estación Puerto Valdivia para el periodo 1991-2020. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez completadas las series faltantes de la estación se desarrolla comparación entre las tres series con el fin de identificar variaciones significativas para los diferentes meses del año.

A partir de la precipitación anual de las series 1971 – 2000, 1981-2010 y 1991-2020, se pudo evidenciar que para los meses más lluviosos mayo y octubre se tiene una incidencia de mayores lluvias, así mismo se observa que los meses de marzo, noviembre y diciembre han tenido una tendencia marcada al incremento de las precipitaciones.

Figura 53

Ciclo anual de lluvia estación Sabanalarga



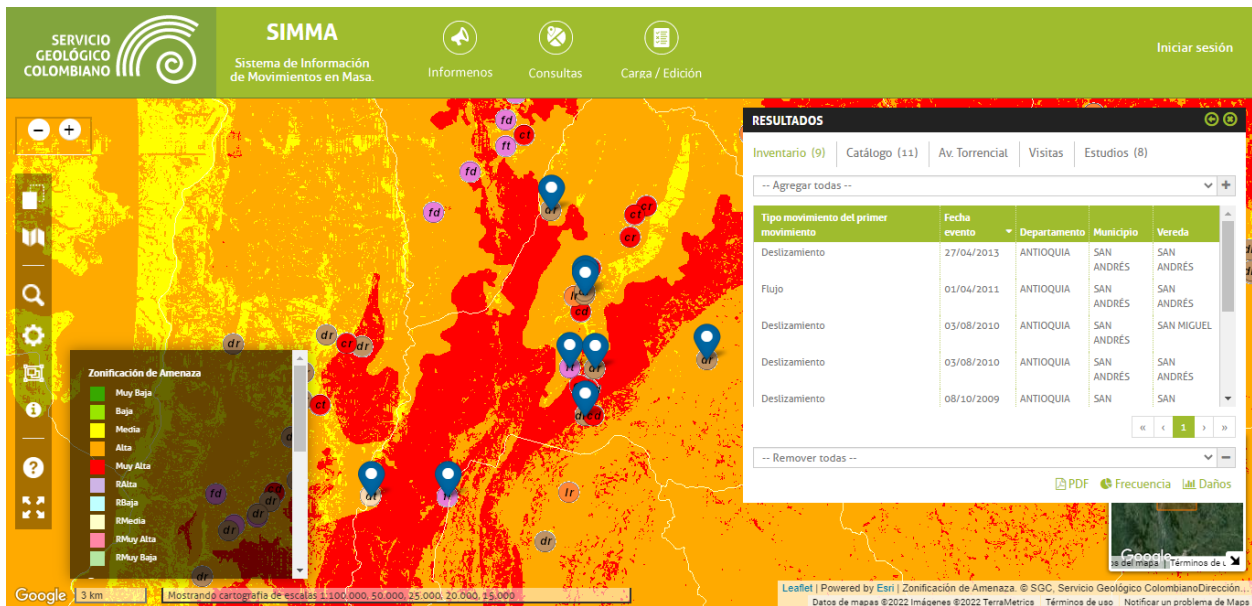
Nota. Elaboración propia, muestra el comportamiento de la precipitación para los periodos 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2020.

Ciclo Anual para el municipio de San Andres de Cuerquia

A partir del registro de eventos de SIMMA se desarrolla la búsqueda correspondiente al municipio de San Andres de Cuerquia caracterizada como la sexta zona de caracterización de registros de eventos ocurridos en la zona de estudio.

Figura 54

Registro de eventos por movimiento en masa San Andres de Cuerquia



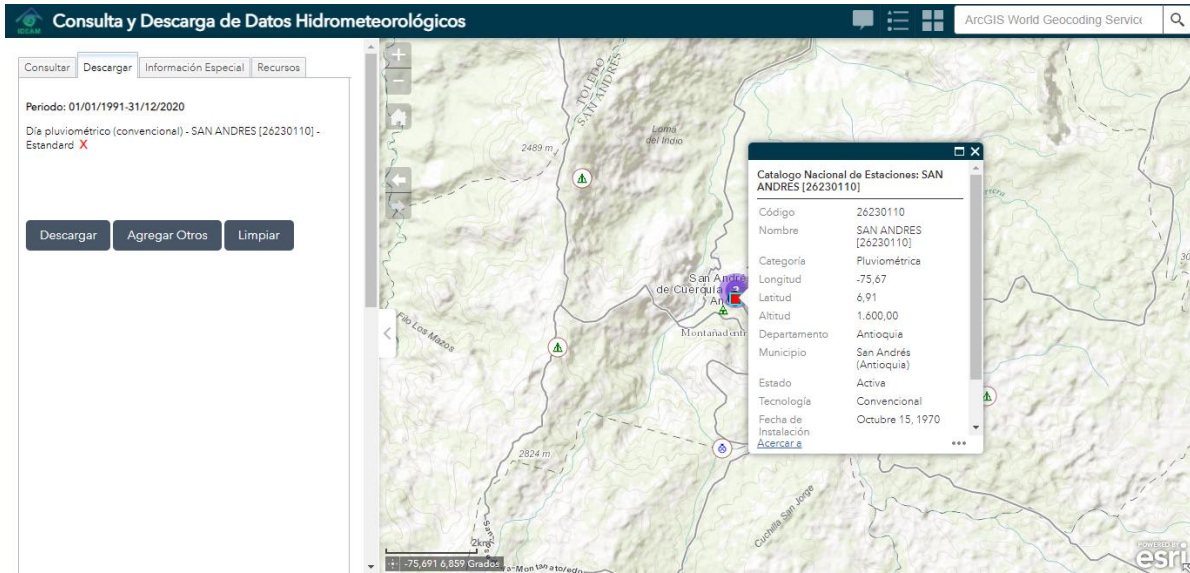
Nota. Adaptado del mapa de zonificación de Amenaza, por Servicio Geológico Colombiano

Dirección de Geoamenazas, 2022, <https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

Seguido a esto se ubica en la herramienta DHIME del IDEAM la estación más cercana a los eventos la cual corresponde a “San Andres [26230110]”.

Figura 55

Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos estación San Andres



Nota. . Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Una vez identificada la estación se descargan los archivos correspondientes a precipitación para un rango de años entre 31-12-1990 y 31-12-2020 como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31

Base de datos estación San Andres

Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Frecuencia	Fecha	Valor
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/1 0:00	9
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/2 0:00	1
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/3 0:00	14

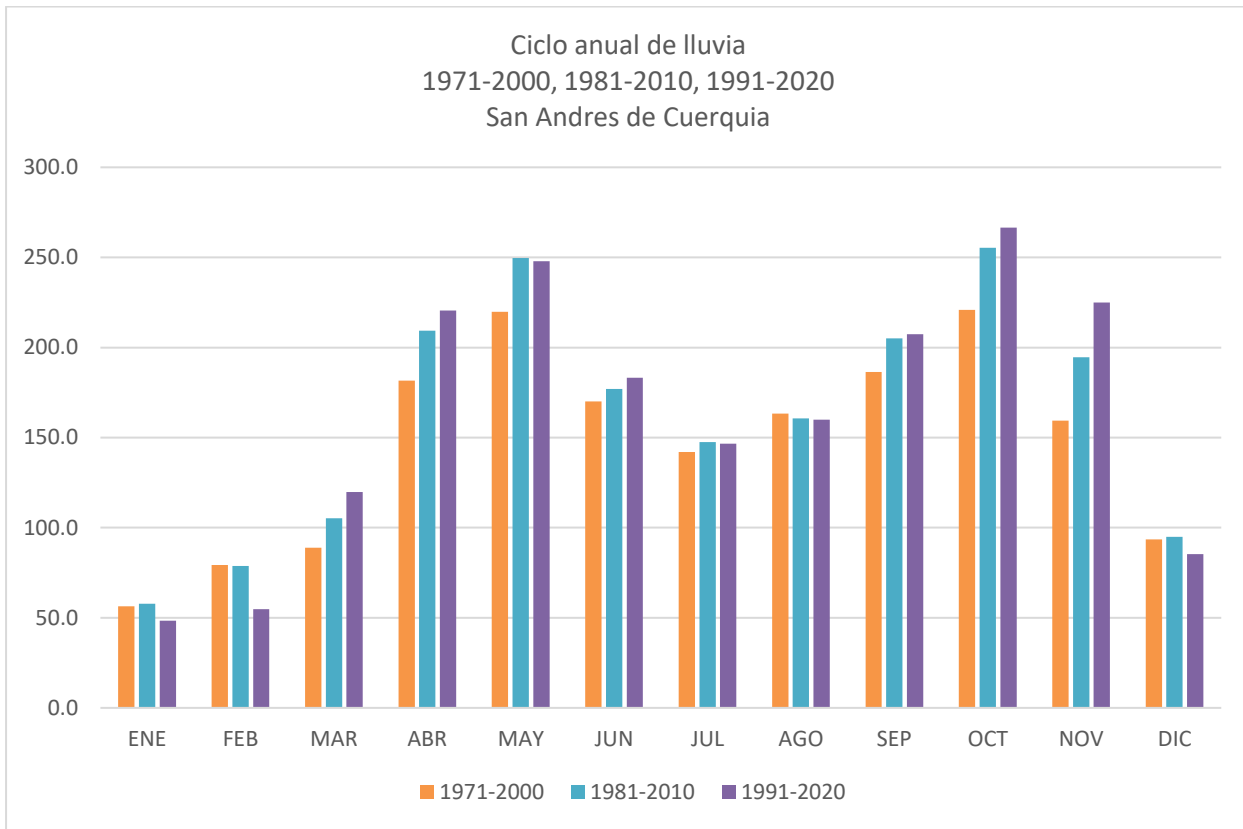
Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Municipio	Fecha Instalación	Frecuencia	Fecha	Valor
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/4 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/5 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/6 0:00	4
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/7 0:00	6
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/8 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/9 0:00	4
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/10 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/11 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/12 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/13 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/14 0:00	5
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/15 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/16 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/17 0:00	7
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/18 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/19 0:00	0
SAN ANDRES	6.91	-75.67	1600	Antioquia	San Andres	15/10/1970	Diaria	1991/01/20 0:00	0

Nota. Adaptado de base de consulta y descarga de datos hidrometereológicos por IDEAM, 2022, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

A partir de la precipitación anual de las series 1971 – 2000, 1981-2010 y 1991-2020, se pudo evidenciar que para los meses más lluviosos abril y octubre se tiene una incidencia de mayores lluvias, así mismo se observa que los demás meses se ha tenido una tendencia al incremento de las precipitaciones.

Figura 56

Ciclo anual de lluvia estación San Andres



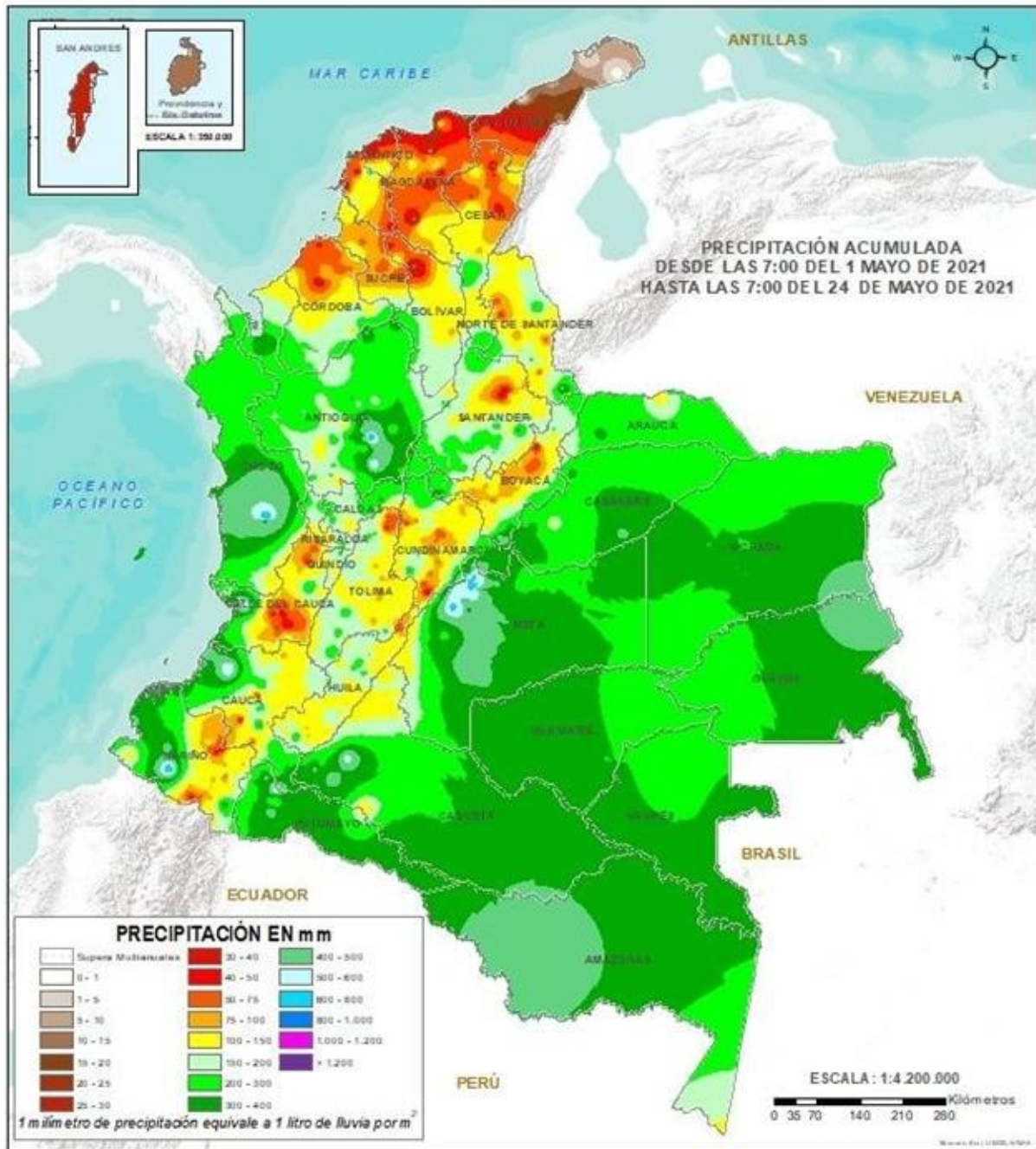
Nota. Elaboración propia, muestra el comportamiento de la precipitación para los periodos 1971-2000, 1981-2010 y 1991-2020.

Acumulados de lluvia antecedente

Como parte del análisis se utiliza la información nacional registrada por el IDEAM para determinar la precipitación acumulada para un periodo o mes específico para este caso se utilizó el mes de mayo, ver Figura 57. Teniendo en cuenta que la primera temporada de lluvias del año viene precedida por la acumulación de la segunda temporada del año inmediatamente anterior lo cual puede incidir en saturación del suelo y desestabilización de los mismos.

Figura 57

Precipitación acumulada mayo



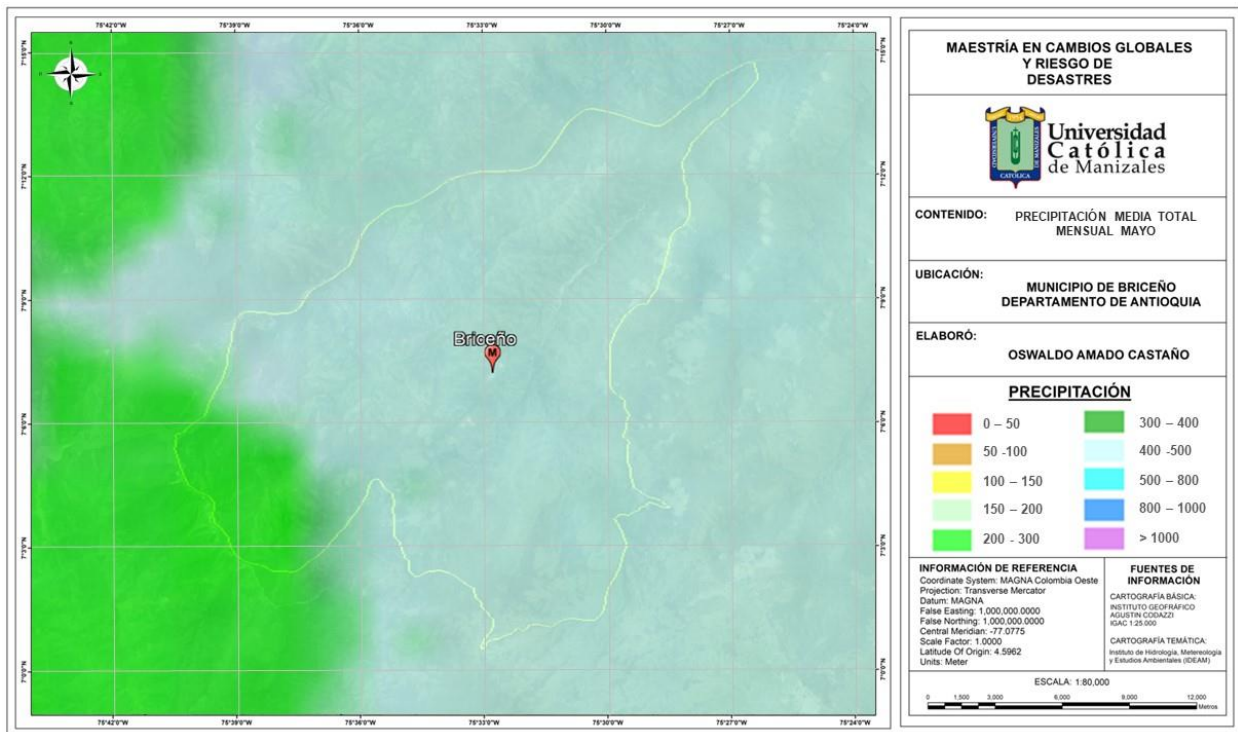
Nota. Adaptado de Precipitación acumulada, Fuente. Grupo de Climatología y Agrometeorología Subdirección de Meteorología - IDEAM.

Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Briceño

A partir del registro de precipitación para el mes de mayo dados por el análisis desarrollado en la Figura 41 donde se muestra la ponderación para los respectivos meses se desarrolla la validación a partir de los registros de precipitación diaria desarrollados por el IDEAM a través de la distribución espacial de la precipitación media total, para lo cual en el municipio se presenta una precipitación promedio entre 200 -300 mm al oriente y en el resto se concentra entre 400 – 500 mm de lluvia como se muestra en la Figura 58.

Figura 58

Precipitación media total mensual mayo Briceño



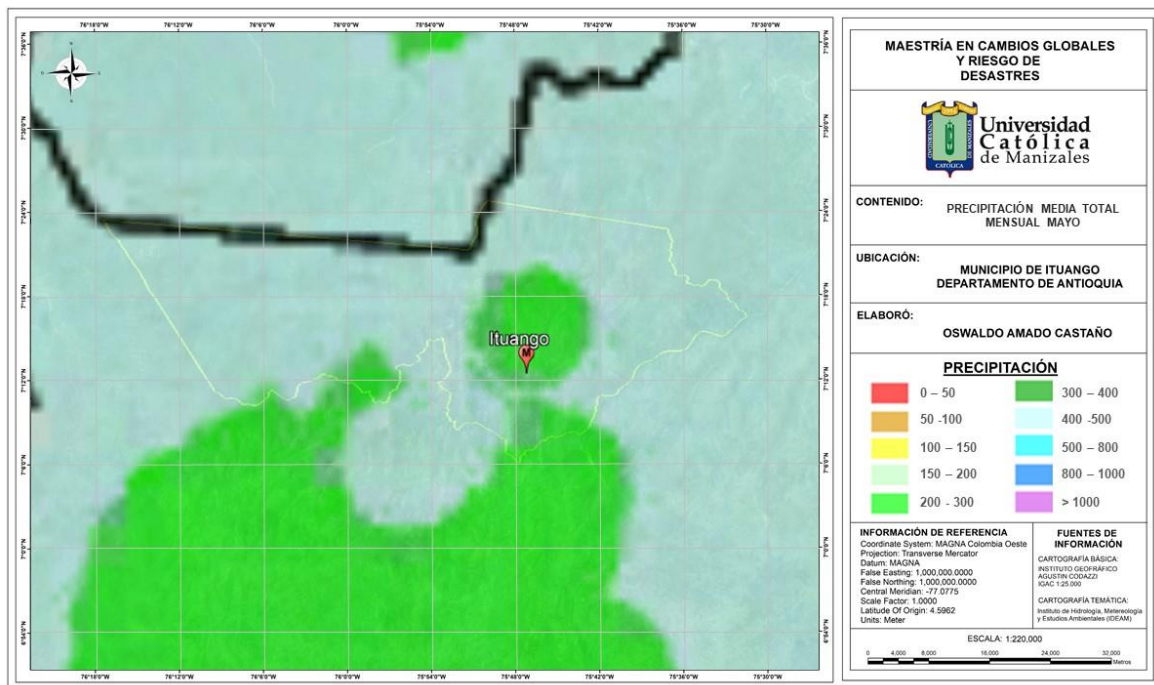
Nota. Adaptado de Precipitación media total mensual, IDEAM, 2014. Fuente. Elaboración propia, 2022.

Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Ituango

A partir del registro de precipitación para el mes de mayo dados por el análisis desarrollado en la Figura 35 donde se muestra la ponderación para los respectivos meses se desarrolla la validación a partir de los registros de precipitación diaria desarrollados por el IDEAM a través de la distribución espacial de la precipitación media total, para lo cual en el municipio se presenta una precipitación promedio entre 300 -500 mm de lluvia como se muestra en la Figura 59.

Figura 59

Precipitación media total mensual mayo Ituango



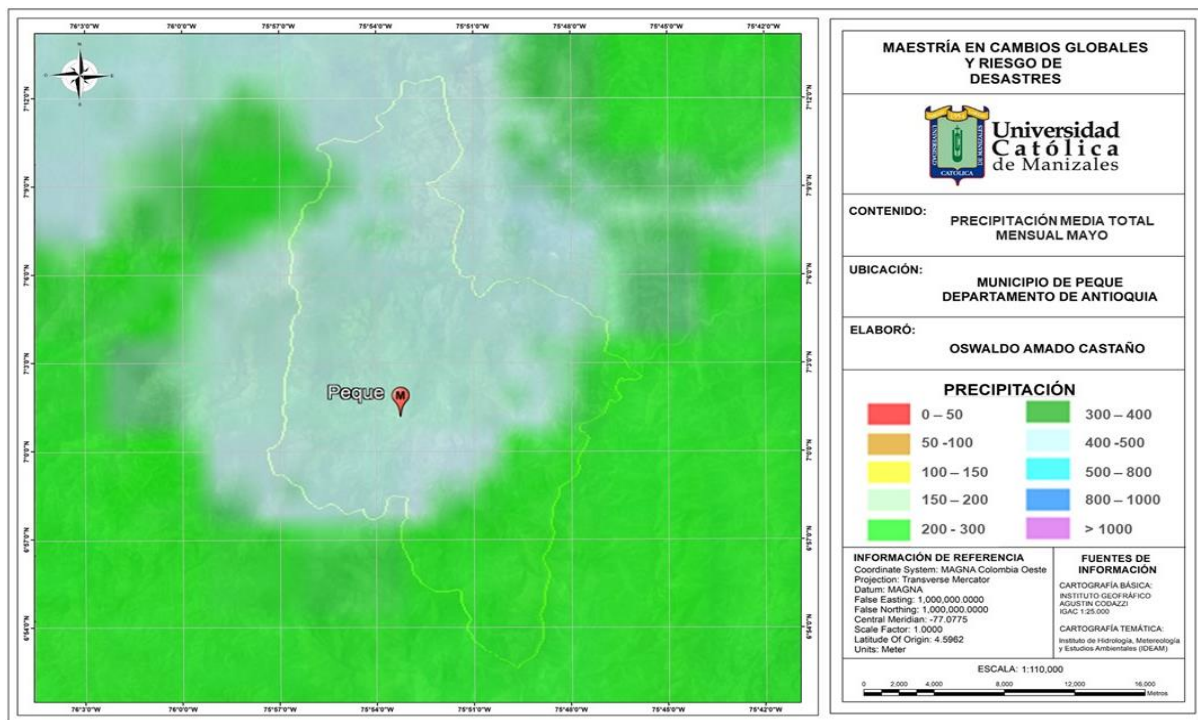
Nota. Adaptado de Precipitación media total mensual, IDEAM, 2014. Fuente. Elaboración propia, 2022.

Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Peque

A partir del registro de precipitación para el mes de mayo dados por el análisis desarrollado en la Figura 47 donde se muestra la ponderación para los respectivos meses se desarrolla la validación a partir de los registros de precipitación diaria desarrollados por el IDEAM a través de la distribución espacial de la precipitación media total, para lo cual en el municipio se presenta una precipitación promedio entre 400 -500 mm de lluvia en el centro del municipio y un promedio de 200 – 300 al sur del municipio, como se muestra en la Figura 60.

Figura 60

Precipitación media total mensual mayo Peque



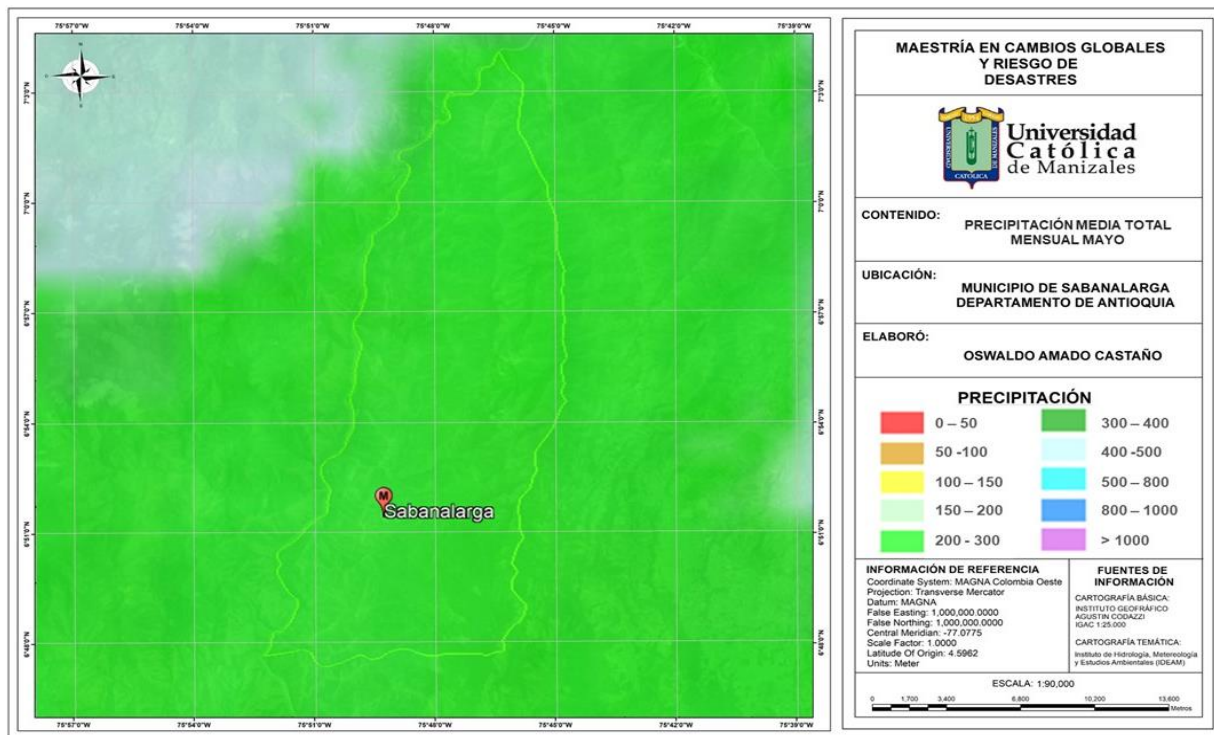
Nota. Adaptado de Precipitación media total mensual, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Sabanalarga

A partir del registro de precipitación para el mes de mayo dados por el análisis desarrollado en la Figura 53 donde se muestra la ponderación para los respectivos meses se desarrolla la validación a partir de los registros de precipitación diaria desarrollados por el IDEAM a través de la distribución espacial de la precipitación media total, para lo cual en el municipio se presenta una precipitación promedio entre 200 -300 mm de lluvia como se muestra en la Figura 61.

Figura 61

Precipitación media total mensual mayo Sabanalarga



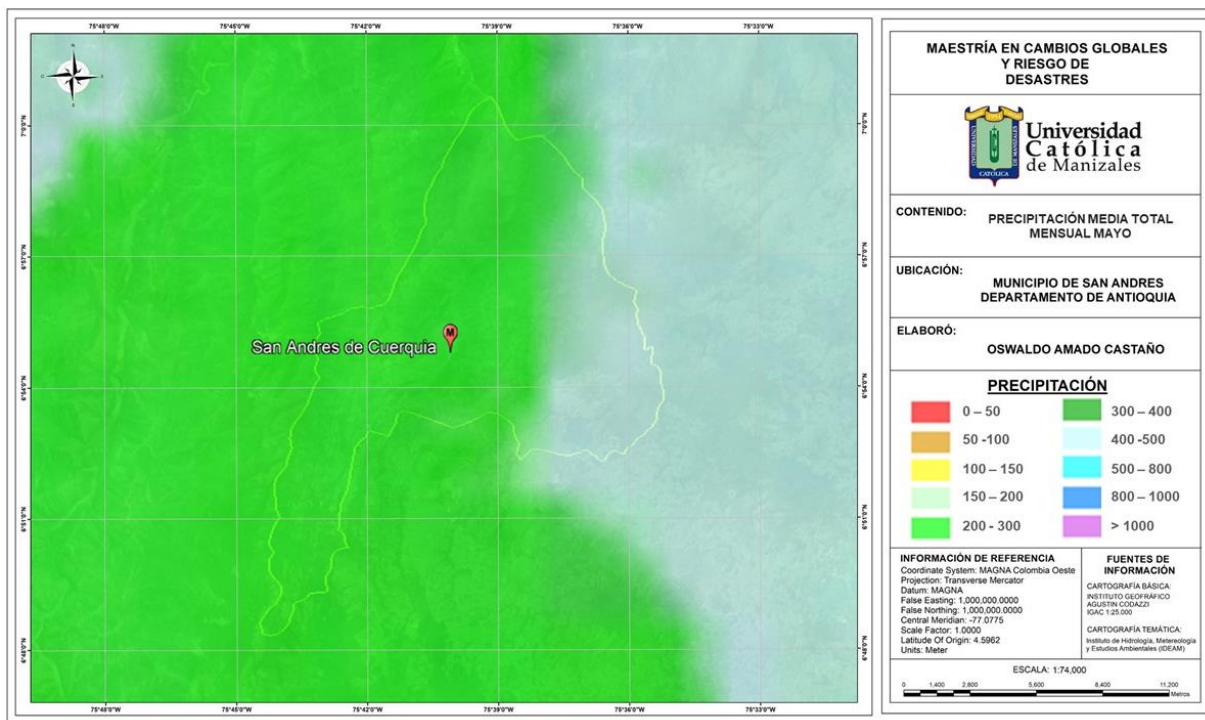
Nota. Adaptado de Precipitación media total mensual, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de San Andres de Cuerquia

A partir del registro de precipitación para el mes de mayo presentado en la Figura 56 donde se muestra la ponderación para los respectivos meses se desarrolla la validación a partir de los registros de precipitación diaria desarrollados por el IDEAM a través de la distribución espacial de la precipitación media total, para lo cual en el municipio se presenta una precipitación promedio entre 200 -200 mm de lluvia en su parte central y occidental mientras que la zona oriental oscila entre 400 -500 mm, como se muestra en la Figura 62.

Figura 62

Precipitación media total mensual mayo San Andres de Cuerquia



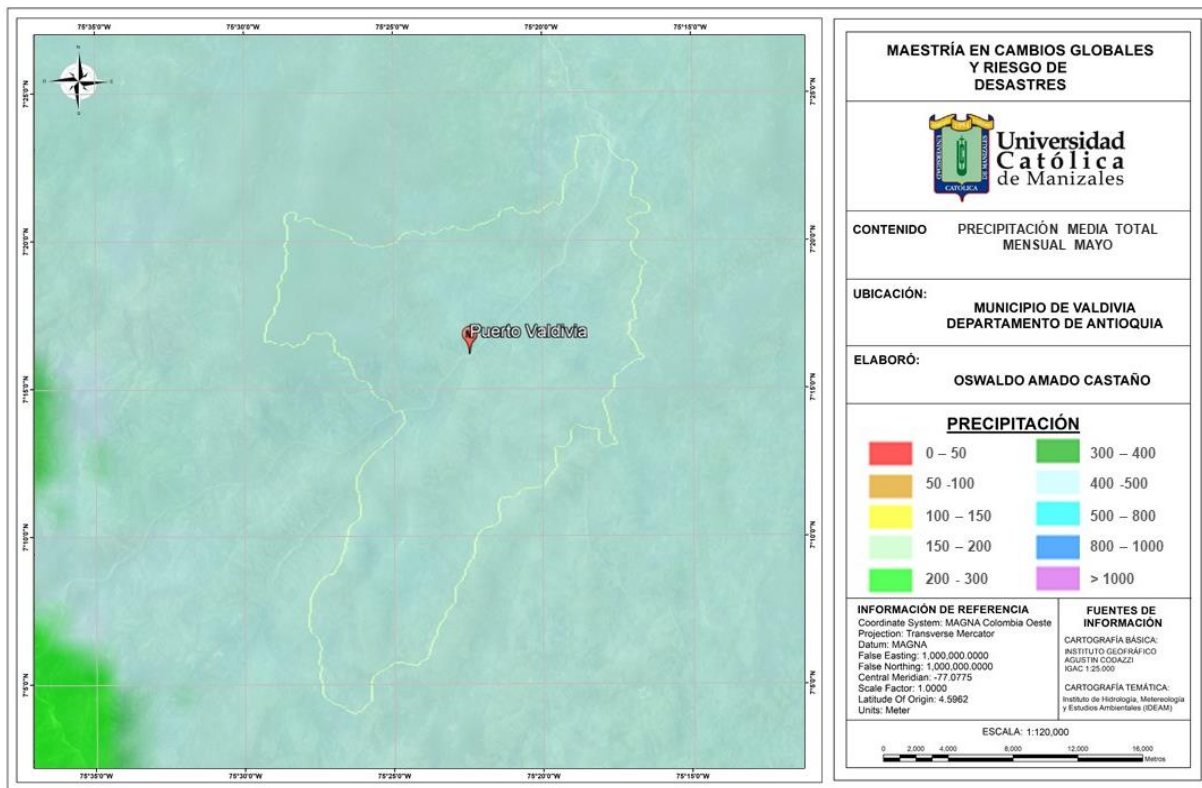
Nota. Adaptado de Precipitación media total mensual, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Acumulado de lluvias antecedente para el municipio de Valdivia

A partir del registro de precipitación para el mes de mayo presentado en la Figura 32 donde se muestra la ponderación para los respectivos meses se desarrolla la validación a partir de los registros de precipitación diaria desarrollados por el IDEAM a través de la distribución espacial de la precipitación media total, para lo cual en el municipio se presenta una precipitación promedio entre 400 -500 mm de lluvia, como se muestra en la Figura 63.

Figura 63

Precipitación media total mensual mayo Valdivia



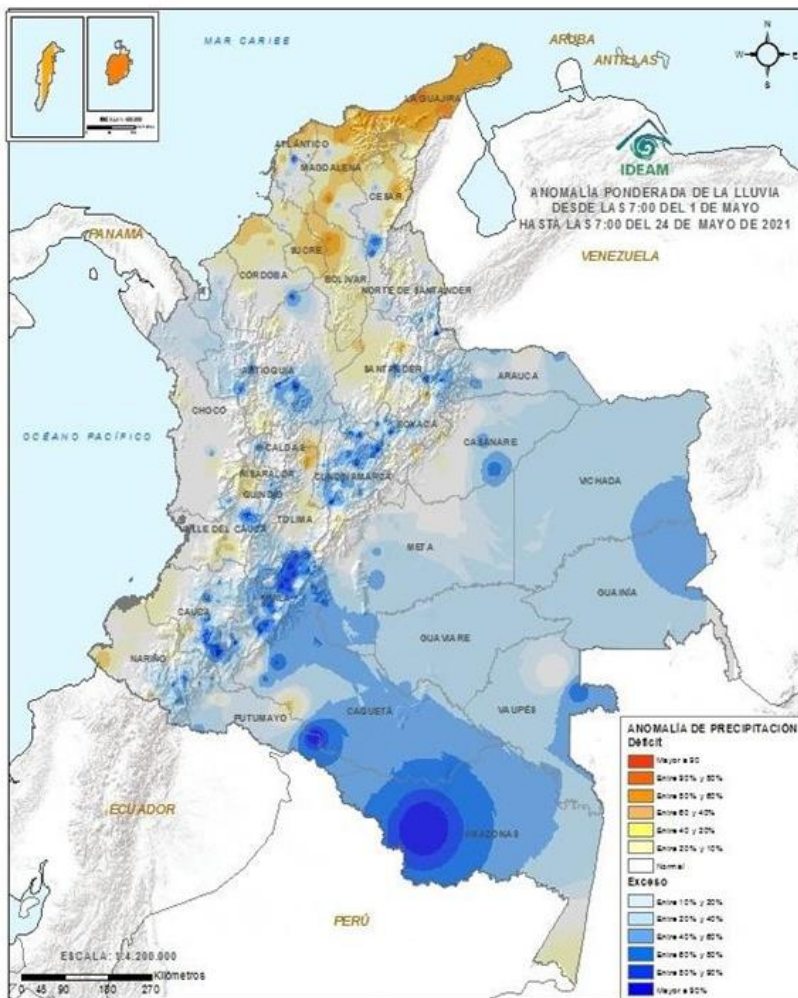
Nota. Adaptado de Precipitación media total mensual, IDEAM, 2014 Fuente. Elaboración propia, 2022.

Anomalías de la precipitación

Teniendo el comportamiento mensual de la precipitación para cada uno de los municipios se puede estimar si se presentó un exceso o un déficit de las lluvias durante el mes evaluado lo cual podrá mostrar las variaciones en el comportamiento durante el periodo 1981-2010.

Figura 64

Anomalías de la precipitación - mayo 2021

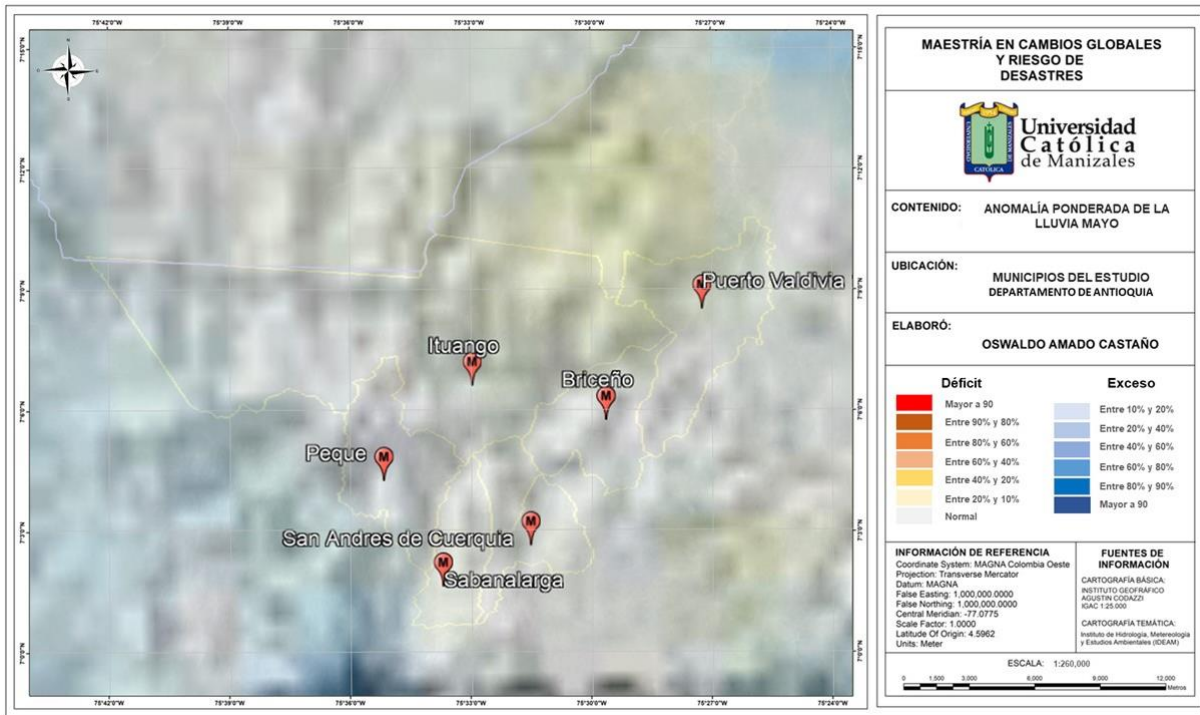


Nota. Adaptado del mapa de anomalías de precipitación mayo 2021, 2022 Fuente. Grupo de Climatología y Agrometeorología Subdirección de Meteorología - IDEAM.

- De acuerdo con la precipitación media para el municipio de Briceño se presenta un promedio de precipitación de 400-500 mm lo que equivale a un exceso entre el 10 y el 20%.
- De acuerdo con la precipitación media para el municipio de Ituango se presenta un promedio de precipitación de 300 - 500 mm, lo que equivale a un exceso entre el 10 y el 20%.
- De acuerdo con la precipitación media para el municipio de Peque se presenta un promedio de precipitación de 400-500 mm, equivale a un exceso entre el 10 y el 20%.
- De acuerdo con la precipitación media para el municipio de Sabanalarga se presenta un promedio de precipitación de 200-300 mm, lo que equivale a una condición normal.
- De acuerdo con la precipitación media para el municipio de San Andres de Cuerquia se presenta un promedio de precipitación de 200-500 mm, lo que equivale a un 10% al 20% más de lluvias.
- De acuerdo con la precipitación media para el municipio de Valdivia se presenta un promedio de precipitación de 400-500 mm, que equivale a un déficit entre el 10% al 20% menos de lluvias.

Figura 65

Anomalías de la precipitación mayo para los municipios del estudio



Nota. Adaptado del mapa de anomalías de precipitación mayo 2021, 2022 Fuente. Grupo de Climatología y Agrometeorología Subdirección de Meteorología - IDEAM.

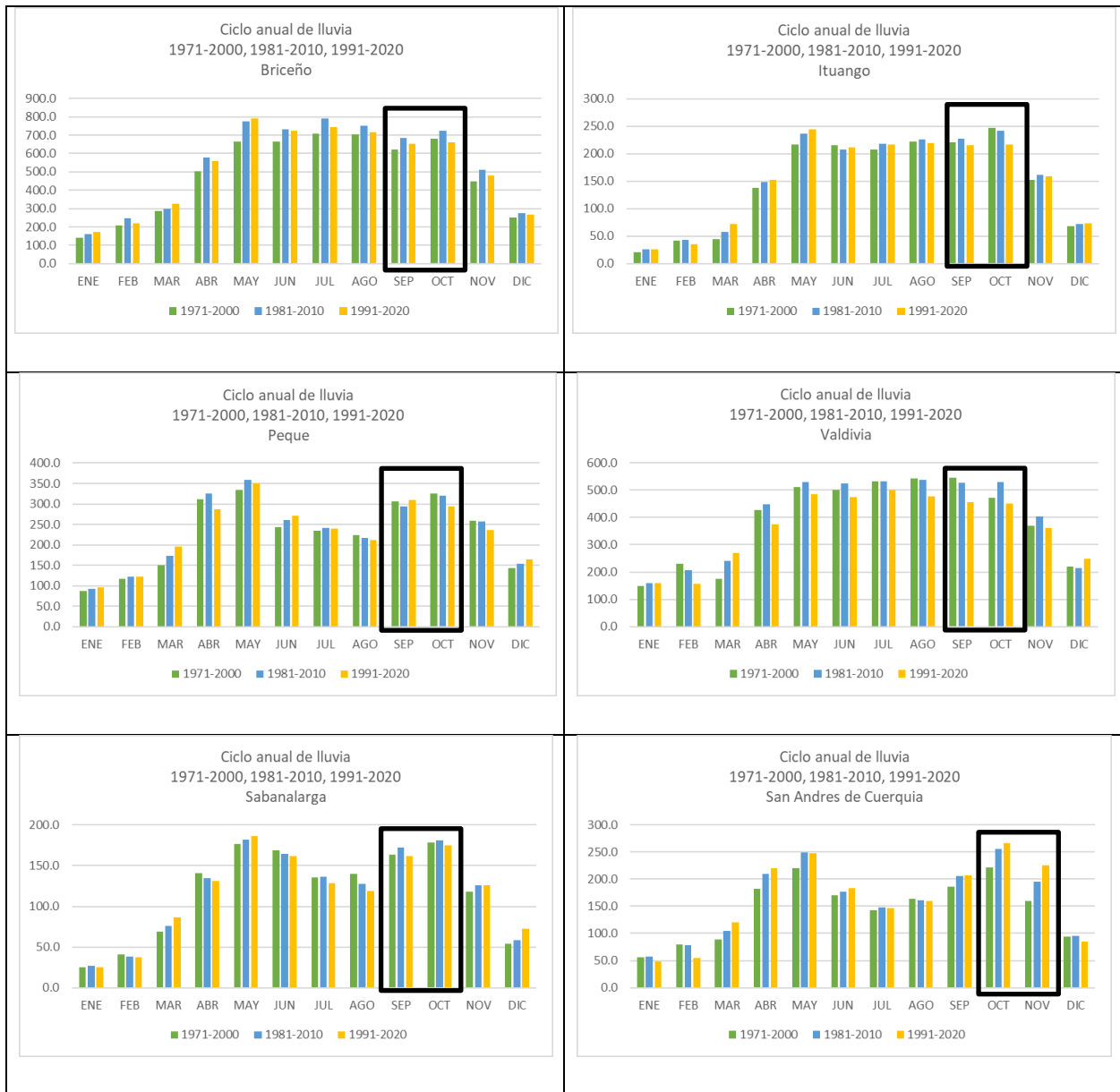
Escenario por deslizamientos que puede ser incrementada por la segunda temporada de lluvias

Teniendo en cuenta que la segunda temporada de lluvia del año en el país viene incrementada por una saturación de suelos producto de las lluvias generadas en el primer semestre lo cual hace que sea más probable a ocurrir un fenómeno de movimiento en masa, como se muestra en la Figura 66 se puede observar que se viene presentando una disminución de

las precipitaciones excepto por el municipio de San Andres de Cuerquia que presenta un incremento en la serie.

Figura 66

Ciclo anual de lluvia para los municipio del estudio



A partir de las series analizadas de Briceño, Ituango, Peque, Valdivia, Sabanalarga, San Andres de Cuerquia, se puede determinar que septiembre y octubre son los meses más lluviosos del registro estando dentro de la segunda temporada de lluvias del año, noviembre muestra una menor intensidad de lluvia tendiente a finalizar la temporada.

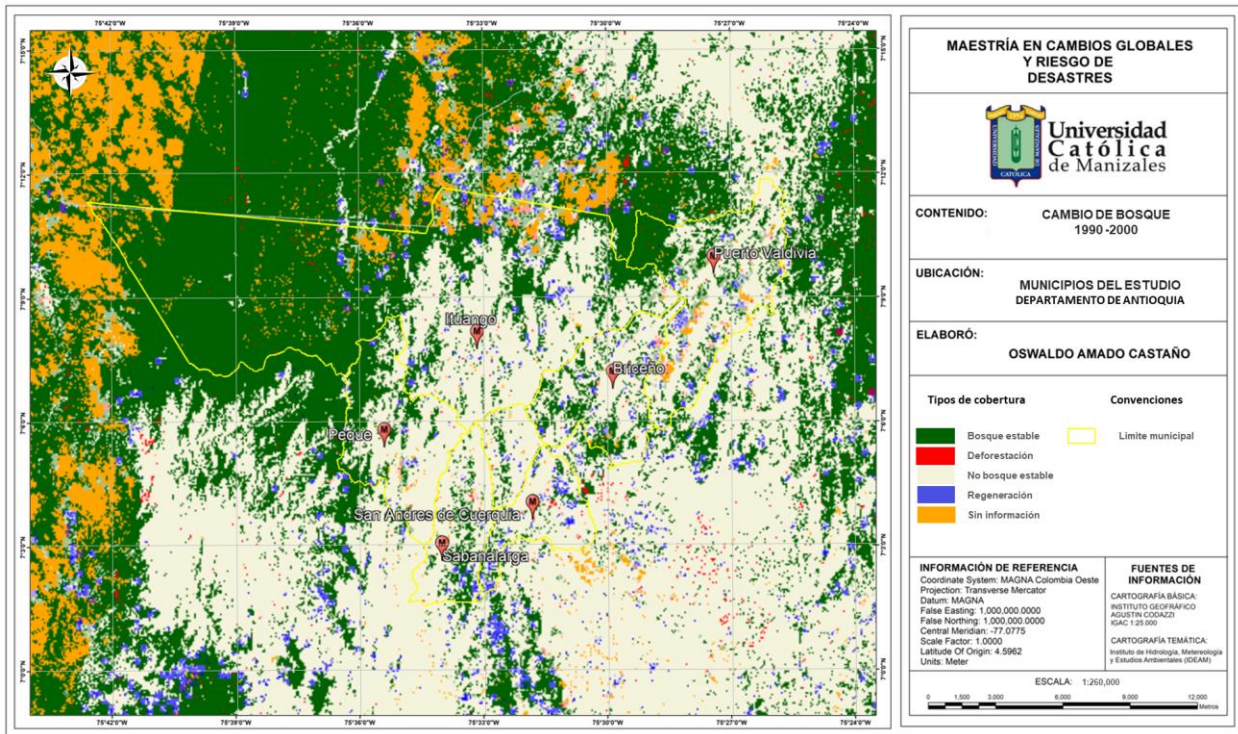
Escenarios asociados a la deforestación y pérdida de cobertura vegetal

Teniendo en cuenta la información caracterizada asociada a los eventos por movimientos en masa que se presentan para los municipios de Briceño, Ituango, Peque, Sabanalarga, San Andres de Cuerquia y Valdivia se desarrolla una comparación con el comportamiento de la deforestación y pérdida de cobertura vegetal en estos municipios lo cual pretende correlacionar el incremento de los eventos con los fenómenos de origen socio natural incrementados por los cambios en las precipitaciones.

Como se puede ver en la Figura 67 para la década de 1990 al 2000 gran parte de los seis municipios se encuentran en una fuerte presión de pérdida de capa vegetal ya sea por la apertura de la frontera agrícola o asociado a la expansión de los cultivos ilícitos, de esta manera se puede ver que la parte occidental del municipio de Ituango presenta condiciones estables sin embargo al profundizar en la imagen ya se encuentran zonas dentro de este lugar siendo explotadas forestalmente, por otra parte los demás municipios presentan una fuerte incidencia de la explotación forestal lo que ha repercutido en la denudación de la capa protectora del suelo lo cual es un detonante para la materialización fenómenos por movimientos en masa.

Figura 67

Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 1990-2000

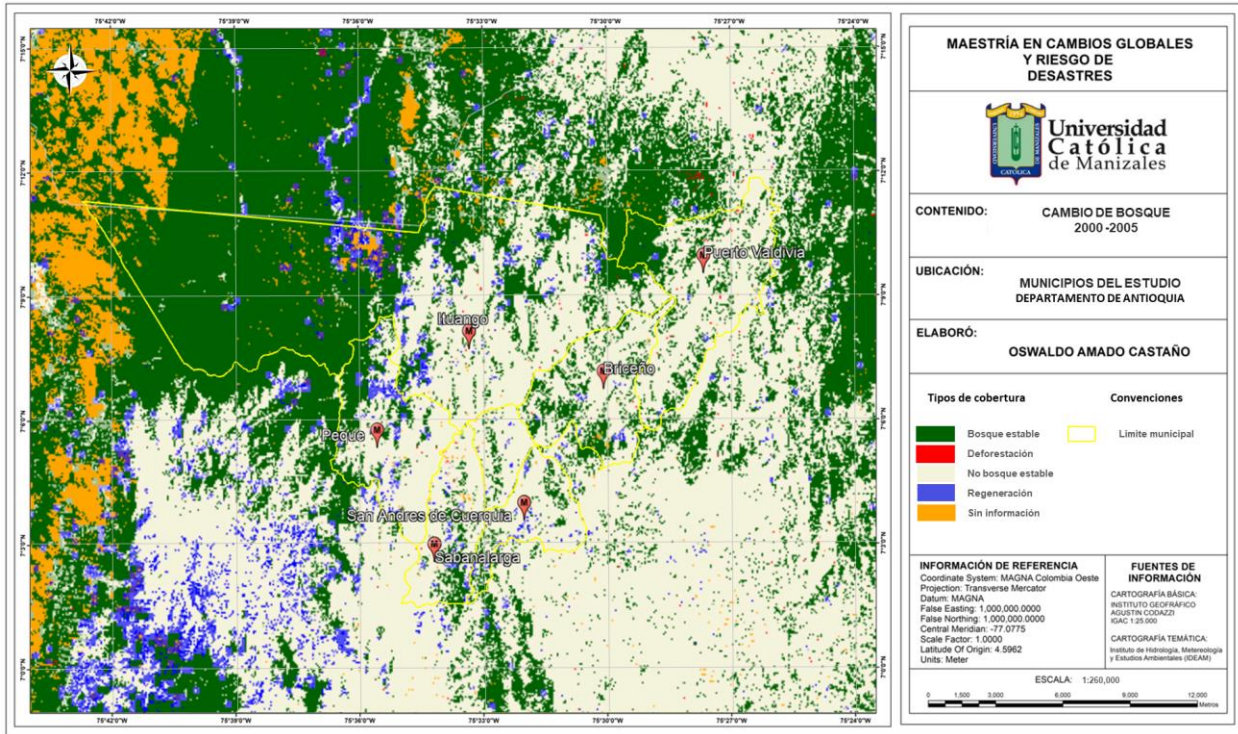


Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio del bosque para el periodo 1990 – 2000.

Para el periodo 2000 – 2005 se puede observar en la Figura 68 que se nota un tono azul marcado en la parte norte del municipio de Ituango de igual manera en la parte central del municipio de Peque lo cual indica un cierto grado de regeneración lo que puede mostrar algunos comportamientos asociados a desplazamientos de comunidades por el conflicto interno lo que ha propiciado que en algunas zonas se recupere las primeras capas vegetales como arbustos y pastos, para el resto de los municipios se presenta sin mayor modificación la condición de No Bosque estable.

Figura 68

Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2000-2005

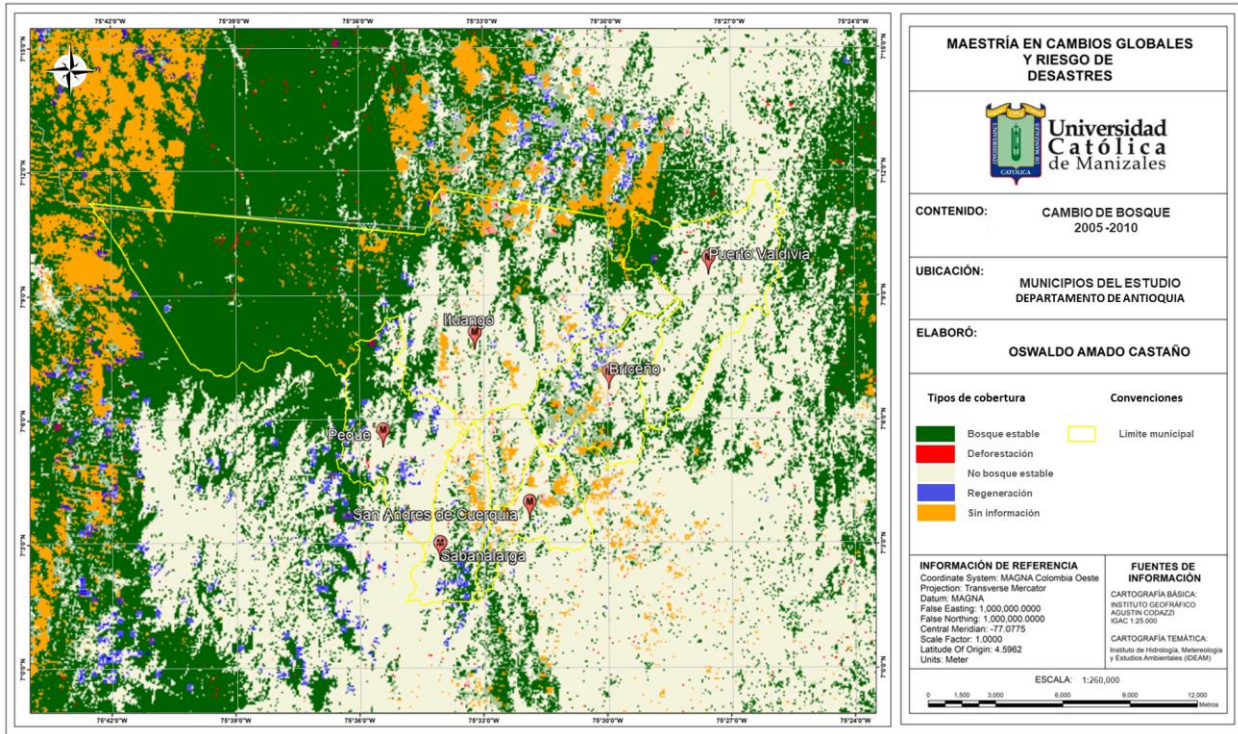


Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio del bosque para el periodo 2000 – 2005.

Para el periodo 2005 – 2010 como se puede observar en la Figura 69 los cambios presentados en el anterior periodo se han detenido lo cual puede indicar una nueva migración a las zonas que anteriormente se habían recuperado esto puede ser dado por algunas condiciones de seguridad o por la incidencia de nuevos grupos al margen de la ley que ingresan a estos territorios para desarrollar acciones ilegales ya sean cultivos ilícitos o el aprovechamiento forestal ilegal, se puede observar algunos relictos de bosque en regeneración en la zona norte del municipio de Peque.

Figura 69

Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2005-2010

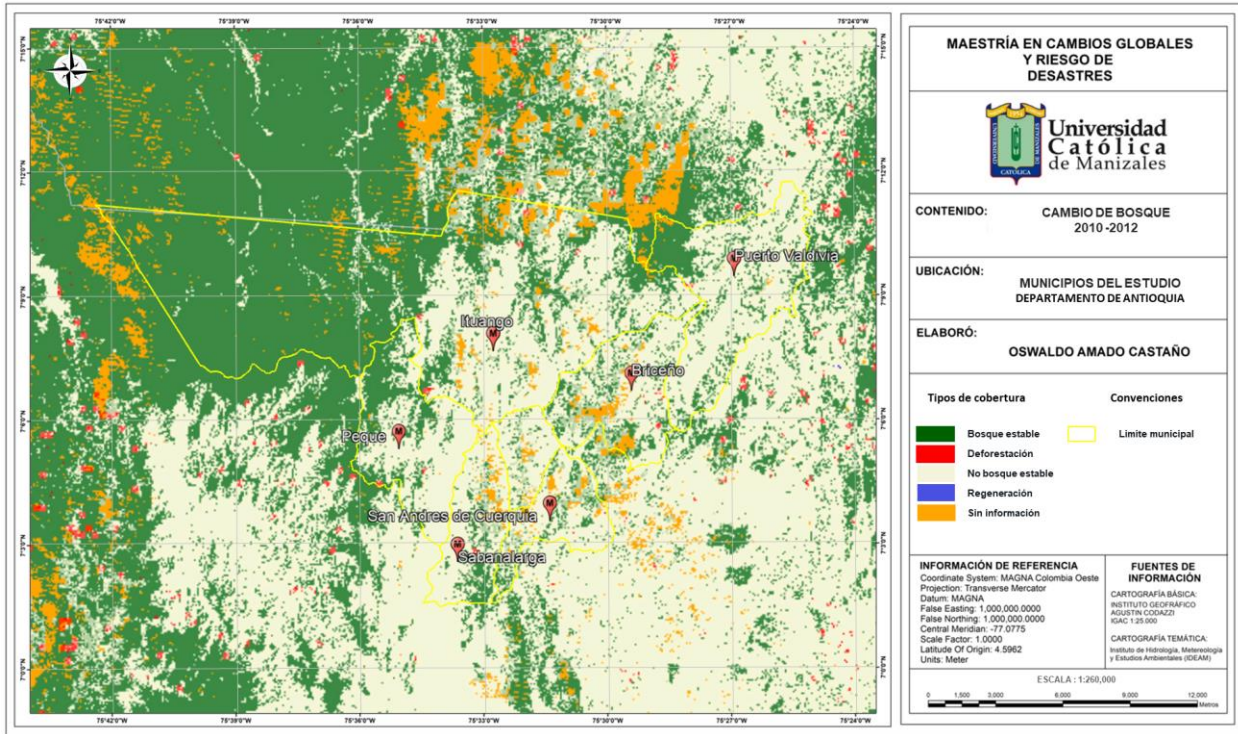


Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio del bosque para el periodo 2005 – 2010.

Para el periodo 2010 – 2012 como se observa en la Figura 70 a desaparecido casi en la totalidad la regeneración de bosques en los seis municipios, así mismo se tiene un mayor número de registro de información de los bosques excepto para el municipio de Briceño que presenta un registro importante sin información y una fuerte pérdida de bosque estable que se había conservado.

Figura 70

Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2010-2012

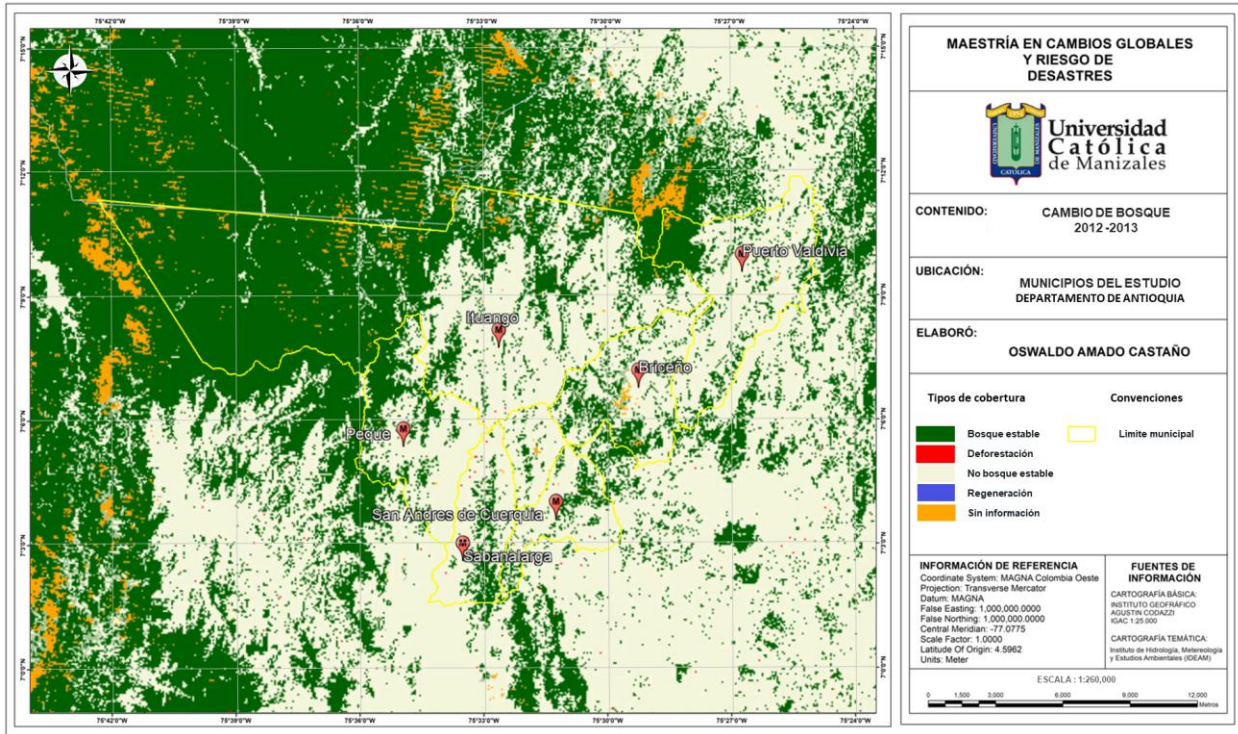


Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio del bosque para el periodo 2010 – 2012.

Para el periodo 2012 – 2012 se puede observar en la Figura 71 que no se registran grandes zonas sin información dado los análisis espaciales realizados por el IDEAM y que muestran en mayor proporción unos territorios con una fuerte incidencia por pérdida de la cobertura vegetal.

Figura 71

Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2012-2013

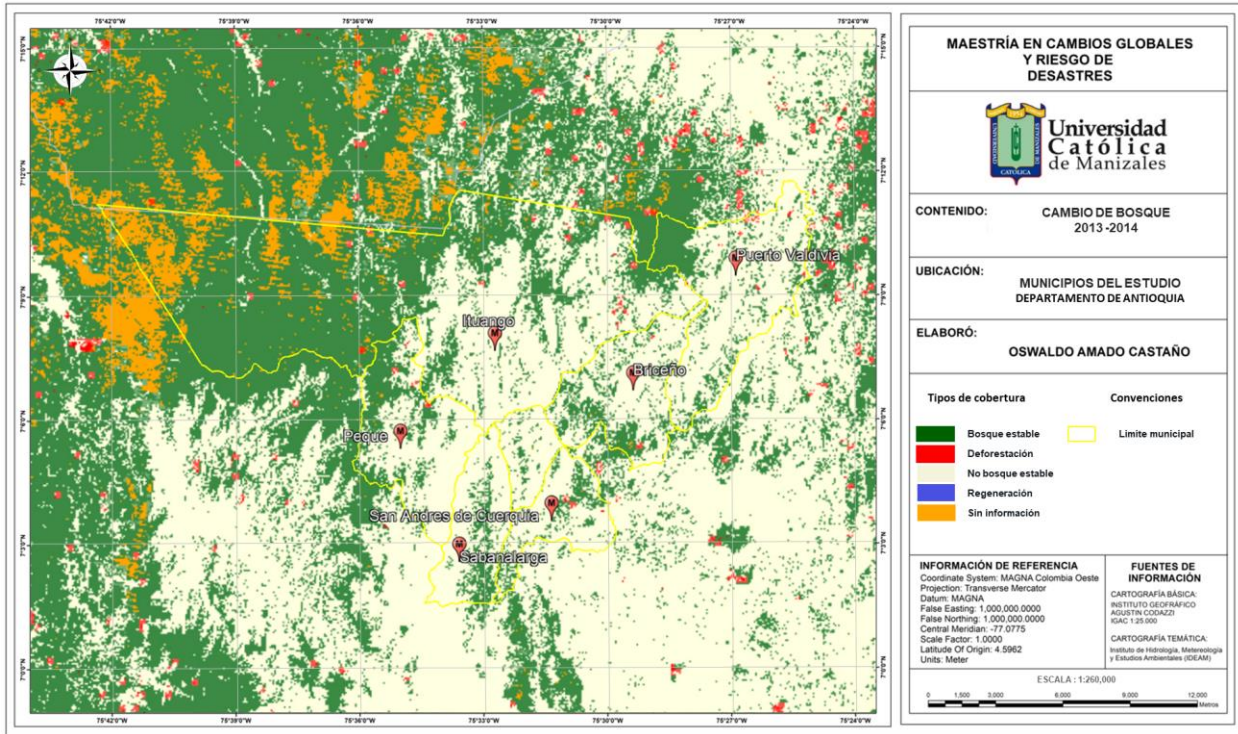


Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio del bosque para el periodo 2012 – 2013.

Como se muestra en la Figura 72 para el periodo 2013 – 2014 se muestra un aumento en las zonas deforestadas en los municipios del estudio concentrándose en los municipios de Ituango y Valdivia, por otra parte no se registran zonas con procesos de regeneración lo cual puede ser un indicador de aumento en la ocupación del suelo para fines agrícolas, ganaderos.

Figura 72

Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2013-2014

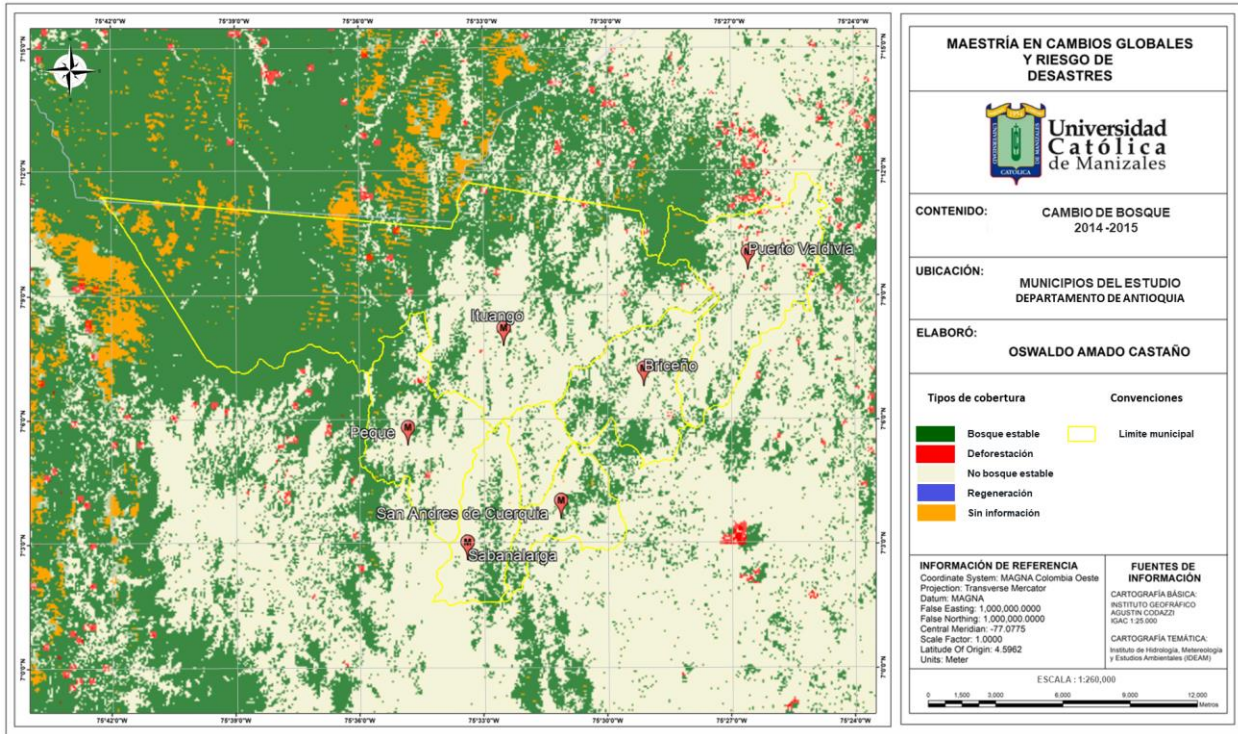


Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio del bosque para el periodo 2013 – 2014.

Como se muestra en la Figura 73 durante el periodo 2014 – 2015 los procesos de deforestación se localizan en el municipio de Valdivia y en algunas zonas al norte del municipio de Ituango lo cual se caracteriza por ubicarse en la zona de amortización del parque Nacional Natural Paramillo, se considera que la extracción de madera ha sido uno de los fenómenos más impactantes sobre la conservación de los parques nacionales en Colombia.

Figura 73

Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2014-2015

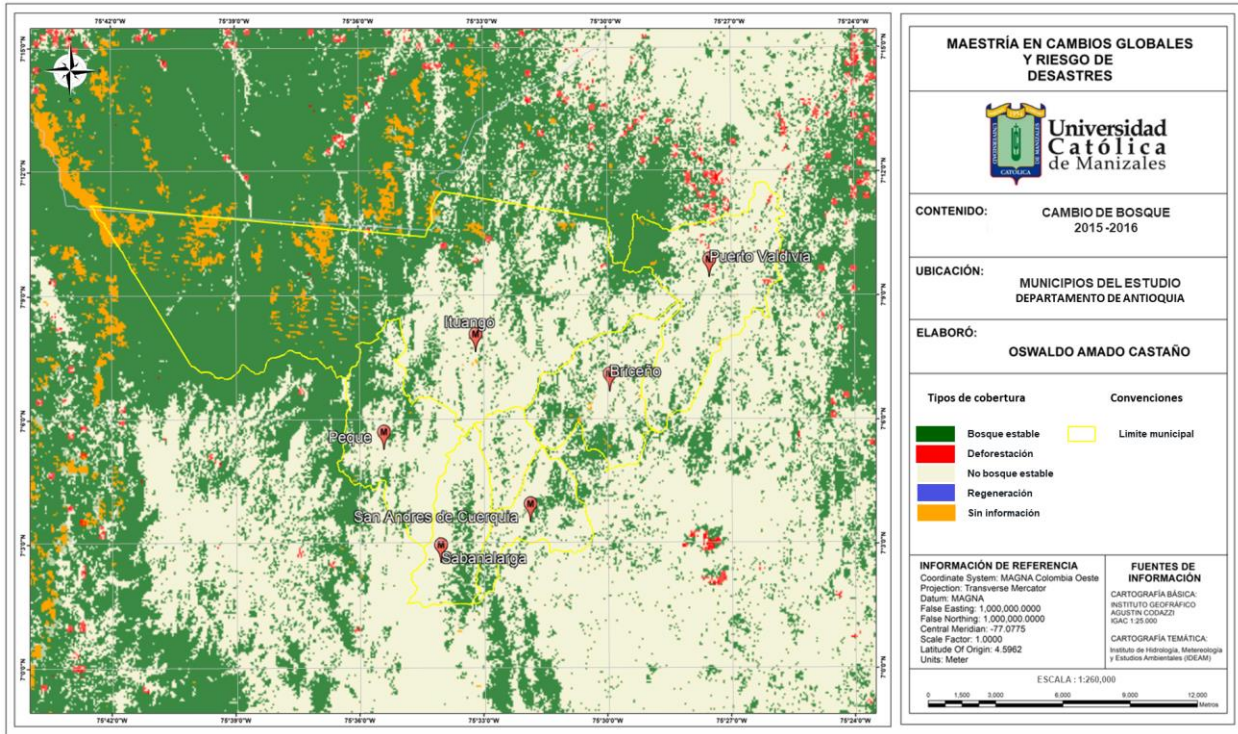


Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio del bosque para el periodo 2014 – 2015.

Finalmente para el periodo 2015 – 2016 se muestra cómo se ha acentuado la pérdida de cobertura vegetal en los seis municipios del estudio con fuertes presiones por deforestación y zonas sin información del estado actual, la incidencia de colonos y grupos al margen de la ley en estos territorios ha generado un cambio en el aprovechamiento de los recursos centrándose principalmente a los cultivos ilegales y el aprovechamiento forestal como se puede ver en la Figura 74.

Figura 74

Deforestación y pérdida de cobertura vegetal 2015-2016



Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio del bosque para el periodo 2015 – 2016.

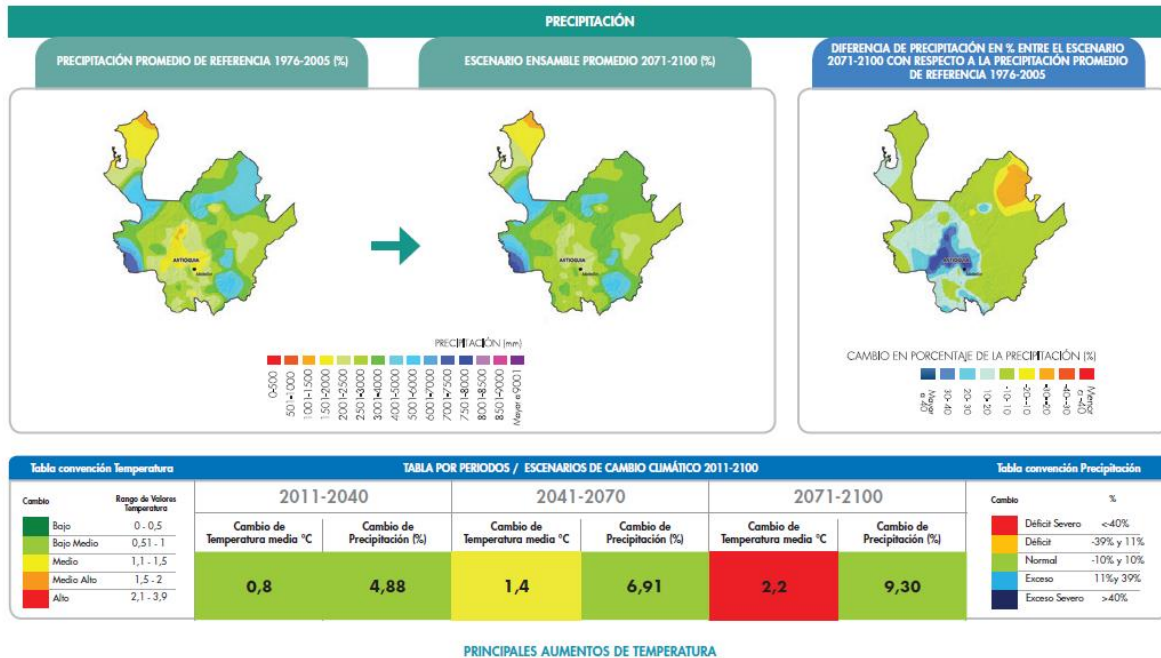
Frecuencia notoria de deslizamientos para los 6 municipios seleccionados, con los escenarios de cambio climático del IDEAM (2040, 2070, 2100)

De acuerdo con los escenarios de cambio climático generados por el IDEAM y teniendo en cuenta los modelos desarrollados se puede observar que para el departamento de Antioquia se estima que en el periodo 2011-2040 no se tenga un exceso de precipitaciones considerable el cual está cercano al 4,88% así mismo en el periodo 2041-2070 tendrá un aumento de 6,91% y al

2071-2100 será cercano al 9,30%, lo cual se considera normal dentro de lo establecido por el estudio.

Figura 75

Cambio de precipitación 2011 – 2100 Antioquia

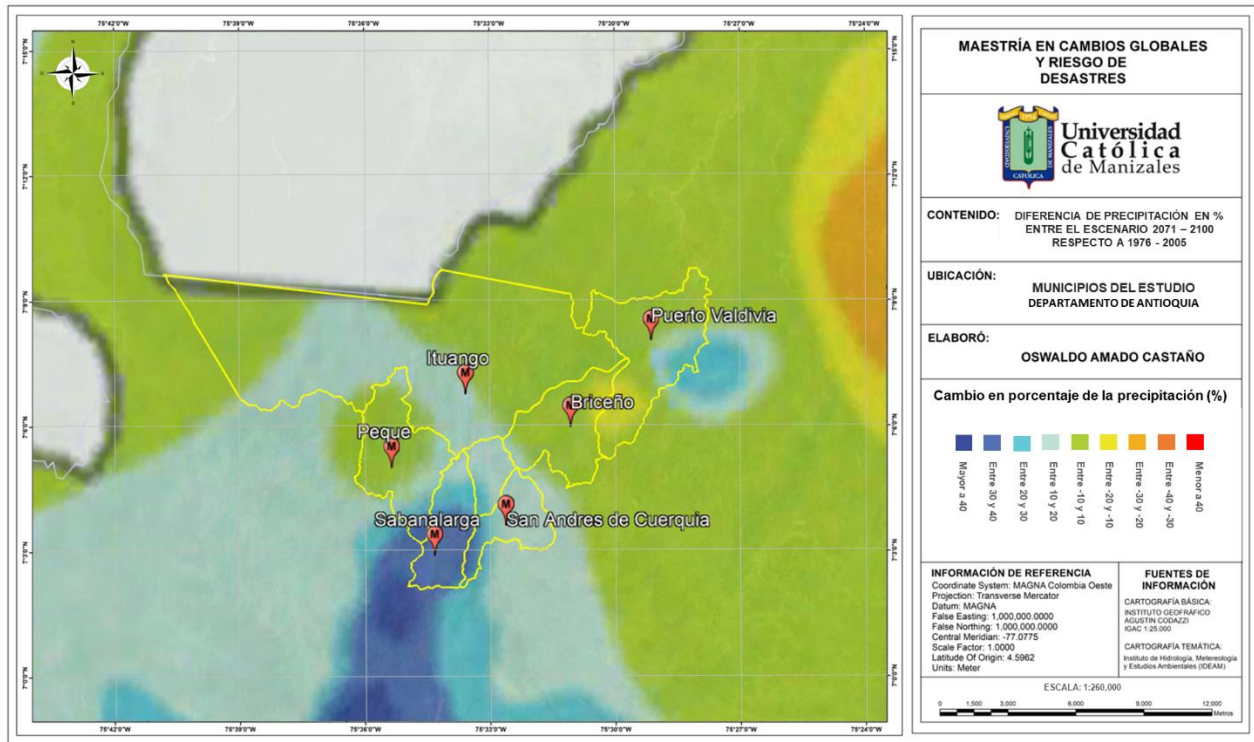


Nota. Generado a partir de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, IDEAM - PNUD, 2015.

Tomando como base la información generada por la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático y sus nuevos escenarios de cambio climático se desarrolló un análisis espacial en el cual se identificó el comportamiento y tendencia de los cambios en la precipitación al año 2100 como se muestra en la Figura 76.

Figura 76

Cambio en porcentaje de la precipitación



Nota. La figura muestra el comportamiento del cambio de precipitación para el periodo 1976 - 2100 de acuerdo con la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, IDEAM.2015.

✓ Municipio de Briceño

Para el municipio de Briceño el exceso estará entre el -10 al 10% al 2100, el cual se estima como normal, contemplando los resultados sobre el comportamiento de la deforestación y así mismo la intervención del suelo se prevé que los eventos relacionados con movimientos en masa y flujos de material aumentarán hasta que los puntos críticos sean estabilizados naturalmente o a través de obras físicas desarrolladas por los municipios.

✓ Municipio de Ituango

Para el municipio de Ituango el exceso estará entre el -10 al 20% al 2100, haciendo una comparación de este resultado y los obtenidos en el análisis por deforestación se estima que los eventos relacionados con movimientos en masa y flujos de material pueden ocasionalmente hasta que los puntos críticos sean estabilizados naturalmente o a través de obras físicas.

✓ Municipio de Peque

Para el municipio de Peque el exceso estará entre el -10 al 40% al 2100, gran parte del municipio presenta condiciones normales frente a lo propuesto por la tercera comunicación de cambio climático, sin embargo en la parte sur del municipio podemos encontrar excesos cercanos al 40% comparando estos resultados y lo revisado por los cambios e incidencias por deforestación se estima que los eventos relacionados con movimientos en masa y flujos de material aumentarían exponencialmente hasta que los puntos críticos sean estabilizados naturalmente o a través de obras físicas desarrollados por los municipios.

✓ Municipio de Sabanalarga

Para el municipio de Sabanalarga el exceso estará entre el 10 al 40% al 2100, gran parte del municipio presenta condiciones de exceso cercanos al 40% comparando estos resultados y lo revisado por los cambios e incidencias por deforestación se estima que los eventos relacionados con movimientos en masa y flujos de material pueden aumentar hasta que los puntos críticos sean estabilizados naturalmente o a través de obras físicas desarrollados por los municipios.

✓ Municipio de San Andrés de Cuerquia

Para el municipio de San Andrés de Cuerquia el exceso estará entre el 10 al 30% al 2100, comparando este exceso junto con los resultados del análisis por deforestación y la intervención del suelo se prevé que los eventos relacionados con movimientos en masa y flujos de material aumentaran hasta que los puntos críticos sean estabilizados naturalmente o a través de obras físicas.

✓ Municipio de Valdivia

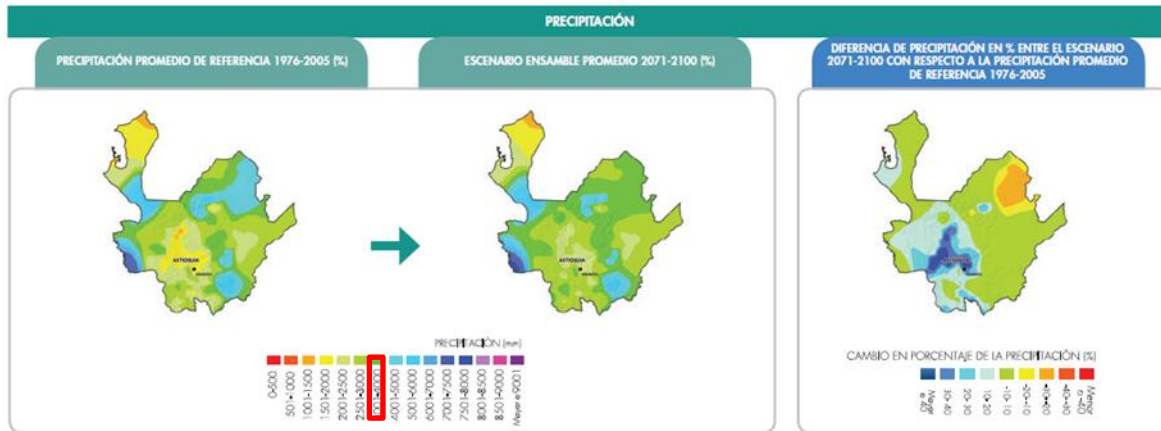
Para el municipio de Valdivia el exceso estará entre el -20 al 20% al 2100, relacionando este exceso y los modelos de deforestación y así mismo la intervención del suelo se estima que los eventos relacionados con movimientos en masa y flujos de material se mantengan hasta que el material suelto sea arrastrado y depositado en una pendiente menor.

Análisis de tendencias y confrontación con los escenarios de cambio de precipitación para el periodo 2011-2040

A partir de los datos analizados referentes al comportamiento de la precipitación durante los periodos evaluados se pudo desarrollar una comparación entre lo que normalmente ha llovido con la proyección al año 2100 viendo de esta manera una posible incidencia de la variabilidad climática con los estimados multianuales.

Figura 77

Precipitación promedio departamento Antioquia (1976-2005) – (2071-2100)



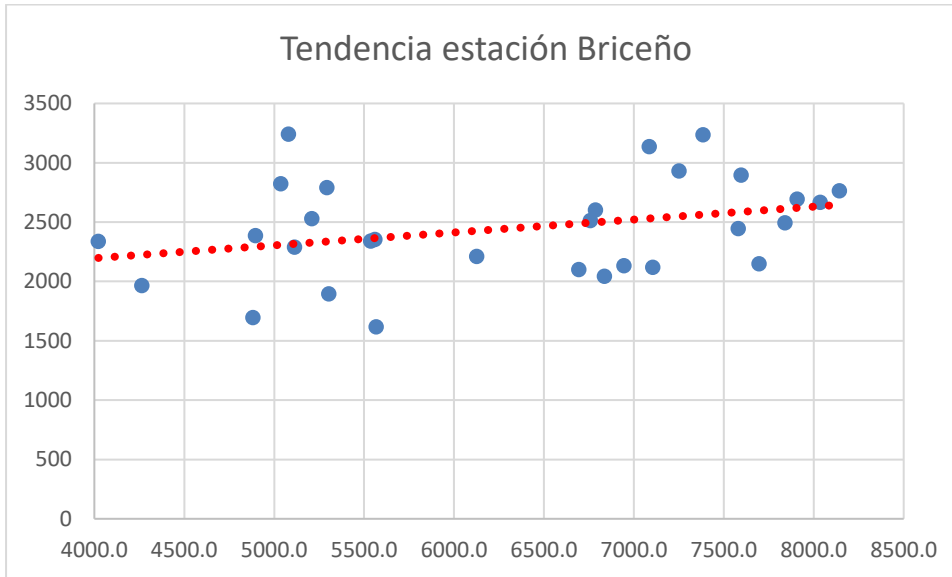
Nota. Generado a partir de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, IDEAM - PNUD, 2015.

Estación Briceño

Teniendo como base la información de la estación Briceño para el periodo 1991-2020 en la cual se puede observar una tendencia de incremento de las precipitaciones ocurridas, de esta manera comparando la tendencia con el comportamiento de lluvias 2011-2040 se corrobora el incremento de lluvias en la zona.

Figura 78

Estación Briceño 1991-2020



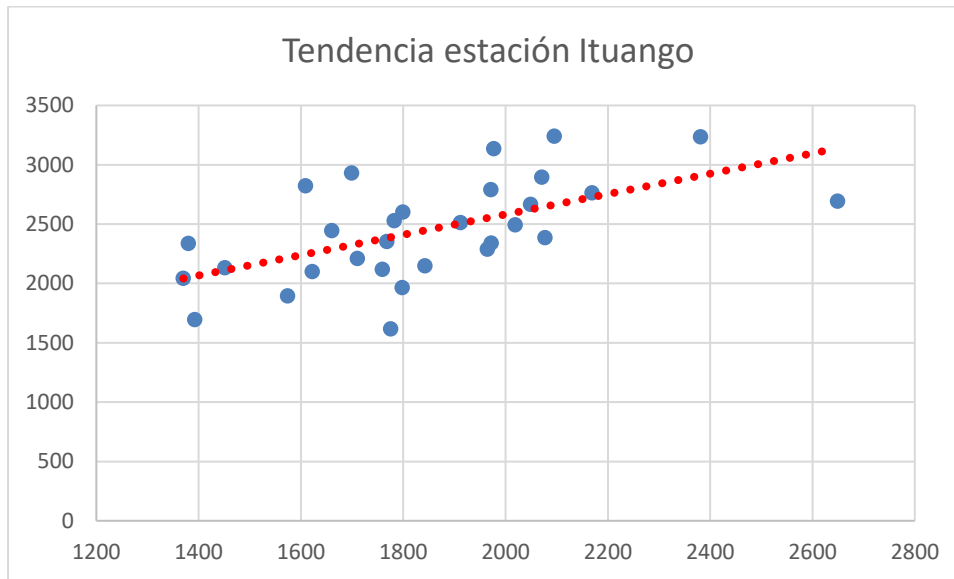
Nota. Elaboración propia, muestra la tendencia de la precipitación para el valor total multianual para el periodo 1991-2020.

Estación Ituango

Teniendo como base la información de la estación para el periodo 1991-2020 en la cual se puede observar una tendencia de incremento de las precipitaciones ocurridas, dentro de la búsqueda de información asociada a la precipitación en el municipio de Ituango se escogió esta estación por ser la que más registros poseía de esta manera comparando la tendencia con el comportamiento de lluvias 2011-2040 se corrobora el incremento de lluvias en la zona en comparación con la tendencia de los registros.

Figura 79

Estación Ituango



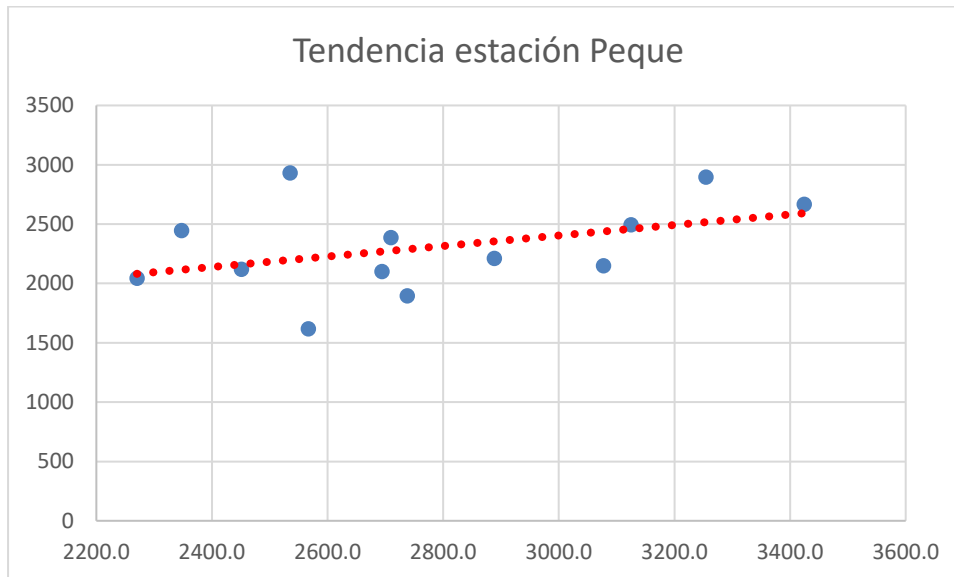
Nota. Elaboración propia, muestra la tendencia de la precipitación para el valor total multianual para el periodo 1991-2020.

Estación Peque

Teniendo como base la información de la estación Recuerdo EL – Marsella para el periodo 1991-2003 en la cual se puede observar una tendencia de incremento de las precipitaciones ocurridas, de esta manera comparando la tendencia con el comportamiento de lluvias 2011-2040 se corrobora el incremento de lluvias en la zona.

Figura 80

Estación Peque 1991-2003



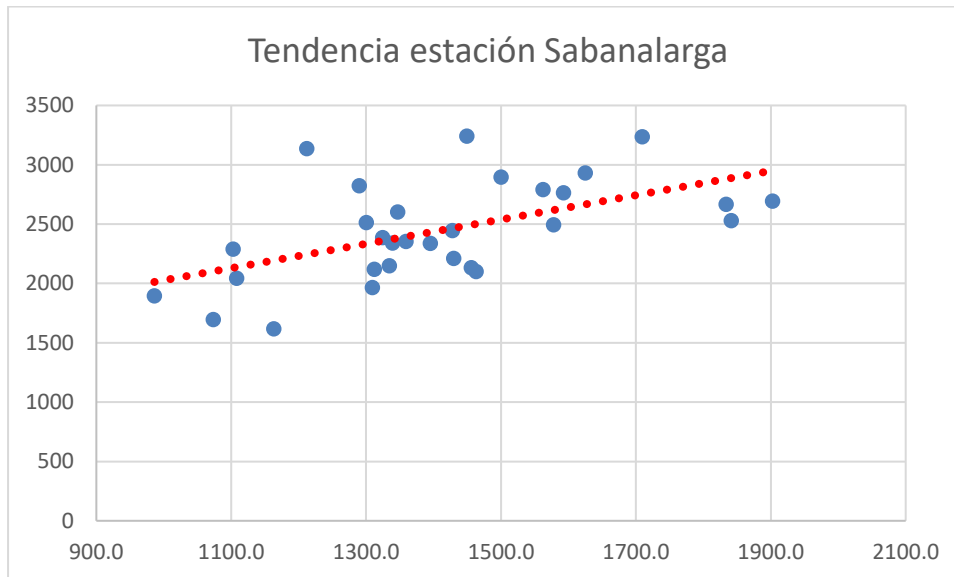
Nota. Elaboración propia, muestra la tendencia de la precipitación para el valor total multianual para el periodo 1991-2003.

Estación Sabanalarga

Teniendo como base la información de la estación Sabanalarga para el periodo 1991-2020 en la cual se puede observar una tendencia de incremento de las precipitaciones ocurridas, de esta manera comparando la tendencia con el comportamiento de lluvias 2011-2040 se corrobora el incremento de lluvias en la zona.

Figura 81

Estación Sabanalarga 1991-2020



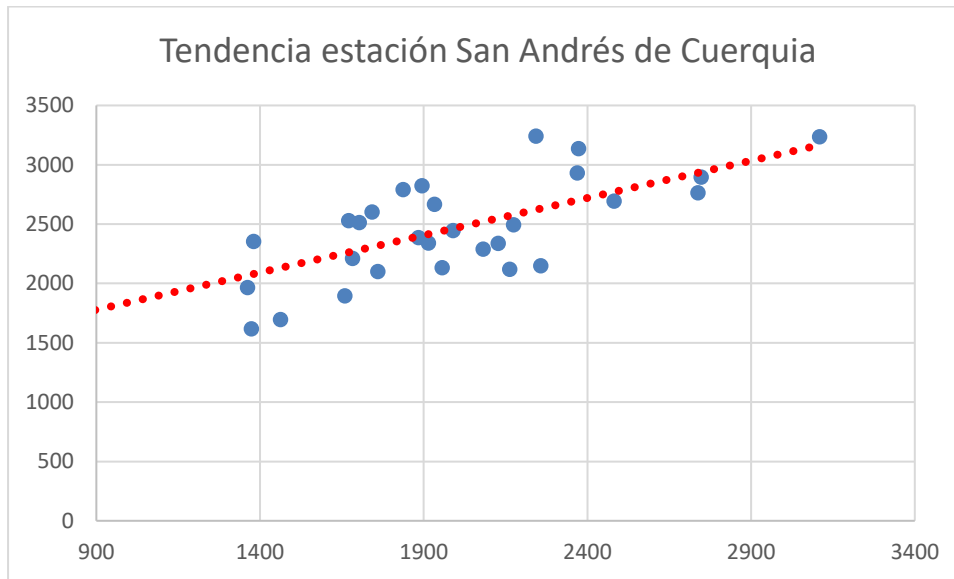
Nota. Elaboración propia, muestra la tendencia de la precipitación para el valor total multianual para el periodo 1991-2020.

Estación San Andrés de Cuerquia

Teniendo como base la información de la estación San Andrés para el periodo 1991-2020 en la cual se puede observar una tendencia de incremento de las precipitaciones ocurridas, de esta manera comparando la tendencia con el comportamiento de lluvias 2011-2040 se corrobora el incremento de lluvias en la zona.

Figura 82

Estación San Andrés



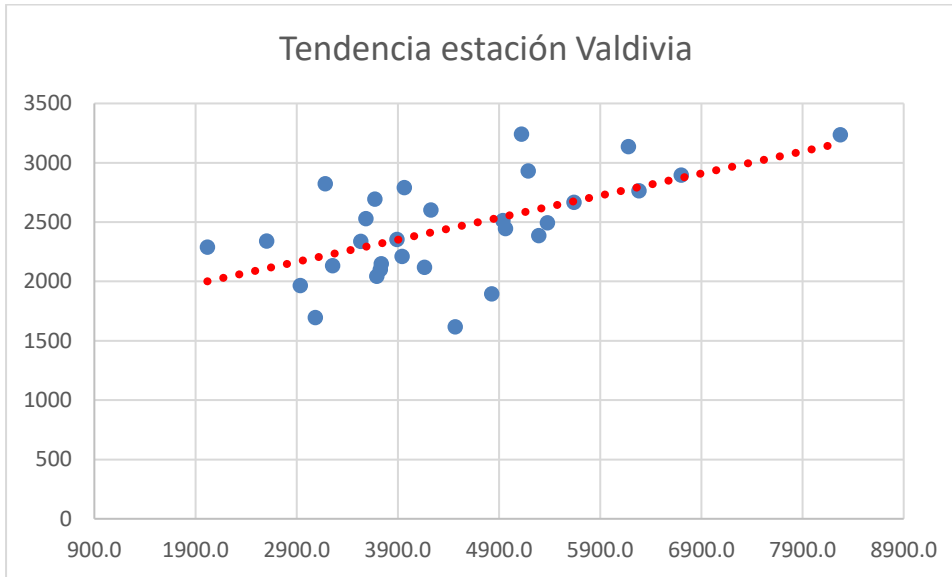
Nota. Elaboración propia, muestra la tendencia de la precipitación para el valor total multianual para el periodo 1991-2020.

Estación Valdivia

Teniendo como base la información de la estación Puerto Valdivia para el periodo 1991-2020 en la cual se puede observar una tendencia de incremento de las precipitaciones ocurridas, de esta manera comparando la tendencia con el comportamiento de lluvias 2011-2040 se corrobora el incremento de lluvias en la zona.

Figura 83

Estación Valdivia



Nota. Elaboración propia, muestra la tendencia de la precipitación para el valor total multianual para el periodo 1991-2020.

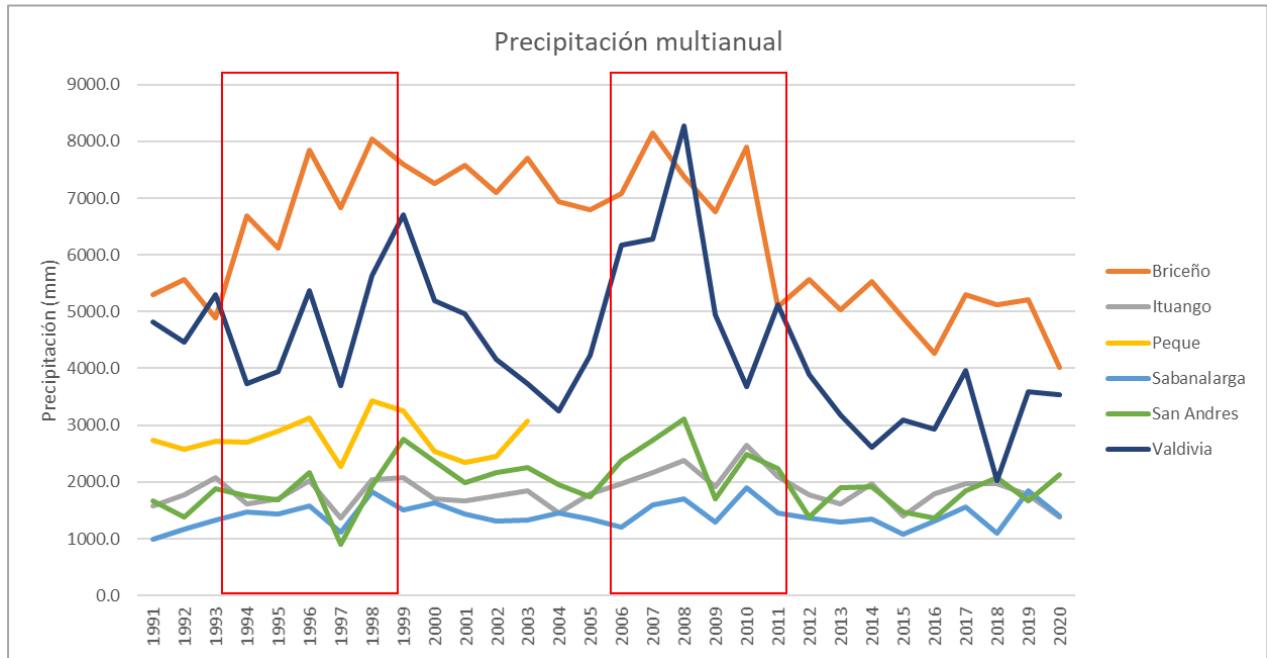
Incidencia de la variabilidad climática en los riesgos de desastres

Para este primer análisis se tuvo en cuenta los extremos para los municipios del estudio lo cual según la Figura 84 muestra que para los años 1996 a 1998 se presentó una exacerbación en los promedios anuales de precipitación y de igual manera se presenta para los años 2010 y 2011 coincidiendo con los eventos ocurridos por la materialización del fenómeno de la niña en los dos casos.

De esta manera y haciendo una comparación entre los eventos presentados asociados a extremos de precipitación versus los fenómenos ocurridos de la niña como fue el caso del año 2010 se puede apreciar una exacerbación de los promedios anuales de lluvias.

Figura 84

Precipitación multianual

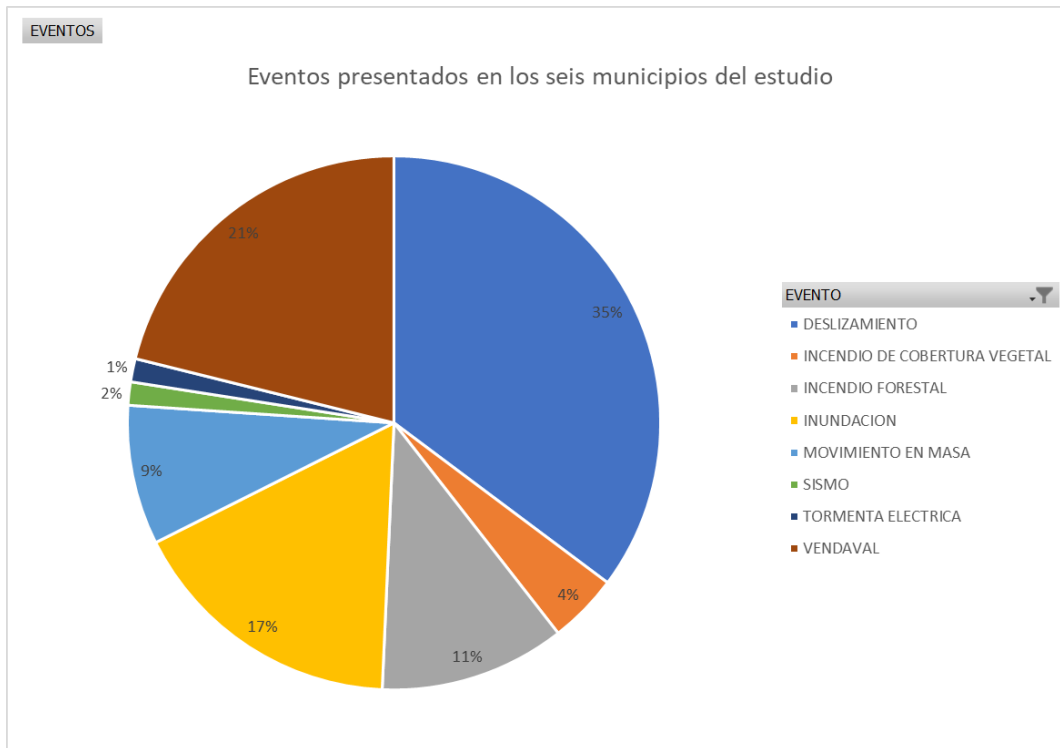


Nota. La figura muestra el comportamiento de la precipitación multianual para el periodo 1991 – 2020, generado a partir de la consulta de las estaciones meteorológicas de la zona del estudio.

Tomando los valores identificados en el análisis de datos en donde se caracterizó los eventos ocurridos durante el periodo 1998-2020 y donde se evaluaron los eventos asociados a los fenómenos hidrometeorológicos (inundaciones, avenidas torrenciales, vendavales, movimientos en masa) y otros asociados a sus extremos como los incendios forestales, se puede observar en la Figura 85 que el mayor porcentaje de eventos obedecen a los movimientos en masa seguido por incendios forestales e inundaciones.

Figura 85

Eventos clasificados por tipo

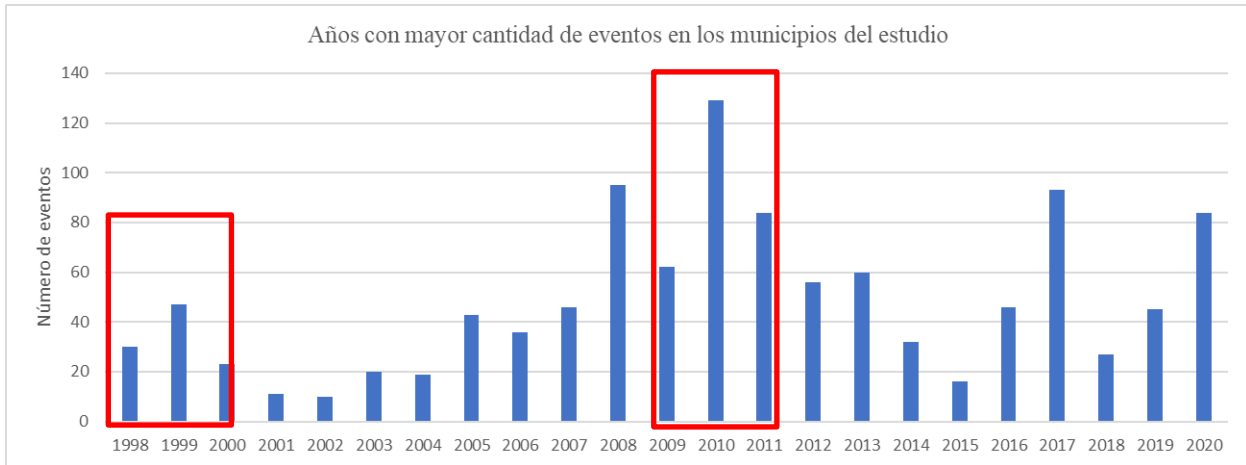


Nota. La figura muestra el porcentaje de eventos según su tipo, generado a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGD para el periodo 1998-2020.

A partir de la clasificación de los eventos según su tipo se pudo identificar la recurrencia de dichos eventos durante el periodo de tiempo analizado como se muestra en la Figura 86, lo cual muestra los periodos extremos entre 1998 al 2000 y entre 2009 y 2011.

Figura 86

Año con mayor cantidad de eventos

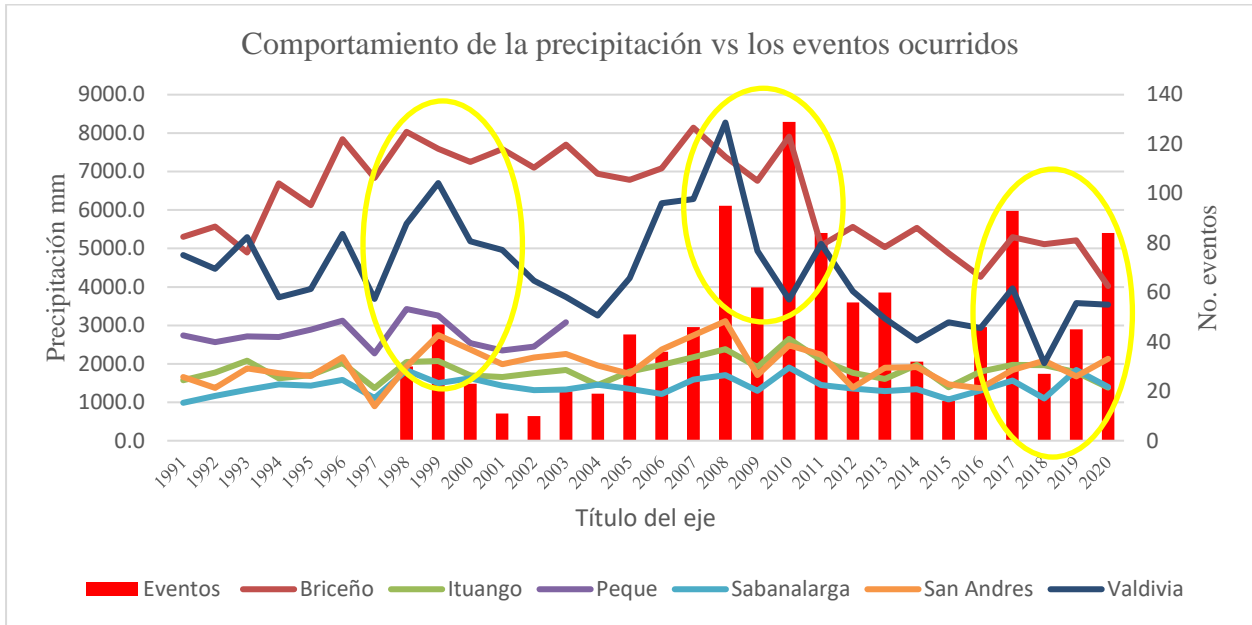


Nota. La figura muestra el recurrencia de los fenómenos materializados, generado a partir del consolidado anual de emergencias de la UNGD para el periodo 1998-2020 .

De esta manera se realizó una comparación espacial de la ocurrencia de aquellos eventos con el comportamiento de la precipitación para los seis municipios elegidos para el estudio, con lo cual al desarrollar el cruce y tener en cuenta la acumulación de la precipitación tenemos una incidencia entre los eventos extremos y el aumento de la materialización de los riesgos en los territorios lo cual se observa en la Figura 87.

Figura 87

Comportamiento de la precipitación vs los eventos ocurridos



Teniendo en cuenta que los registros históricos corresponden a treinta años se puede apreciar en este periodo de tiempo como se ha presentado una serie de picos extremos de precipitación lo cual coincide con un aumento de los casos de afectaciones por diferentes fenómenos de origen hidrometeorológico entre ellos los movimientos en masa.

Estos picos se vienen presentado frecuentemente y con eventos cada vez más extremos como ha sido visto en este ejercicio a partir de las gráficas anteriores.

Conclusiones

Una de las principales actividades que se propuso desarrollar durante el análisis del trabajo fue iniciar con la recopilación de información secundaria asociada a las diferentes estaciones hidrometeorológicas de la zona. Sin embargo durante la búsqueda de información se encontró poca información o faltante en las estaciones que pudieran servir como insumo para el desarrollo del análisis, de esta manera se decidió utilizar la información que estuviera más completa en términos de registros históricos de por lo menos los últimos treinta años, para este estudio se tuvo en cuenta la información oficial del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

En cuanto a los datos asociados a los fenómenos ocurridos se consultaron las bases de datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD y la plataforma Desinventar, de estas se pudo constatar que aunque algunos eventos fueron reportados no existe evidencia de afectaciones sobre las comunidades y el ambiente por lo cual los resultados pueden llegar a ser subjetivos desde la misma interpretación de estos.

Teniendo en cuenta que el proyecto hidroeléctrico Ituango inicio el llenado del embalse a causa de la contingencia presentada en el año 2018 de manera súbita los registros asociados a las precipitaciones en la zona con el embalse apenas tiene un registro de dos años lo cual no determina de manera considerable los cambios que se pueden presentar en la zona y como este espejo de agua puede influir en el comportamiento de las condiciones meteorológicas de la zona por los cual no influye de manera considerable en los resultados de este estudio.

Aunque no se evidencian cambios evidentes en las variables climatológicas sobre la zona de estudio ni a causa del proyecto hidroeléctrico Ituango, estas posiblemente no logren impactar

de forma significativa a los municipios cercanos y utilizados en este estudio, ni al componente ambiental, sin embargo se recomienda que estos resultados sean posteriormente analizados por personal experto para determinar el grado de afectación sobre los ecosistemas existentes en la zona de estudio y determinar la necesidad o no de ejecutar medidas de mitigación a corto, media y largo plazo.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, los resultados obtenidos en el estudio fueron los esperados. En general, se tiene como resultado que la zona presentará unas condiciones de humedad mayores debido a la presencia del embalse y la disponibilidad de agua para evaporar, sin embargo el alcance de este estudio no profundizo en las variables de temperatura y humedad relativa por lo cual se recomienda desarrollar con mayor profundidad un balance hídrico con el cual se pueda determinar las variaciones detalladas y de esta manera poder hacer una comparación con los cambios producto de los fenómenos ENOS y su incidencia en los riesgos de desastres.

De acuerdo con el comportamiento de la precipitación en la zona de estudio se pudo evidenciar la tendencia al incremento de las precipitaciones estando en un rango entre el -10% al 39% lo cual de alguna manera puede incidir en la materialización de un mayor número de eventos hidrometeorológicos en la zona.

Por el contrario los déficit de precipitaciones no han incidido de una manera considerable en los riesgos de desastres de los municipios, según el reporte de la UNGRD los eventos asociados a incendios forestales tienen su origen en el factor humano siendo el despeje de terrenos para cultivos y ganadería el mayor factor para el inicio de los incendios de cobertura vegetal.

Las mayores pérdidas y daños generados están clasificados en personas y viviendas esto se da por el nivel de exposición y vulnerabilidad con el que se encuentran estas comunidades, así mismo la incidencia de los fenómenos está dada por el comportamiento y el relacionamiento del factor humano y el ambiente donde entra a incidir las practicas inadecuadas de cultivos, la deforestación y la ocupación del suelo en zonas no aptas para habitar.

Dado el impacto que genera la materialización de un evento en estos territorios y el estado de vulnerabilidad con el que se encuentra las poblaciones es importante crear estrategias entre el sector público y privado que tiendan a fortalecer capacidades y dejarlas instaladas con una asegurabilidad y sostenimiento efectivo en el tiempo para que de esta manera las políticas elaboradas puedan implementarse adecuadamente.

Gran parte de la problemática de estos municipios se ha dado por la ausencia del estado y la baja capacidad de gestión de los mismos sumado a lo anterior lo apartado de las grandes urbes incide en que el desarrollo no se ejecute de manera igualitaria dejando con un sin número de problemas ambiental, sociales y económicos a las comunidades y que en conjunto con la recurrencia de los fenómenos hidrometereológicos se convierte en la formula perfecta para un riesgo de desastre.

Como parte del estudio se identificaron algunas medidas de adaptación y resiliencia enfocadas a los posibles eventos que se pueden presentar sin embargo es importante mencionar que las estrategias a implementar deberán estar articuladas con los instrumentos de planificación como lo son las planes de desarrollo municipal, los planes de ordenamiento territorial y los planes municipales de gestión del riesgo lo cual puede ayudar a que aquellas acciones tengan un soporte financiero para poderlas ejecutar en el tiempo.

Referencias bibliográficas

- Arriagada, P., Dieppois, B., Sidibe, M. y Link, O. (2019). *Impacts of climate change and climate variability on hydropower potential in data-scarce regions subjected to multi-decadal variability*. Revista Energías, 12 (14), 2747. [https://doi: 10.3390 / en.12142747](https://doi.org/10.3390/en.12142747)
- Azcárate, R., Mejía, A. (2016). *Meteorología, socioeconomía y gestión del riesgo de desastres del evento El Niño Oscilación del Sur en Colombia*. Mutis 6(2), 95-109,doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1154>
- Barrantes, R. (2014). *Investigación, Un camino al conocimiento, Un Enfoque Cualitativo, Cuantitativo y Mixto*. Editorial EUNED.
- Byers, E. A., Hall, J. W., Amezaga, J. M., O'Donnell, G. M., y Leathard, A. (2016). *Water and climate risks to power generation with carbon capture and storage*. Environmental Research Letters, 11(2). <https://doi:10.1088/1748-9326/11/2/024011>
- Caceres, A. L., Jaramillo, P., Matthews, H. S., Samaras, C., y Nijssen, B. (2021). *Hydropower under climate uncertainty: Characterizing the usable capacity of brazilian, colombian and peruvian power plants under climate scenarios*. Energy for Sustainable Development, 61, 217-229. <https://doi:10.1016/j.esd.2021.02.006>
- Cardona, A. O. y Marulanda, F. M. (2006). Variabilidad Climática, Vulnerabilidad y Desastres Menores. Boletín Ambiental. Instituto de Estudios Ambientales IDEA., 59.
- Carvajal, P. E., Li, F. G. N., Soria, R., Cronin, J., Anandarajah, G., y Mulugetta, Y. (2019). *Large hydropower, decarbonisation and climate change uncertainty: Modelling power*

sector pathways for ecuador. Energy Strategy Reviews, 23, 86-99.

<https://doi:10.1016/j.esr.2018.12.008>

Carvajal, Y., H. Jiménez, y H. Materon. (1998). *Incidencia del fenómeno ENSO en la hidroclimatología del valle del río Cauca – Colombia*. Bulletin Institute Francaise d’Etudes Andines, 27 (3): 743 – 756.

Comisión Internacional de Grandes Presas – ICOLD. <https://www.spancold.org/quienes-somos/>

Convención Marco sobre el Cambio Climático. Artículo 1°. 13 de junio de 1992.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC. 1992.

<https://unfccc.int/es/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/que-significa-adaptacion-al-cambio-climatico-y-resiliencia-al-clima>

Declaración de la conferencia de las naciones unidas sobre el medio humano. *Recomendación* 79. Reunida en Estocolmo del 5 al 16 de junio de 1972.

Frontmatter. (2000). En H. Díaz & V. Markgraf (Eds.), *El Niño y la Oscilación del Sur: Variabilidad Multiescala e Impactos Globales y Regionales* (pp. I-IV). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511573125>

Garnezy, N. (1991). *Resilience in children’s adaptation to negative life events and stressed environments*. Pediatric Annals, 20, 459-466.

González, C. J. (2018). *El sector eléctrico en Colombia: sin graves riesgos ante el cambio climático, según Gobierno*. Revista Tecnología Investigación y Academia, 6(1), 54–65.

Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (1995). *Segunda evaluación Cambio Climático 1995*.

- Hellmuth, M., Cookson, P. y Potter, J. (2017): *Addressing Climate Vulnerability for Power System Resilience and Energy Security: A Focus on Hydropower Resources*.
- Heres, D., (2015) El cambio climático y la energía en América Latina. Estudios de Cambio Climático y la energía en América Latina. CEPAL.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *Cambio Climático. Conceptos básicos de cambio climático*.<http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.(2015). *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 – 2100*.
- Khir-Eldien, K., y Zahran, S. A. (2017). *Climate changes vulnerability and adaptive capacity*.
https://doi:10.1007/698_2016_117
- Kundan, S. (2018). *Disasters evermore, threatened tourism: Rethinking disaster management for indian tourism industry under the uncertainty of extreme weather and climate change*. Disaster Advances, 11(6), 4-14.
- Lavell. A., (2004). *Los conceptos, estudios y práctica en torno al tema de los riesgos y Desastres en américa latina: evolución y cambio, 1980-2004: el rol de la red, Sus miembros y sus instituciones de apoyo*.
- Lavell. A., (2006). *La gestión local del riesgo nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central -CEPREDENAC.
- Lavell. A., (s.f.). *Apuntes para una reflexión institucional en países de la Subregión*

Andina sobre el enfoque de la Gestión del Riesgo. Nota personal.

- Liverman, D. (2001). Vulnerability to global environmental change. *En Global environmental risk*, editado por Jeanne X. Kasperson y Roger E. Kasperson, 201–2016. Tokyo: United Nations University Press.
- Luthar, S.S. y Cushing, G. (1999). Measurement issues in the empirical study of resilience: An overview. En M.D., Glantz y J.L. Johnson (Eds), *Resilience and development. Positive life adaptations* (pp.129-160)
- Masten, A.S. y Powell, J.L. (2003). A resilience framework for research, policy and practice. En S.S. Luthar (Ed.), *Resilience and vulnerability. Adaptation in the context of childhood adversities* (pp. 1-25). Cambridge, RU: Cambridge University Press.
- M. Tignor y H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- McPhee, J., Rubio. E., Meza, R y Ayala. A., (2012) *Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile.* Medio Ambiente y Desarrollo. Cepal. 145.
- Milankovitch M. (1920). *Théorie Mathématique de phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*, Gauthiers-Volars, Paris.
- Montealegre J., y J. Pabón. (2000): *La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña–Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia.* Meteorol. Colomb. 2:7-21.
- Narváez, L., Lavell, A., Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos.* Comunidad Andina.

Organización Meteorológica Mundial. (2 de diciembre de 2020) El 2020 está en camino de ser uno de los tres años más cálidos

registrados. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-2020-est%C3%A1-en-camino-de-ser-uno-de-los-tres-a%C3%B1os-m%C3%A1s-c%C3%A1lidos>

Palau., A., Prieto, C., (2009). Hidroelectricidad, embalses y cambio climático. Revista. Ingeniería del agua, Vol.16. No.4.

Paz, J., Jesús, M., Kelman, R., Navas, S., Okamura, L. y Feliu, E., (2019). *Vulnerabilidad al cambio climático y medidas de adaptación de los sistemas hidroeléctricos en los países andinos*. Banco Interamericano de Desarrollo BID.

Pieter. J., Tarssio B. B., Clemente A.S., Tanajura, K. P. Oliveira. E., Asher K., Ednildo A. T., (2021) *The Impact of Regional Climate Change on Hydroelectric Resources in South America*. Renewable Energy, Volume 173, 2021, Pages 76-91.

Richardson, G.E., Niger, B.L., Jensen, S. y Kumpfer, K.L. (1990). *The resilience model*. Health Education, 21, 33-39.

Ruiz, S. J.P. (2007). Servicios ambientales, agua y economía. 93.

Sánchez, S.N, Sánchez, T., Espino, G., y Garduño, R. (2014). *Evolución del clima a través de la historia de la tierra*. Rev. Reflexiones 93 (1) 121-132

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, IPCC, (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

- Smit, B. y Wandel, J. (2006). *Adaptation, adaptive capacity and vulnerability*. Global Environmental Change, Vol.16, (3): pp. 282-292.
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2003). *The past and future of mixed methods research: From data triangulation to mixed model designs*. Handbook on mixed methods in the behavioral and social sciences (pp. 671-702). Thousand Oaks,
- Yang, H., Chen, G., Chong, Y., Jin, J., y Shi, W. (2021). *Quantitative prediction of outburst flood hazard of the zhouqu"8.8" debris flow-barrier dam in western china*. Water (Switzerland), 13(5). <https://doi:10.3390/w13050639>

Anexos

ANEXO A_Acumulados

ANEXO B_Base consolidada

ANEXO C_Cambios de bosque

ANEXO D_Comportamiento de la precipitación

ANEXO E_Estaciones

ANEXO F_Movimientos en masa

ANEXO G_PMGRD

ANEXO H_Precipitación anual

ANEXO I_Promedios climatológicos

ANEXO J_Series estaciones municipios



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

Universidad Católica de Manizales
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia
PBX (6)8 93 30 50 - www.ucm.edu.co