

TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN: KILÓMETRO 58+00 VÍA BOGOTÁ
VILLAVICENCIO

EDWARD ANDRES LEIVA RUIZ

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD INGENIERÍA CIVIL

BOGOTA D.C, COLOMBIA

2020

TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN: KILÓMETRO 58+00 VÍA BOGOTÁ
VILLAVICENCIO

EDWARD ANDRÉS LEIVA RUIZ

MONOGRAFÍA PRESENTADA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

DIRECTORES:

DR. JUAN PABLO RODRÍGUEZ

DR. EDISON OSORIO BUSTAMANTE

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ, COLOMBIA

2020

Nota de aprobación

jurado 1

jurado 2

Bogotá, mayo de 2020

CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
INTRODICCION	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1 DESCRIPCION DE PROBLEMA	6
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GENERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
3 MARCO TEÓRICO.....	12
3.1 TALUD.....	12
3.2 LA GEOTECNIA EN EL TALUD.....	13
3.3 DESLIZAMIENTO POR FALLA	15
3.4 DETERIORO EN EL TALUD	15
3.5 MOVIMIENTO EN MASA.....	18
3.6 CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO EN MASA.....	25
3.6.1 TIPOS DE MATERIAL.....	26
3.6.2 HUMEDAD.....	26
3.6.3 RAPIDEZ DEL DESLIZAMIENTO.....	26

3.6.4 TIPOS DE DESLIZAMIENTO.....	27
3.6.5 ESTRUCTURA GEOLÓGICA.....	27
3.7 PRECIPITACIÓN	28
3.7.1. LLUVIAS PROMEDIO Y MÁXIMAS ANUALES.....	30
3.7.2 RÉGIMEN DE LLUVIAS.....	30
3.7.3. AGUACEROS TORRENCIALES.....	32
3.7.4. LLUVIAS ACUMULADAS	32
3.7.5. FACTORES QUE AFECTAN EL TALUD DE UNA VÍA.....	32
3.8 HUMEDAD SUPERFICIAL	34
3.9 INFILTRACION	34
3.10 FLUJO NO SATURADO	35
3.11 NIVEL FREÁTICO.....	36
3.12 PRESIÓN DE POROS.....	37
3.13 FLUJO SATURADO.....	38
3.14 ESCORRENTÍA.....	39
3.15 CURVA IDF.....	40
3.15.1 ELABORACIÓN CURVA IDF.....	42
3.15.1 METODOLOGÍA.....	43

3.16 MÉTODO DE GUMBEL.....	43
4 ESTADO DEL CONOCIMIENTO	45
5 PASO A PASO PARA EJECUCIÓN DEL DOCUMENTO.....	54
6 CASO DE ESTUDIO	55
6.1 LOCALIZACIÓN.....	55
6.1.1 SUBCUENCA RÍO GUAYURIBA.....	57
6.1.2 RED DE DRENAJE SUBCUENCA RÍO GUAYURIBA	58
6.2 OBJETIVO DEL CASO DE ESTUDIO	61
6.3 DATOS DEL IDEAM	62
6.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	63
6.4.1 PERIODOS DE RETORNO ESTACIÓN DE MONTERREDONDO	64
6.4.2 PERIODOS DE RETORNO ESTACIÓN DE SUSUMUCO.....	68
6.4.3 DESLIZAMIENTOS ENTRE LOS AÑOS 2018 Y 2019, Y COMPARACIÓN DE ESTOS CON LOS NIVELES DE PRECIPITACIÓN DURANTE ESTE PERIODO EN EL KM 58	71
6.4.4 RELACIÓN PERIODO DE RETORNO, NIVEL DE PRECIPITACIÓN Y DESLIZAMIENTOS EN EL KM 58	75
6.5 RESULTADOS	77
6.6 CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO	79
7 CONCLUSIONES	80
8 RECOMENDACIONES	82

9	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	83
10	ANEXO	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA. 1	DERRUMBE KILÓMETRO 60, VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO, MUNICIPIO DE GUAYABETAL	7
FIGURA. 2	DERRUMBE KILÓMETRO 58, MUNICIPIO DE GUAYABETAL.....	7
FIGURA. 3	FOTO AÉREA DERRUMBE KILÓMETRO 58, MUNICIPIO DE GUAYABETAL	8
FIGURA. 4	UBICACIÓN DERRUMBE KILÓMETRO 58, MUNICIPIO DE GUAYABETAL	8
FIGURA. 5	VÍCTIMAS ALUD EN QUEBRADA BLANCO EN 1974	10
FIGURA. 6	TALUD NATURAL Y ARTIFICIAL.....	13
FIGURA. 7	MOVIMIENTO DE UN TALUD	14
FIGURA. 8	TIPOS DE DETERIORO EN TALUDES.....	16
FIGURA. 9	CAÍDA DE BLOQUES DE ROCA POR EL EFECTO DE LA GRAVEDAD .	18
FIGURA. 10	VOLTEO DE MATERIALES	19
FIGURA 11	INCLINACIÓN DE LA FALLA	20
FIGURA 12	REPTACIÓN.....	20
FIGURA 13.	MOVIMIENTO DE SUELOS BLANDOS.....	21
FIGURA 14	DESLIZAMIENTO ROTACIONAL.....	21
FIGURA 15.	EFFECTOS POR EL DESLIZAMIENTO A ROTACIONAL	22

FIGURA 16. DESLIZAMIENTO PLANAR	23
FIGURA 17. ESQUEMA DE UN ESPARCIMIENTO LATERAL	23
FIGURA 18. VELOCIDADES DE LOS FLUJOS DE AGUA	24
FIGURA 19. AVALANCHA	25
FIGURA 20. ETAPAS DE DESLIZAMIENTO	28
FIGURA 21. RED PLUVIOMÉTRICA DE COLOMBIA	29
FIGURA 22. PERIODO DE LLUVIAS EN LOS ANDES DE COLOMBIA	31
FIGURA 23. LLUVIA EN EL PIEDEMONTES DE LOS ANDES COLOMBIANOS	31
FIGURA 24. CICLO HIDROLÓGICO	33
FIGURA 25. DIAGRAMA MATERIALES RESIDUALES	35
FIGURA 26. NIVELES FREÁTICOS	36
FIGURA 27. PRESIÓN DE POROS EN UNA FALLA	38
FIGURA 28. MODELO HIDROLÓGICO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA	39
FIGURA 29. ELEMENTOS DE UNA CURVA IDF	41
FIGURA 30. KM 58 VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO, MUNICIPIO DE GUAYABETAL	56
FIGURA 31. UBICACIÓN KM 58 VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO	57
FIGURA 32. SUB CUENCA RÍO GUAYURIBA	57

FIGURA 33. ANÁLISIS HIDROLÓGICO SUB CUENCA RÍO GUAYURIBA	58
FIGURA 34. ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD DEL KM 58.....	59
FIGURA 35. RED DE DRENAJE SUBCUENCA RÍO GUAYURIBA.....	60
FIGURA 36. RED DE DRENAJE KM 58	61
FIGURA 37. RED DE DRENAJE SUBCUENCA RÍO GUAYURIBA	62
FIGURA 38. UBICACIÓN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DE MONTERREDONDO Y SUSUMUCO	63
FIGURA 39. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL, ESTACIONES MONTERREDONDO Y SUSUMUCO, AÑOS 1952 AL 1994	67
FIGURA 40. CURVAS IDF, PERIODO DE RETORNO ESTACIÓN DE MONTERREDONDO	71
FIGURA 41. CURVAS IDF, PERIODOS DE RETORNO 1961 A 2019, ESTACIÓN DE SUSUMUCO	73
FIGURA 42. COMPARACIÓN NIVELES DE PRECIPITACIÓN EN LOS DERRUMBES DE 2018 Y 2019, CON LA PRECIPITACIÓN HISTÓRICA DE 1961 A 2017, ESTACIÓN DE SUSUMUCO	74
FIGURA 43. COMPARACIÓN NIVELES DE PRECIPITACIÓN EN LOS DERRUMBES DE 2018 Y 2019, CON LA PRECIPITACIÓN HISTÓRICA DE 1960 A 2017, ESTACIÓN DE MONTERREDONDO	75

FIGURA 44. RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE PRECIPITACIÓN, DESLIZAMIENTOS Y PERIODOS DE RETORNO, ESTACIÓN DE SUSUMUCO ENTRE LOS AÑOS 2018 Y 2019	76
FIGURA 45. RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE PRECIPITACIÓN, DESLIZAMIENTOS Y PERIODOS DE RETORNO, ESTACIÓN DE MONTERREDONDO ENTRE LOS AÑOS 2018 Y 2019	89
FIGURA 46. DESLIZAMIENTO VISITA AL K 58+00 MUNICIPIO DE GUAYABETAL ...	90
FIGURA 47. TALUD VISITA AL K 58+00, MUNICIPIO DE GUAYABETAL	90
FIGURA 48. T PELIGRO PARA EL TRÁFICO VEHICULAR VISITA AL K 58+00	91
FIGURA 49. OBSTÁCULOS EN LA VÍA VISITA AL K 58+00, MUNICIPIO DE GUAYABETAL	91
FIGURA 50. QUEBRADA TEQUENA VISITA AL K 58+00, MUNICIPIO DE GUAYABETAL	92
FIGURA 51. DERRUMBE VISITA AL K 58+00, MUNICIPIO DE GUAYABETAL	92
FIGURA 52. TRABAJADORES EN AL VÍA VISITA AL K 58+00, MUNICIPIO DE GUAYABETAL.....	93
FIGURA 53. TRABAJOS EN LA VÍA VISITA AL K 58+00, MUNICIPIO DE GUAYABETAL.....	93
FIGURA 54. PUESTO DE CONTROL VISITA AL K 58+00, MUNICIPIO DE GUAYABETAL.....	94

FIGURA 55. DESAGUES VISITA AL K 58+00, MUNICIPIO DE GUAYABETAL.....94

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA25

TABLA 2. VELOCIDAD DEL DESLIZAMIENTO27

TABLA 3. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, ESTACIÓN MONTERREDONDO65

TABLA 4. PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES PERIODOS DE DURACIÓN DE LLUVIAS, ESTACIÓN MONTERREDONDO65

TABLA 5. INTENSIDADES DE LLUVIA TENIENDO EN CUENTA EL PROMEDIO DIARIO, DURACIÓN DE PRECIPITACIÓN Y FRECUENCIA, ESTACIÓN MONTERREDONDO66

TABLA 6. COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 , ESTACIÓN DE MONTERREDONDO66

TABLA 7. INTENSIDADES DE PRECIPITACIÓN, ESTACIÓN DE MONTERREDONDO67

TABLA 8. P PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, ESTACIÓN SUSUMUCO68

TABLA 9. PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES PERIODOS DE DURACIÓN DE LLUVIAS, ESTACIÓN DE SUSUMUCO69

TABLA 10. INTENSIDADES DE LLUVIA TENIENDO EN CUENTA EL PROMEDIO DIARIO, DURACIÓN DE PRECIPITACIÓN Y FRECUENCIA, ESTACIÓN SUSUMUCO	69
TABLA 11. COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 , ESTACIÓN DE SUSUMUCO	70
TABLA 12. INTENSIDADES DE PRECIPITACIÓN, ESTACIÓN DE SUSUMUCO	70
TABLA 13. DERRUMBES EN EL KM 58 DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO ENTRE LOS AÑOS 2018 Y 2019	72
TABLA 14. PRECIPITACIONES ANUAL ESTACIÓN DE MONTERREDONDO	95
TABLA 15. PRECIPITACIONES ANUAL ESTACION DE SUSUMUCO	96
TABLA 16. PRECIPITACIONES MENSUAL ESTACIÓN DE MNTERRREDONDO	98
TABLA 17. PRECIPITACIONES MENSUAL ESTACIÓN DE SUSUMUCO	99
TABLA 18. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES PLUVIOMÉTRICAS MEDIANTE EL MÉTODO DE GUMBEL, ESTACIÓN MONTERREDONDO (1952 A 2019).	101
TABLA 19. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES PLUVIOMÉTRICAS MEDIANTE EL MÉTODO DE GUMBEL, ESTACIÓN SUSUMUCO (1961 A 2019)	102

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedico:

A mi Madre Flor María Leiva Ruiz, mi Tía Aurora Leiva y mi Abuela Cecilia Ruiz, por contar siempre con su apoyo y brindarme su amor durante todos estos años.

A mi novia Yolanda Rodríguez Vargas por su apoyo infinito y su amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia y a la familia Rodríguez por brindarme todo su apoyo y comprensión para continuar con mi carrera, también agradezco a los docentes de la Universidad Antonio Nariño por compartir sus conocimientos y formarme como profesional. A mis tutores y maestros el Dr. Juan Pablo Rodríguez y el Dr. Edison Osorio Bastamente por ser las personas que me ayudaron con la realización de esta monografía y de igual forma a mis amigos y compañeros que compartieron semestre tras semestre vivencias, conocimientos, a todos muchas gracias.

RESUMEN

Las inundaciones, los deslizamientos de tierra y los flujos de escombros inducidos por la lluvia han sido los principales riesgos naturales que afectan la seguridad y el funcionamiento del sistema vial de Colombia, principalmente la vía al llano. Con el rápido incremento del flujo en las vías en los últimos 20 años, es necesario determinar si la lluvia es el primer factor que genera los deslizamientos, en particular porque la precipitación extrema ha aumentado en muchas partes del mundo y seguirá aumentando. Este documento proporciona un enfoque cuantitativo para la evaluación de la susceptibilidad del sistema de transporte sujeto a riesgos naturales a una escala relativamente grande. Mediante la presente monografía, se realizó un análisis del deterioro de la vía Bogotá Villavicencio en el kilómetro 58 por el incremento en la precipitación, este tramo se ha convertido en el más crítico de la vía, en el cual se han presentado derrumbes que han generado cierres, la importancia de la vía en cuanto a comercio y economía del país, la convierte en una afectación nacional que afecta a muchos sectores. Esta monografía se basa en la consulta hidrológica de las estaciones meteorológicas del IDEAM más cercanas al kilómetro 58, de las cuales se obtuvo información y se realizó un análisis hidrológico, para dar respuesta si la lluvia tiene influencia visible directa en los deslizamientos de la problemática de la vía Bogotá Villavicencio.

Palabras clave: precipitación, Curva IDF, Vía Bogotá Villavicencio.

ABSTRACT

Floods, landslides and rain-induced debris flows have been the main natural hazards that affect the safety and operation of the Colombian road system, mainly the road to the plain. With the rapid increase in road flow in the past 20 years, it is necessary to determine whether rain is the first factor causing landslides, in particular because extreme precipitation has increased in many parts of the world and will continue to increase. This document provides a quantitative approach to assessing the susceptibility of the transportation system subject to natural hazards on a relatively large scale. Through this monograph, an analysis of the deterioration of the Bogotá Villavicencio road at kilometer 58 due to the increase in precipitation was carried out, this section has become the most critical of the road, in which landslides have occurred that have generated closings, the importance of the road in terms of trade and economy of the country, makes it a national affectation that affects many sectors. This monograph is based on the hydrological consultation of the IDEAM meteorological stations closest to kilometer 58, from which information was obtained and a hydrological analysis was carried out, to answer whether the rain has a direct visible influence on the landslides of the problem of Bogotá Villavicencio road.

Key words: precipitation, IDF curve, Bogotá Villavicencio road.

INTRODUCCIÓN

Las amenazas meteorológicas, como las precipitaciones extremas, representan un riesgo significativo para la operación y la seguridad de las vías. Entre estos, las inundaciones inducidas por la lluvia, los deslizamientos de tierra y los flujos de escombros han sido las principales amenazas naturales que afectan y degeneran las vías. Colombia es un país que está modificando su infraestructura, uno de los proyectos es la implementación de las vías 4G o Cuarta Generación de Concesiones Viales de Colombia, una de las Concesiones es la doble calzada entre las ciudades de Bogotá y Villavicencio, proyecto que mejorará el transporte, el turismo y la economía para los habitantes de la vía. Pero es una vía que actualmente se ve afectada por derrumbes por la intensidad de lluvias que se han venido presentando en los últimos meses.

Los desastres causados por factores hidrometeorológicos (inundaciones, deslizamientos y sequías) son muy frecuentes y suelen causar graves pérdidas económicas a la propiedad, el comercio, así como la pérdida de vidas humanas. traduciéndose en un costo económico importante para la sociedad, (Van der Bolt, Van Nes, Bathiany, Vollebregt, & Scheffer). De acuerdo con (Field, 2012) el incremento de estos eventos en los últimos años, son el resultado del cambio climático y el desarrollo socioeconómico sin planeación. En el presente trabajo se realizará un análisis del cambio de los niveles de precipitación en el municipio de Guayabetal-Cundinamarca, el cual es uno de los puntos más afectados de la vía. Dicho análisis se realizará con datos suministrados por el IDEAM. Este documento estima justificar el deterioro de la vía por el aumento de la precipitación, por lo cual se realiza una monografía.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

En 1860 se inició las obras de mejoramiento de la vía que comunica a Villavicencio con Bogotá por el auge económico que había en el país, en 1928 terminó la construcción de la primera fase de la vía que iba de Bogotá a Chipaque, la segunda fase terminó en 1932 de Chipaque a Cáqueza y la última fase terminó en 1936, cuando finalmente la vía llegó a Villavicencio, en 1994 el gobierno suscribe un contrato de concesión a Conviades S.A., para iniciar la doble calzada de la vía Bogotá Villavicencio. (ANI, 2019).

El país ha tenido un crecimiento vial a paso lento, pero actualmente existen proyectos para la mejora de la malla vial, uno de estos proyectos es mejorar y crear la tercera calzada de la vía Bogotá Villavicencio, pero uno de los fenómenos que afecta el avance de esta vía, es el aumento de la precipitación, Colombia es un país que sufre el cambio climático, por sus características, de ser un país tropical, por las diferentes geografías y ecosistema. Por lo cual, para disminuir el mantenimiento, es necesario determinar las variables climáticas que afectan a la vía.

En el diseño de una carretera se incluye una variable como lo es la precipitación, pues es un factor que interviene directamente en la carretera, sin embargo, estos diseños deben ser actualizados a medida que cambia el clima.

Esta problemática se evidencia en la vía Bogotá Villavicencio, en el municipio de Guayabetal departamento de Cundinamarca, donde por la variación en la precipitación se han presentado derrumbes en este punto de la vía.

Figura 1

Derrumbe kilómetro 58, vía Bogotá Villavicencio, Municipio de Guayabetal



Tomado de Periódico El Tiempo, (2019).

El 15 de mayo de 2019 se presentaron dos derrumbes en los kilómetros 58 y 64 dejando a los pobladores del Municipio de Guayabetal incomunicados y convirtiendo a esta zona en la más vulnerable de la vía.

Figura 2

Derrumbe Kilómetro 58, Municipio de Guayabetal



Tomado de Revista Semana, (2019).

Figura 3

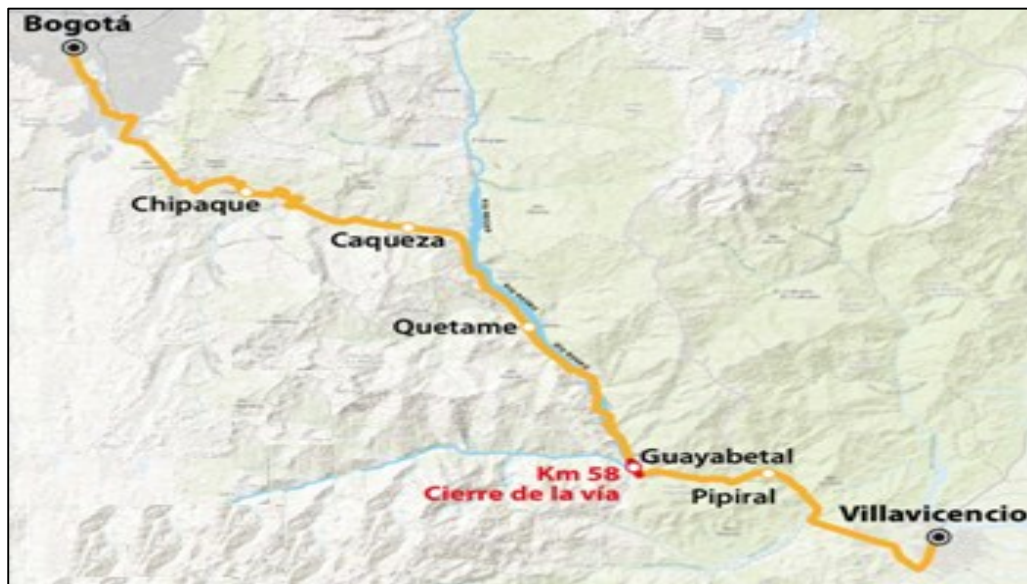
Foto Aérea derrumbe Kilómetro 58, Municipio de Guayabetal



Tomado de Revista Semana, (2019).

Figura 4

Ubicación Derrumbe kilómetro 58, Municipio de Guayabetal



Tomado de ANI, (2019).

Es por esto, que el presente documento se realizará un análisis del nivel de precipitación desde la construcción de la vía, mediante datos hidrometeorológicos obtenidos de las estaciones del IDEAM cercanas a la vía y en específico al municipio de Guayabetal.

Zona de estudio:

La aplicación de la metodología se realiza en Colombia - Cundinamarca, específicamente en la vía principal que conduce al llano que conecta la ciudad de Bogotá, capital de Colombia con la ciudad con Villavicencio y es la ruta nacional 40 de la red nacional de carreteras, a la altura del municipio de Guayabetal (ver figura 4), este cuenta con una topografía mayormente escarpada en el que fluyen los afluentes de la cuenca de los ríos Negro y Blanco, esto conlleva a un alto flujo de escorrentía superficial proveniente de las altas precipitaciones en temporada de invierno, la cual es responsable de inundaciones que afectan de forma directa la red vial terciaria del municipio. Guayabetal es un municipio del departamento de Cundinamarca (Colombia), el cual se encuentra a 65 km de Bogotá, la capital de Colombia. El municipio se encuentra ubicado sobre la cordillera oriental presentando una topografía mayormente escarpada que varía desde los 1000 m.s.n.m hasta los 3400 m.s.n.m, (Alcaldía de Guayabetal, 2019), Cuenta con los afluentes de la cuenca de los ríos Negro y Blanco. A lo largo del año la vía Bogotá-Guayabetal presenta deslizamientos y caídas de suelo y rocas producto de las altas precipitaciones en temporada de invierno, como resultado se presentan daños en la vía primaria, así como también en la red vial terciaria dentro del territorio, generando consecuencias económicas, políticas y social a la población rural de las 24 veredas de Guayabetal (ver figura 3).

Un deslizamiento ocurre por la formación de grietas en la parte superior de la montaña, o por movimientos sísmicos o por la acumulación de agua, (Highland, 2018), esto es lo que ha sucedido a 200 metros del Municipio de Guayabetal en el departamento de Cundinamarca, afectando a los

5000 habitantes que tiene el pueblo y lo que ha mantenido en alerta a los entes de control. (Gobernacion de Cundinamarca, 2019).

De igual forma los desplazamientos de tierra depende de la clase de rocas, el nivel de precipitación, terremotos y por a la intervención humana.

Colombia por sus zonas montañosas, su diversidad de suelos, su topografía y variedad de clima, convierten a Colombia en un país susceptible a este tipo de fenómenos. (Gascón, 2005).

La región andina del país, es la zona más probable a que ocurran deslizamientos en la temporada de invierno, en el año los periodos más propensos son entre los del periodo de marzo y de junio al igual que septiembre y finales de noviembre. (Gascón, 2005)

Un dato histórico referente a la vía Bogotá Villavicencio fue el que se presentó en el año de 1974 en Quebrada Blanca donde por un deslizamiento murieron cerca de 200 personas, (Gascón, 2005).

Figura 5

Victimas Alud en Quebrada blanco en 1974



Tomado de revista semana, (2019)

Este trabajo de monografía se busca evaluar la variación de la precipitación en la vía Bogotá Villavicencio, y su posible influencia en la posible afectación en la generación de derrumbes en la vía. Estos derrumbes han generado incomodidad no solo en los transportadores que usan la vía, sino en la población que se beneficia económicamente de ella.

Este documento permitirá ver con qué parámetro se deben realizar los estudios y diseños de la vía, teniendo un factor que afecta como lo es la lluvia, para esto en la monografía se consultara los lineamientos, técnicas, normas y estudios que se deben tener en cuenta para el diseño de una vía, teniendo como objeto la afectación por la precipitación.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Relacionar la afectación de la vía Bogotá Villavicencio por el incremento en la precipitación en el kilómetro 58 en el municipio de Guayabetal.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar una comparación de la variación del nivel de precipitación en los periodos históricos con los niveles actuales, y validar si estos últimos superaron los periodos de diseño posibles utilizados de la vía.
- Determinar si la afectación de la vía al llano en el Municipio de Guayabetal se debe al incremento de la precipitación.
- Construir un estado de conocimiento sobre la afectación de la vía por el aumento en la precipitación en el km 58.
- Determinar si los niveles de precipitación en el Km 58 sobrepasan el periodo de retorno con que fue diseñada la vía.

3 MARCO TEÓRICO

El clima es un factor predeterminante en las alteraciones que presenta una vía, así como hay otros factores que afectan, estos son la hidrología, la geología y geografía del terreno. Estos factores logran en su mayoría de los casos deteriorar la vía.

Las precipitaciones intensas, generadas por el fenómeno de la Niña, fenómeno Global producido por el cambio climático donde aumentan las lluvias, generan desplazamientos de grandes masas de tierra, saturación del asfalto y colapso de los desagües.

Por lo cual los parámetros de diseño teniendo en cuenta la precipitación, se toman realizando proyecciones de los últimos 10 años de la región donde se va a realizar el proyecto, los datos se obtienen de la base del IDEAM y se realizan proyecciones a 20 o 30 años, con lo cual se calcula y diseña la vía, (INVIAS, 2019).

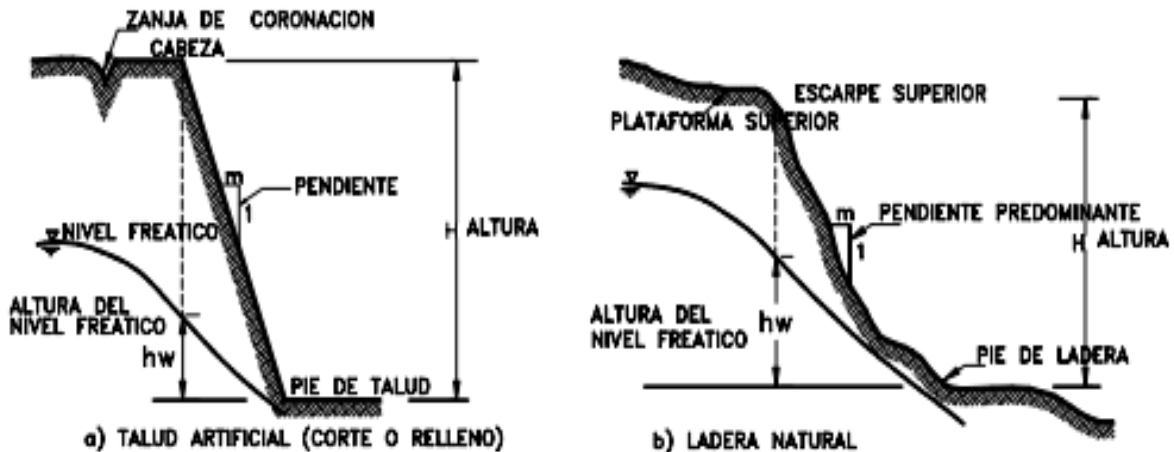
3.1 Talud

Un Talud es una masa de tierra la cual puede ser artificial o natural, además de tener una pendiente.

Los taludes que han sido estables por varios años pueden fallar en cualquier momento por cambios topográficos, sismos, agua subterránea, resistencia del suelo, que cambien su estabilidad. Hay tres clases de Taludes: los muros de contención, los terraplenes, y los muros de contención, (Suarez Diaz, 1998).

Figura 6

Talud Natural y Artificial, fuente



Tomado de Suarez (1998)

Estructura de los Taludes

- a. Altura: Se determina por la distancia entre la cabeza y el pie.
- b. Pie: Es la parte inferior del Talud.
- c. Cabeza: Es la parte superior del Talud.
- d. Altura de nivel freático: Se encuentra delimitada por la distancia desde el pie del talud al nivel freático.
- e. Pendiente: Es el nivel de inclinación del Talud.

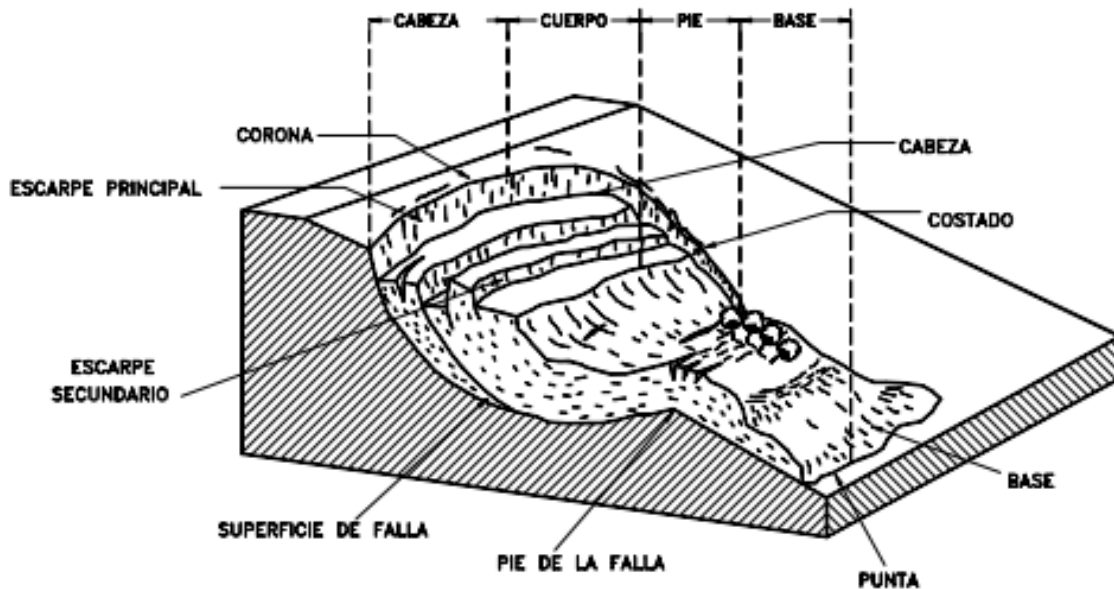
3.2 La Geotecnia en el Talud

En un Talud se puede observar procesos geotécnicos que se encuentran activos por los diferentes movimientos comprendidos hacia afuera y hacia abajo de roca, estos movimientos

ocurren por falla y por movimientos de masa, erosión y flujos. Esto significa que el Talud se mueve hacia arriba o abajo, (Suarez Diaz, 1998).

Figura 7

Movimiento de un Talud



Tomado de Suarez, (1998).

Un talud según los movimientos presentados se divide en diferentes partes, estas son:

- a. Escarpe principal: es la parte del talud más inclinada, la cual surge por el desplazamiento del material.
- b. Escarpe secundario: al igual que el escarpe principal surge por el deslizamiento de masa.
- c. Cabeza: material que se mueve por la masa en movimiento.
- d. Cima: lugar más arriba del material en movimiento y el escarpe.
- e. Corona: Se denomina a la masa no alterada por el movimiento y se encuentra en el escarpe principal.
- f. Superficie de falla: masa en movimiento debajo del área

- g. Base: área de material debajo del pie.
- h. Punta: Se denomina al punto más lejano de la cima.
- i. Costado: perfil del deslizamiento.
- j. Superficie original del terreno: superficie antes de que ocurriera el deslizamiento.

3.3 Deslizamiento por Falla

Los deslizamientos pueden ser inducidas por fallas mecánicas o geológicas.

Por lo anterior es importante realizar, el análisis geotécnico, así como un análisis topográfico y morfológico, con estos análisis se clasifican las etapas del movimiento en masa:

- a. Etapa de deterioro, el suelo no ha sido afectado de ninguna forma.
- b. Etapa de falla: Es la ocurrencia de una falla y a su vez el movimiento del material.
- c. Etapa post-falla, movimiento de la masa de inicio a fin.
- d. Etapa de posible reactivación, nuevos movimientos de masa.

3.4 Deterioro en el Talud

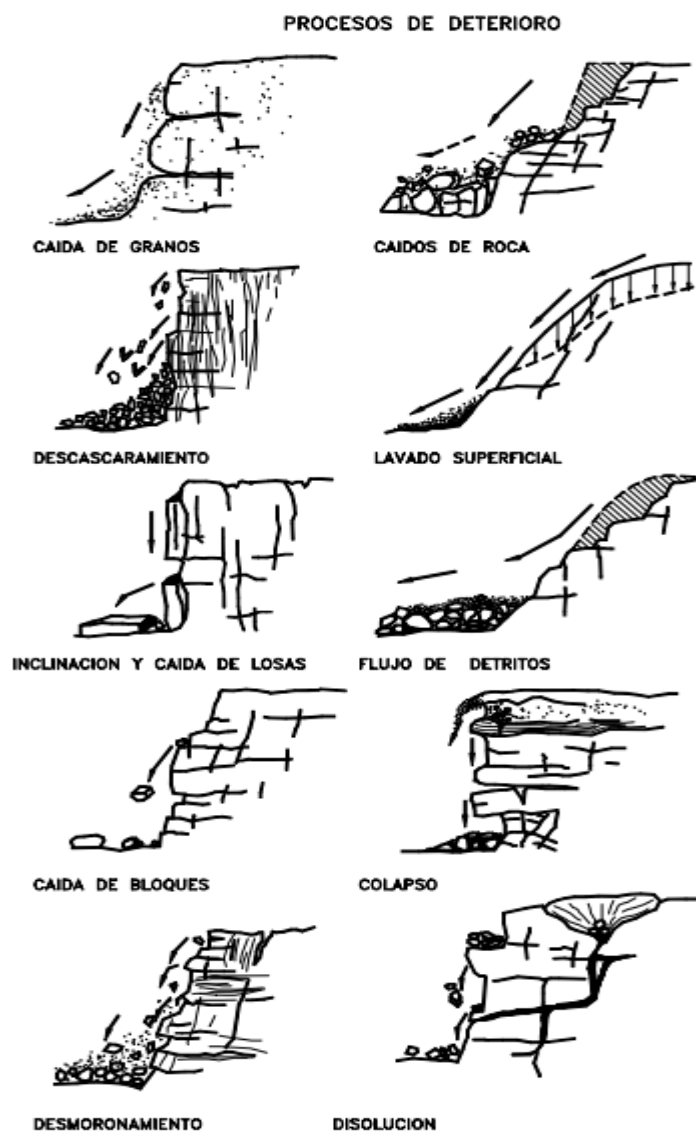
Se debe construir una obra de estabilización o realizar mantenimiento como necesidad con el paso del tiempo. Cuando se diseña no se le presta tanta atención al posible deterioro que pueda presentar el Talud, si no únicamente se pone atención en la falla que presenta el terreno, cuando un talud es modifica o intervenido por la construcción de una vía o cualquier otro tipo de obra, pierde estabilidad además de ser expuesto al medio ambiente, por lo cual se puede presentar o iniciar un deterioro en el Talud, este deterioro puede ser por factores físicos o químicos de sus materiales. Por lo cual se puede presentar alteración mineral, efecto de relajación y abrasión. Luego se

presentan fracturas que alteran la superficie del talud por lo cual inicia la caída de rocas y el colapso del talud, (Nicholson & Hencher, 1997).

clasificación de los tipos de deterioro:

Figura 8

Tipos de deterioro en Taludes



Tomado de Nicholson y Hencher (1997),

- a. Caída de granos: Es el grano que cae convertido en masa de roca. Produciendo en la roca debilidad. Por esta razón esta debilidad no es perjudicial, pero puede generar pérdida de soporte y producir un colapso. Se debe realizar limpieza de residuos en el pie del talud, también ejecutar un refuerzo donde se presente el colapso para evitar este tipo de deterioro.
- b. Descascaramiento: desprendimiento de cáscaras de material de la roca. En el pie del talud aparece un depósito de sedimentos. Para evitar esto se sugiere técnicas de bioingeniería y anclajes.
- c. Caída de losas: se puede presentar un deslizamiento, cuando hay presencia de fisuras paralelas a la superficie del talud para que se formen las placas, y luego se presenta pérdida de soporte. Los canales de drenaje son afectados y dañados por el descenso de material. Para que no se presente esta caída de rocas, se puede construir escaleras, pernos o una estructura de contención.
- d. Caídas de bloques: puede ocurrir por gravedad, lo que genera un deterioro en la estructura del talud, los bloques grandes ocasionan más daño estructural. Para evitar estas caídas de bloque se puede usar mallas de acero.
- e. Desmoronamiento del talud: es la caída de bloques de varios tamaños de forma continua, crea acumulación de detritos en el pie del talud. Como solución se puede construir gradas.
- f. Caídas de roca: es la caída de roca en un solo momento, por el debilitamiento en la roca, por la fragmentación y el no soporte lateral.
- g. Erosión: caída de masa de tamaños pequeños o rocas, esto ocurre por el movimiento del agua en canales.
- h. Flujo de detritos: Es la segregación de partículas de gran tamaño como consecuencia del agua, estos flujos mueven grandes cantidades de material. Se evidencian cambios en la topografía por los deslizamientos.

- i. Colapso: caída de grandes bloques de material por la falta de soporte vertical. El tamaño del bloque puede ser hasta de 500 mm o más, por lo cual se debe construir una estructura de retención.
- j. Disolución: la disolución de materiales en agua, produce cavidades que suelen colapsar, para evitar dicho colapso, se debe rellenar las cavidades o construir un puente.

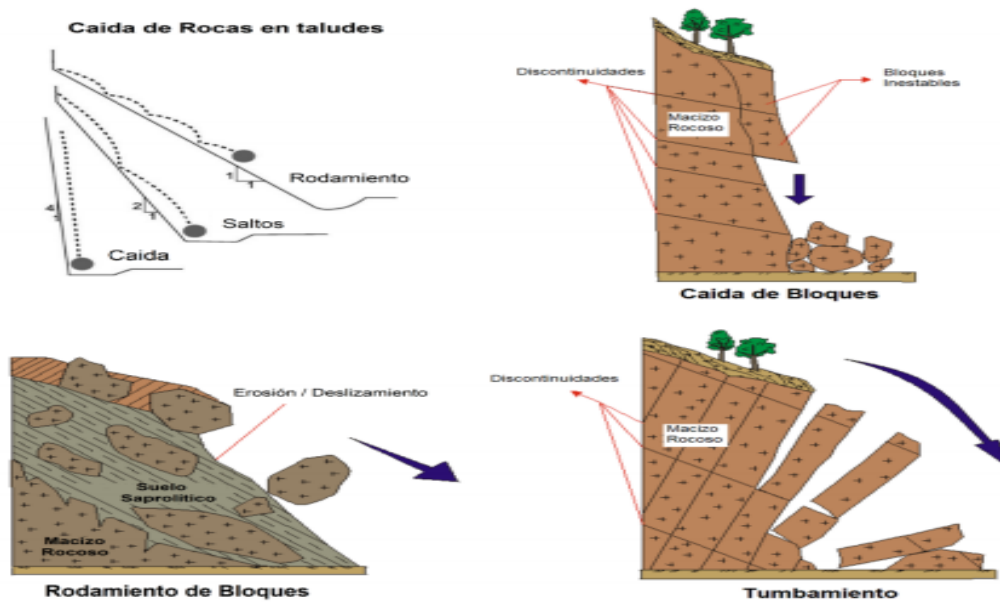
3.5 Movimiento en Masa

Hay diferentes movimientos en masa, para identificarlos y su proceso de deterioro y por movimientos de talud, se usará el sistema de (Varnes, 1978).

- a. Caído: es la caída de libre de cualquier masa de diferente tamaño en un Talud con una pendiente de más de 75 grados muy pronunciada.

Figura 9

Caída de bloques de roca por el efecto de la gravedad

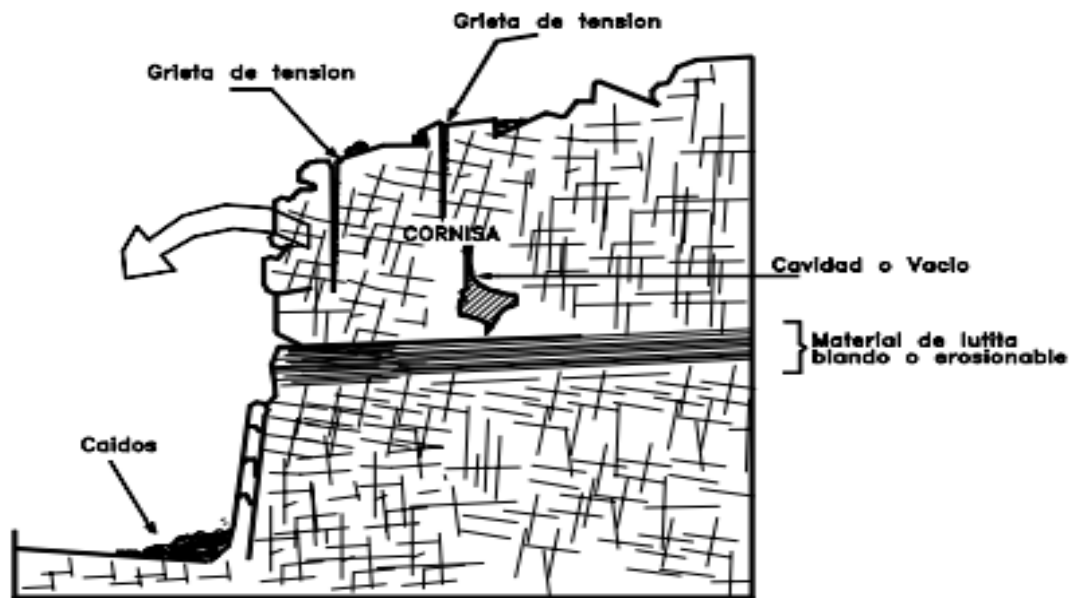


Tomado de Caballero, (2015).

- b. Inclinación o volteo: Este movimiento ocurre en formaciones rocosas y presenta una rotación de material como se observa en la (Figura 10).

Figura 10

Volteo de materiales

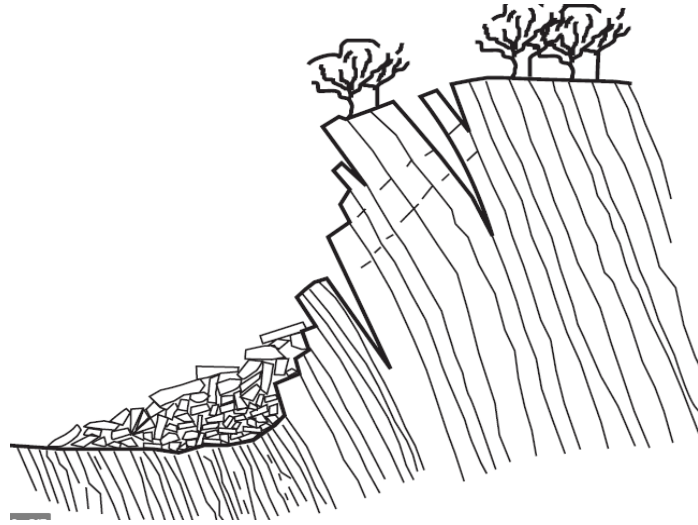


Tomado de Suarez, (1998).

Además, si las características geométricas y geológicas, la inclinación determina el derrumbe, la inclinación puede ser lenta o rápida y determina su forma, (Figura 11).

Figura 11

Inclinación de la falla

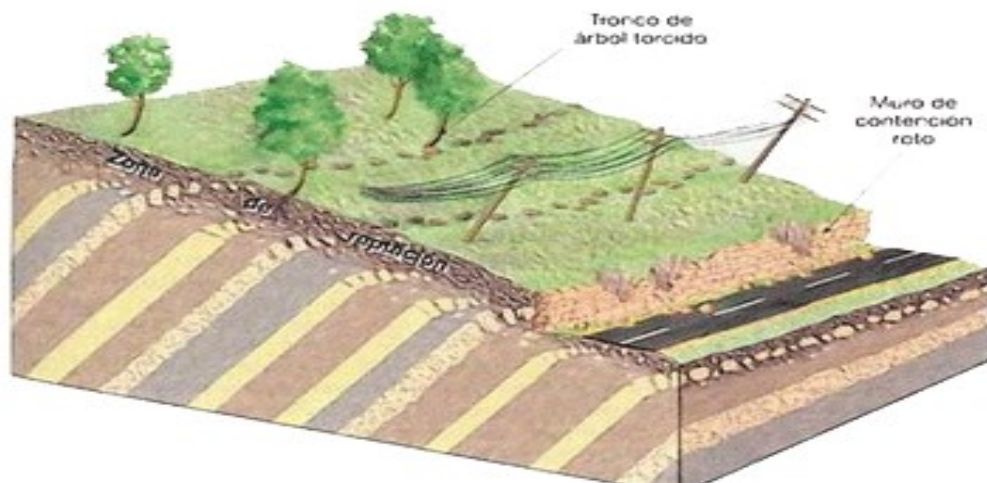


Tomado de Suarez, (1998).

- c. Reptación: es un movimiento lento del suelo superficial, se presenta por el clima con humedecimiento y secado del suelo, por lo que puede presentarse deslizamientos.

Figura 12

Proceso de Reptación

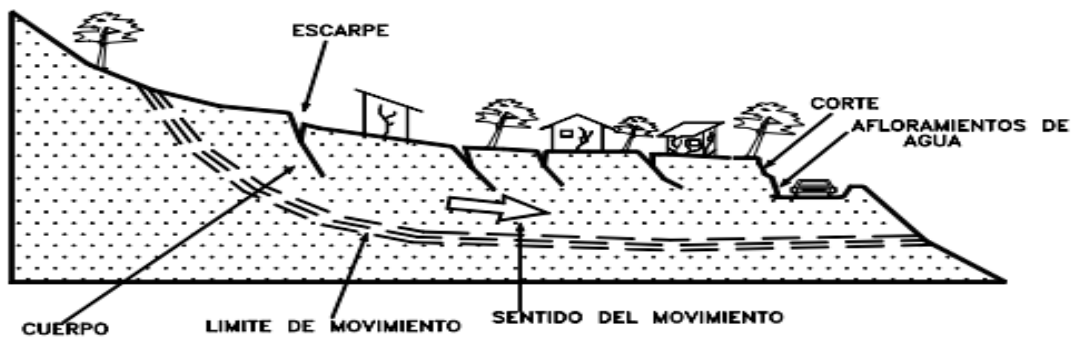


Tomado de Strahler, (1960).

- d. Deslizamiento: es el desplazamiento de varias superficies, y puede comprender el movimiento de varias unidades de masa. A esto se le denomina deslizamiento de suelos blandos.

Figura 13

Movimiento de suelos blandos



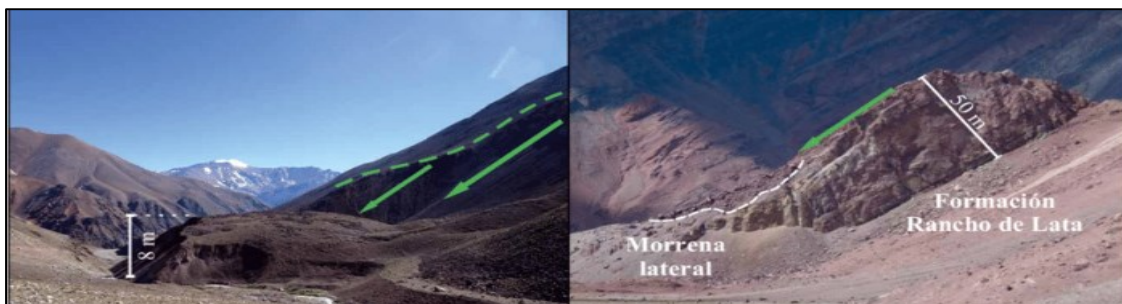
Tomado de Suarez, (1998).

Los deslizamientos pueden ser de dos tipos rotacionales y planares.

- Deslizamiento Rotacional: la falla tiene forma curva y su centro de giro está arriba de su centro de gravedad.

Figura 14

Deslizamiento rotacional

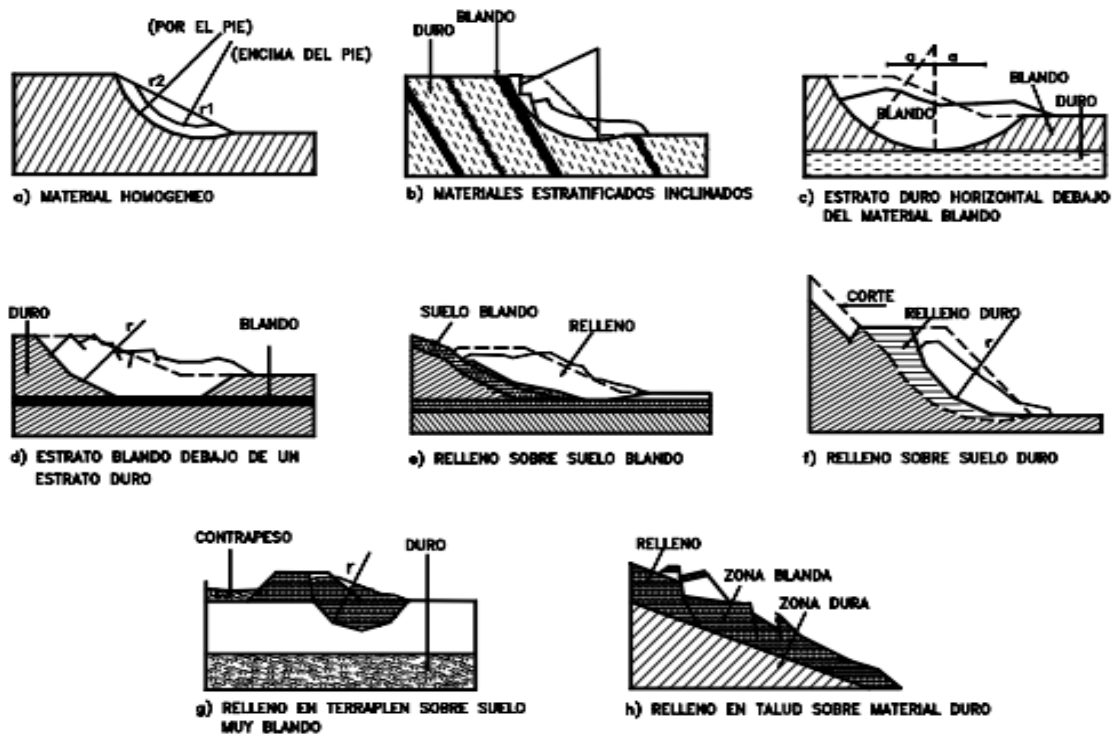


Tomado de Moreiras, (2008).

Es necesario realizar un análisis de estabilidad debido a presencia de falla y de discontinuidades.

Figura 15

Efectos por el deslizamiento a rotacional

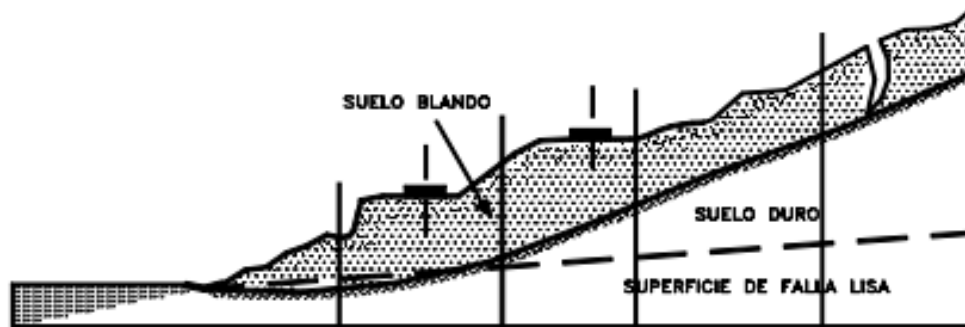


Tomado de Suarez, (1998).

- Deslizamiento de Planares: es el movimiento de masa en una superficie plana o con algunas ondulaciones, por lo cual no hay rotación.

Figura 16

Deslizamiento Planar

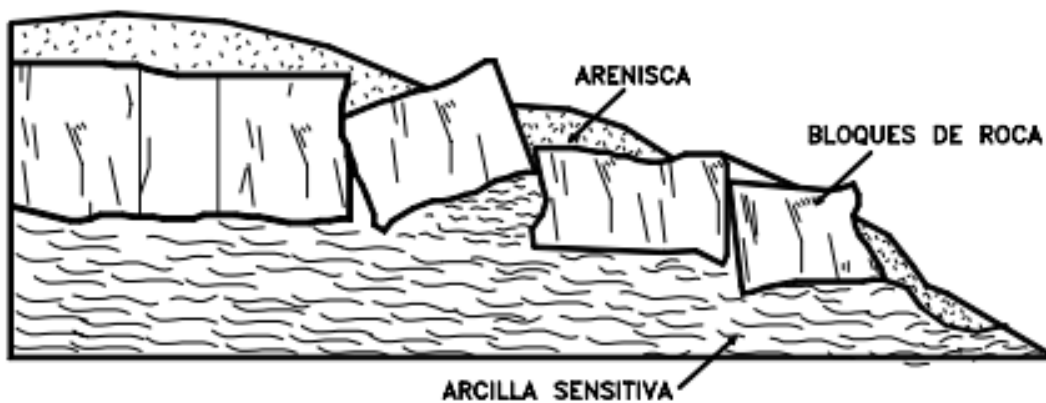


Tomado de geomorfología y procesos de gravedad, (1998).

- e. Esparcimiento lateral: en la falla no solo se presenta rotación sino también de flujo por las fracturas de corte y tensión. Los esparcimientos laterales ocurren en rocas en suelo plástico y en suelo fino.

Figura 17

Esquema de un esparcimiento lateral

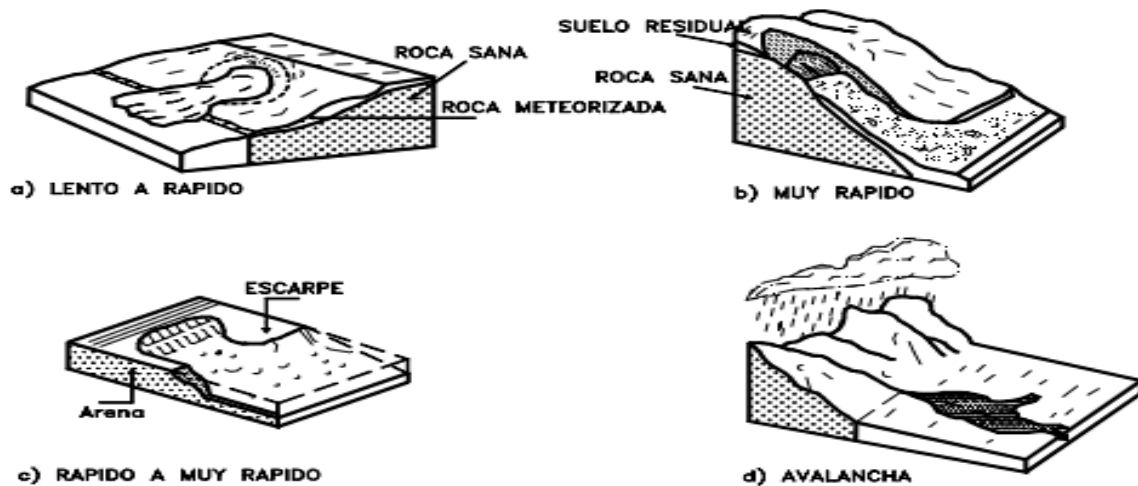


Tomado de Suarez, (1998).

- f. Flujo: hay movimientos de masa que se mueven en la superficie de la falla. Este movimiento puede ser lento o rápido, los flujos están relacionados con la saturación de los materiales de la superficie. Cuando un suelo es alterado este absorbe agua, por lo cual se fractura y se agrieta, también este flujo depende de la intensidad de la lluvia.

Figura 18

velocidades de los flujos de agua



Tomado de Suarez, (1998).

- g. Avalanchas: En una avalancha la falla es progresiva y el flujo está conformado por roca y suelo, el flujo se produce por la lluvia, deshielo de nevados y movimientos sísmicos.

Figura 19*Avalancha*

Tomado de Suarez, (1998).

Tabla 1. *Tipos de movimientos en masa*

	Frecuencia	Actividad	Forma	Velocidad	Humedad	Masa
Caído	progresivo	Estabilizado	Sucesivo	Extremadamente rápido	Muy mojado	Tierra
Inclinación	Retrogresivo	Abandonado	Compuesto	Muy rápido	Mojado	Residuos
Deslizamiento	Ampliándose	Dormido	Complejo	Rápido	Húmedo	Roca
Esparcimiento	Alargándose	Inactivo	Múltiple	Moderado	Seco	
Flujo	Moviéndose	Suspendido	Sencillo	Lento		
	Disminuyendo	Reactivo		Muy lento		
	Confinado	Activo		Extremadamente lento		

fuelle (Cruden & Varnes, 1996)

3.6 Características del Movimiento en masa

Es necesario determinar las particularidades del tipo de movimiento con respecto a frecuencia, fase de la acción, forma, rapidez, humedad, y material.

3.6.1 Tipos de material

- a. Roca, es la superficie dura y estable que se encontraba intacta en su sitio antes del comienzo del movimiento.
- b. Los “Detritos” o residuos, son las grandes cantidades de material grueso contenido en el suelo. Este si supera más del 20% del material en peso es mucho más de 2 mm se debe tener en cuenta.
- c. Se denomina tierra, a el material que genera un movimiento y este supera más del 80% de las partículas siendo en menor proporción a los 2 mm. Se tienen arenas y arcillas como materiales.

3.6.2 Humedad

- a. Seco, sin rastros de humedad visibles.
- b. Húmedo, Incluye una porción de agua y su presentación puede ser como un sólido plástico, pero nunca en estado líquido.
- c. Mojado, bastantes cantidades visibles de agua que pueden brotar del material.

3.6.3 Rapidez del deslizamiento

En la ilustración de la Tabla número 2 se evidencian las clases de deslizamientos con sus respectivas velocidades

Tabla 2. *Velocidad del Deslizamiento*

Clase	Descripción	Velocidad	Desplazamiento	Poder destructivo
1	Extremadamente lenta	$5 \cdot 10^{-7}$	16 mm/año	Imperceptibles sin instrumentos
2	Muy lenta	$5 \cdot 10^{-5}$	1,6 m/año	Algunas estructuras no son dañadas por el movimiento
3	Lenta	$5 \cdot 10^{-3}$	13 m/mes	Se pueden llevar acabo construcciones durante el movimiento
4	Moderada	$5 \cdot 10^{-1}$	1,8 m/h	algunas estructuras no sensitivas se mantienen
5	Rápida	$5 \cdot 10^1$	3 m/min	estructuras , propiedades y equipos destruidos
6	Muy Rápida	$5 \cdot 10^3$	5 m/s	pérdida de vidas
7	Extremadamente Rápido	$5 \cdot 10^5$	5 m/s	catástrofe

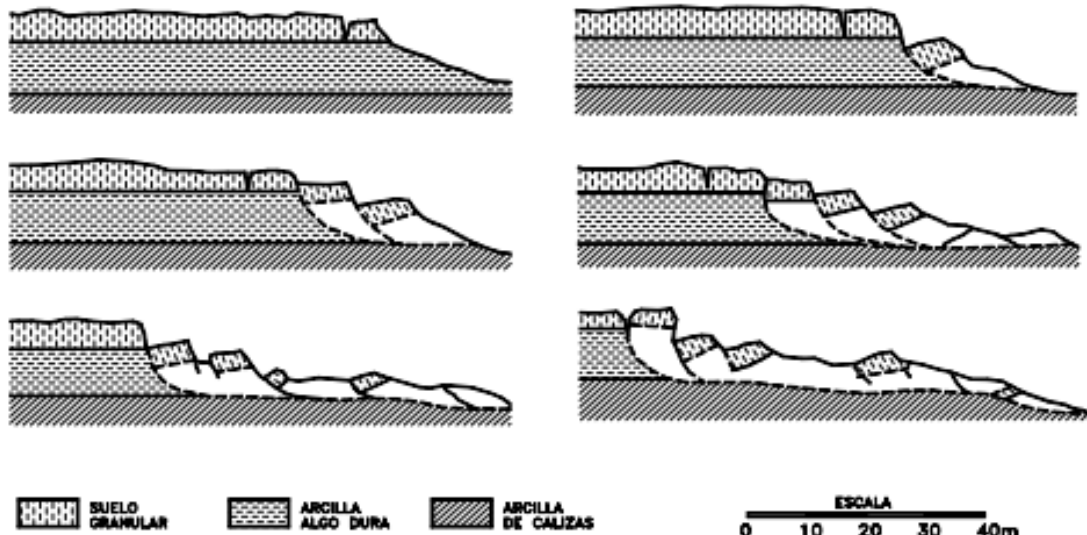
Fuente: (Cruden & Varnes, 1996)

3.6.4 Tipos de deslizamiento

- Complejo, movimiento que posee dos tipos de deslizamiento, por ejemplo, pendiente y movimiento.
- Compuesto, hay diversos tipos de deslizamiento en diversas áreas de la masa transportada.
- Múltiple, movimiento que muestra desplazamientos duplicados del mismo tipo.
- Sencillo, se define a un solo tipo de desplazamiento.

3.6.5 Estructura Geológica

La geología de un lugar del deslizamiento es principal en la grieta y la conducta del desplazamiento, esto en clima tropical de elevaciones donde la textura y estructura geológica presentan grietas en los taludes.

Figura 20*Etapas de deslizamiento*

Tomado de (Popescu, 1996).

3.7 Precipitación

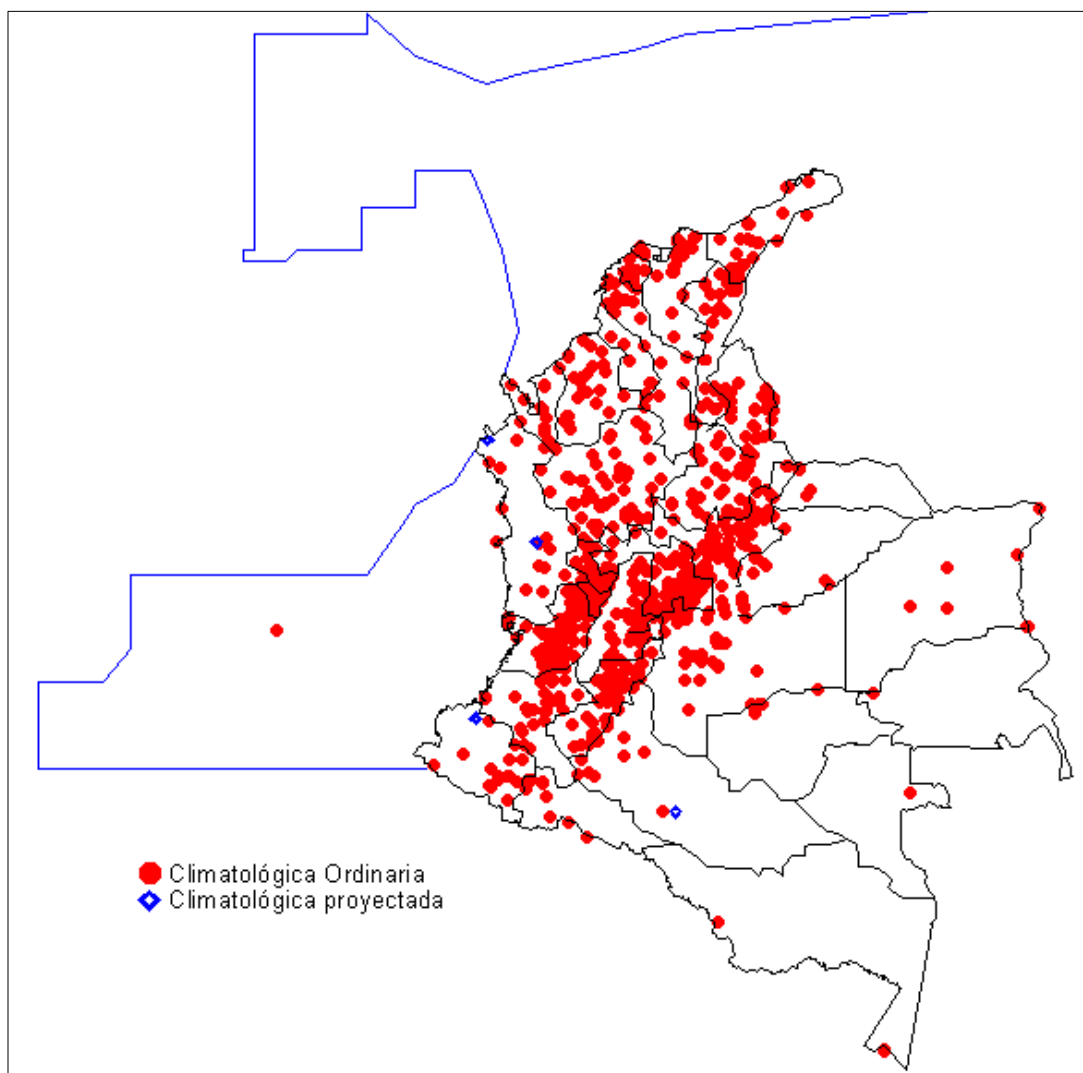
Se entiende como precipitación a las moléculas que descienden de la atmósfera a la superficie terrestre. Una de estas partículas es la lluvia, que es la totalidad de lluvia que termina en un punto, (Casas, 1977), precipitación se genera en las nubes, cuando las gotas de lluvia se saturan y aumentan su tamaño y por efecto de la gravedad se precipitan a la superficie de la tierra, en Colombia uno de los lugares más húmedos es en el municipio de Puerto López en el departamento de Cundinamarca, con una precipitación anual de 12892 mm, (Davies, 2018).

Para medir la precipitación se usa el pluviómetro y el pluviógrafo, último se usa para determinar la precipitación de corta duración y alta intensidad, estos instrumentos deben estar

donde no hayan edificaciones o árboles que produzcan interferencia, en Colombia la red pluviométrica consta de 2071 pluviómetros y 401 pluviógrafos, (IDEAM, 2019).

Figura 21

Red pluviométrica de Colombia



Tomado de IDEAM, (2019).

El IDEAM dispone de 2071 pluviómetros y 401 pluviógrafos.

Las estaciones pluviométricas que se usarán en el presente trabajo son las estaciones de Monterredondo, Susumuco y Las casas, ubicadas en la cercanía del municipio de Guayabetal.

La metodología de cálculo que se usa para determinar la precipitación, inicia con los datos obtenidos en las distintas estaciones del país, que conforman la red meteorología, para realizar el cálculo se escoge la estación adecuada para el área que se quiere analizar, dicha estación debe contar con los siguientes parámetros, tecnología de punta o de mínima aceptación, que genere datos precisos y posea datos históricos, (IDEAM, 2019).

La Precipitación influye en el agua subterránea y en la infiltración, razón por la cual altera la estabilidad del talud. En las zonas de clima tropical la precipitación promedio es mayor con relación al resto del mundo. En un país como Colombia las lluvias se asocian a agrupaciones de nubes, las cuales cubren extensos kilómetros cuadrados.

3.7.1. Lluvias máximas anuales

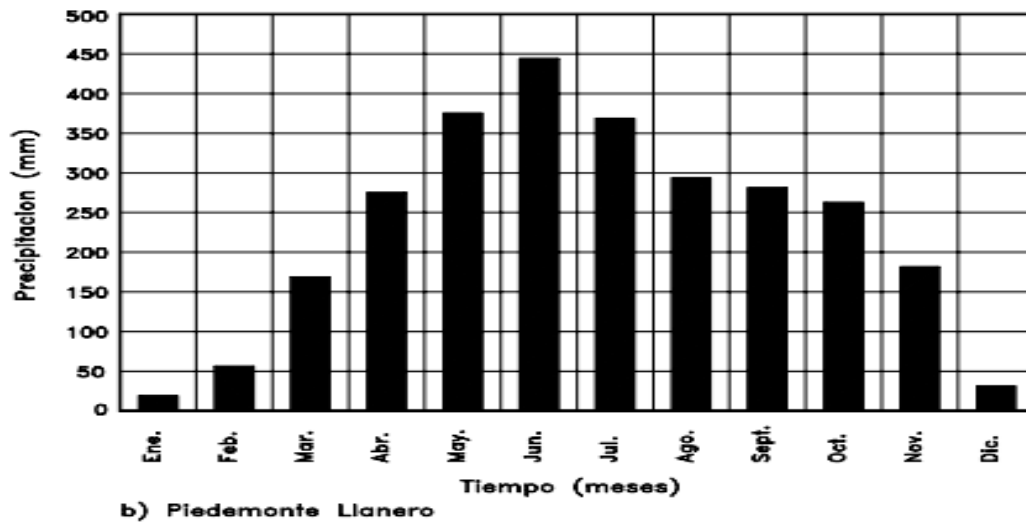
la zona con gran área de precipitación se darán problemas en la estabilidad.

3.7.2 Lluvias

Es común que en algunas regiones existen dos periodos de lluvia al año con dos periodos secos, o solo un periodo seco y uno de lluvia, si se toma como ejemplo la (Figura 22), En las regiones tropicales en diciembre y enero es temporada seca. Las regiones montañosas son más comunes que las precipitaciones afecten los Taludes.

Figura 22

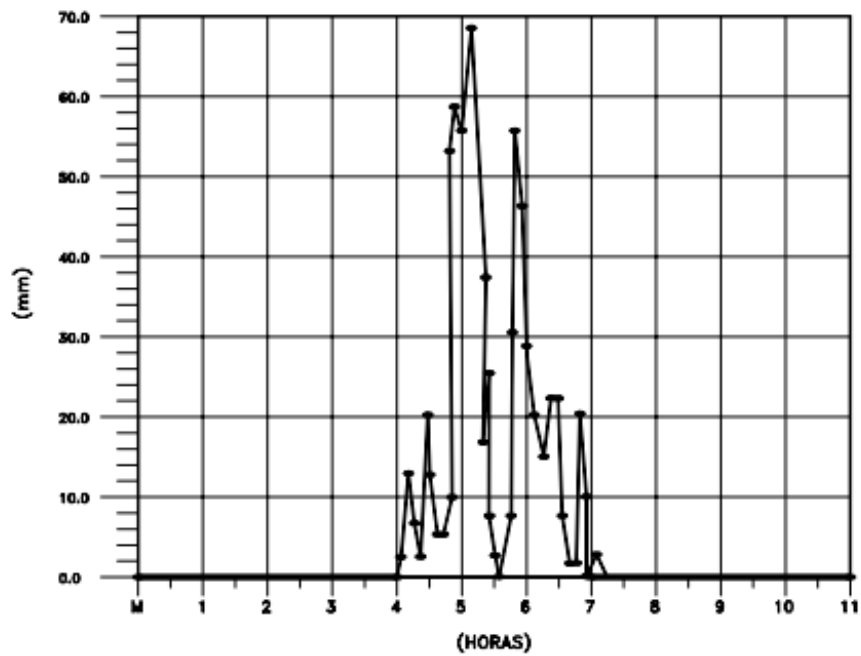
Periodo de lluvias en los andes de Colombia



Tomado de Suarez, (1998).

Figura 23

Lluvia en el Piedemonte de los andes colombianos



Tomado de Suarez, (1998).

3.7.3. Aguaceros Torrenciales

En las zonas montañosas, es normal que caiga lluvia de gran magnitud en dos horas, En la precipitación es importante la intensidad, en períodos tales como un día, mes o año. Se debe diferenciar las zonas de precipitación continua, donde el nivel freático es elevado, o también por la saturación del suelo se puede presentar la falla.

3.7.4. Lluvias Acumuladas

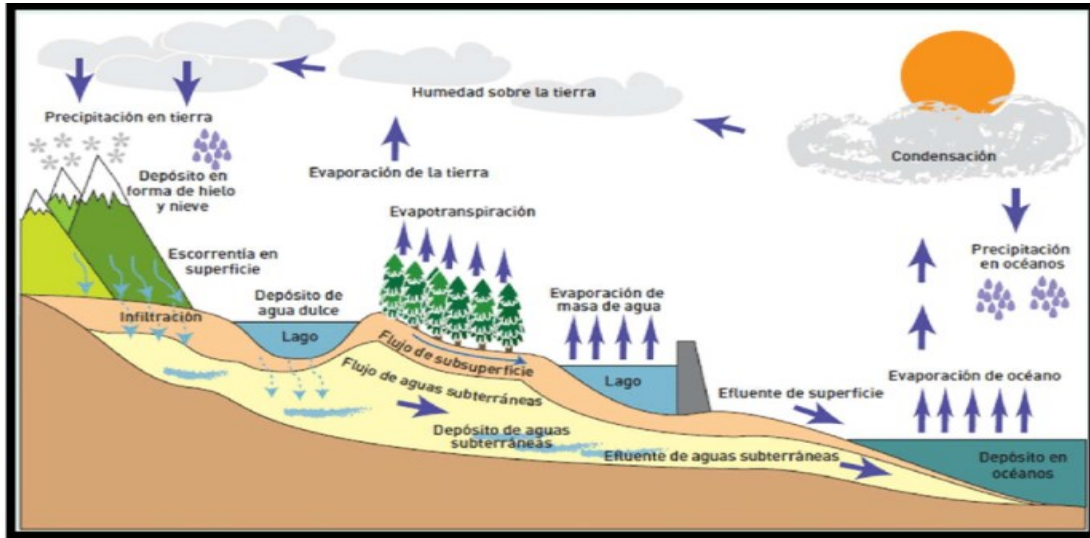
La caída de lluvias por varios días consecutivos, ocasiona aumento del agua subterránea, por lo cual la montaña no alcanza a drenar agua por una lluvia al iniciar la siguiente por lo que se presenta un aumento en el nivel freático.

3.7.5. Factores que afectan el talud de una vía

En el talud la lluvia se infiltra o se vuelve escorrentía.

La estabilidad, se debe tener en cuenta el flujo subterráneo y el cambio en la cantidad de agua ya que estos dos factores son críticos para la estabilidad del talud, debido a que estos dos factores manejan el balance hidrológico que modifica el nivel de saturación y el aumento en el nivel freático. (Aranda, 1998).

Figura 24

Ciclo hidrológico

Tomado de (Aranda, 1998).

La lluvia facilita el desprendimiento de partículas de masa ocasionando sedimentación en el talud. Para evitar este problema es necesario la construcción de drenajes. La erosión es muy común en suelos residuales, principalmente en suelos limos y arenas finas, los tipos de erosión son:

- Erosión Laminar:** este proceso inicia por la caída de la lluvia, y por la escorrentía, las gotas de lluvia pueden alcanzar velocidades de 10m/s por lo que su afectación a taludes es enorme y más si este no tiene cobertura vegetal y tiene una pendiente pronunciada.
- Erosión en surcos:** se forman por el agrupamiento del agua y arrastra partículas.
- Erosión interna:** el flujo subterráneo del agua produce erosión interna, la cual genera derrumbe y hundimiento del terreno.

3.8 Humedad Superficial

La superficie húmeda de la zona determina componentes tales como proporciones de escorrentía e impregnación y en algunos casos el proceder de los desniveles. Las superficies húmedas están vigiladas por:

- a. Topografía de los desniveles.
- b. Terreno.
- c. Propiedades del clima.
- d. Las zonas húmedas de los suelos en los planos del terreno pueden establecer resquebrajadura en suelos arcillosos y limosos más predispuestos en la transformación. En rellenos para las carreteras se presenta este fenómeno. Es por esto que las causas ambientales y físicas pueden establecer la conducta infiltración dependiendo en gran proporción de los 40 centímetros de terreno, (Bilz, 1995).

3.9 Infiltración

Es el desplazamiento de agua que inicia en la superficie del piso. La proporción se divide en una porción que logra extender el agua a la franja no saturada y otra que llena el agua subterránea del sistema saturado de la lluvia sobre el área de la tierra donde se presentan dos medios diferentes:

- a. Superficie del talud, la precipitación en particular es mayor que la que se infiltra en la tierra y se convierte en escorrentía.
- b. Infiltración controlada. La cantidad de precipitación es menor a la que se puede infiltrar.

Se establecen parámetros con el número de agua que se infiltra en la tierra:

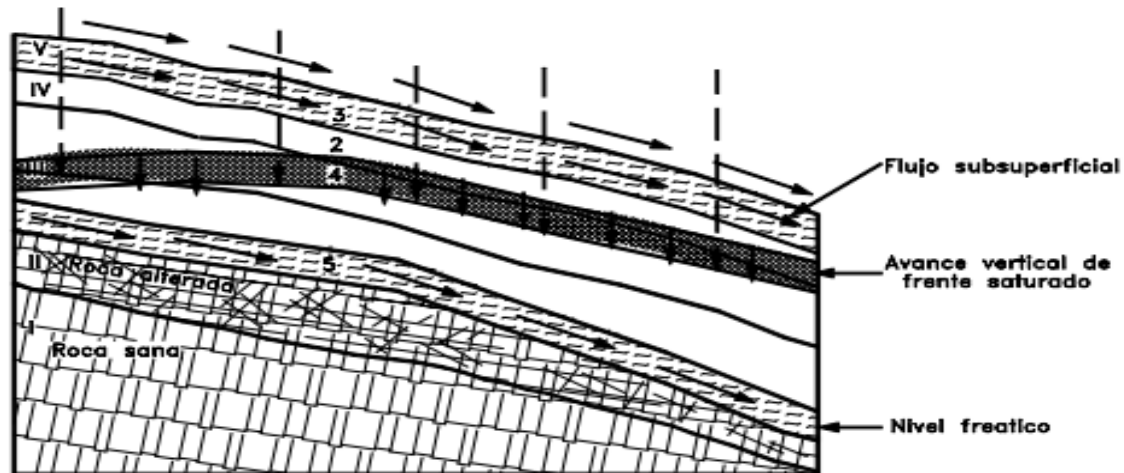
- Tipo de cantidad, precipitación e intensidad.
- Pendiente superficial. En terrenos más planos las velocidades de supuración es menor superficial a la infiltración es mayor a lo correspondiente

3.10 Flujo no Saturado

Cuando penetrar la lluvia se forma primero una parte húmeda que asciende de manera paralela a la zona del terreno, a una rapidez que tiene que ver con la permeabilidad, del nivel de saturación. El frente húmedo obtiene un área crítica en cortos periodos de tiempo, teniendo en cuenta la fracturación y nivel de meteorización.

Figura 25

Diagrama material residuales



Tomado de Suarez, (1998).

Cuando la lluvia es muy fuerte satura el talud. Al penetrar la escorrentía se genera al inicio una parte húmeda que asciende de forma vertical, logrando la succión que produce la fase de no saturación.

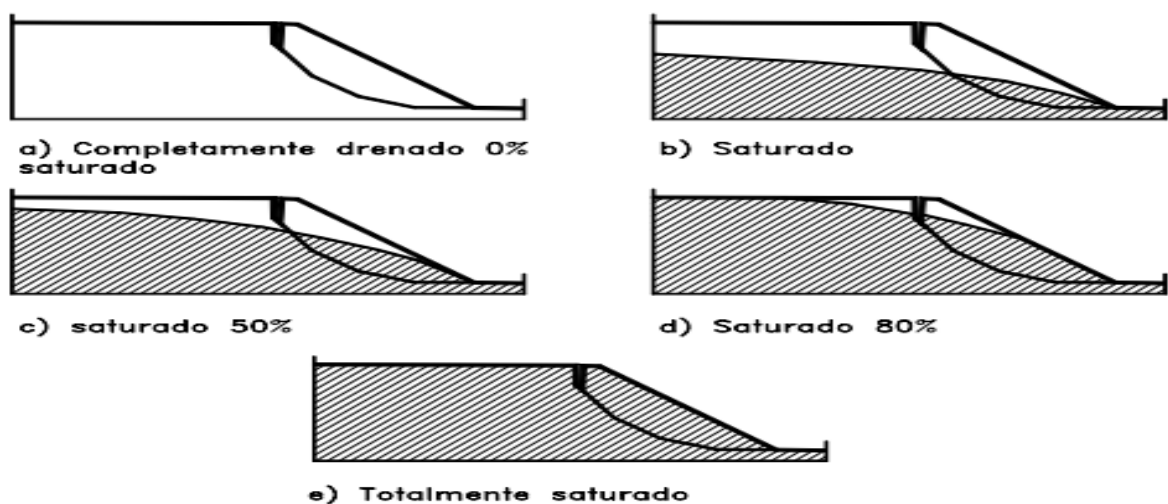
La parte húmeda baja de forma vertical con la gravedad, cuando finaliza la lluvia, hasta que localiza un manto impermeable. aumenta en el nivel freático al llegar a la parte húmeda. depende del grosor del frente húmedo y de la permeabilidad siendo en gran proporción a la humedad que se evidencia antes y después de la lluvia. Cuando hay presencia de temporada de lluvias los espesores del frente húmedo se aumentan, (Piteaw, 1975).

3.11 Nivel Freático

Esta localizado en la línea de agujeros igual a cero, donde la presión es igual a la presión atmosférica. la cantidad de agua establece la cantidad de presión hidrostática. Los desniveles normales en las pendientes, la línea generalmente es una línea paralela a la superficie. La cantidad de agua se fracciona en franjas de presión de valores positivos y negativos. Dicha presión positiva es mayor a la negativa, las cuales son menores a la atmosférica. Debajo de la línea freática el suelo se encuentra saturado, esto porque todos los poros contienen agua.

Figura 26

Niveles Freáticos



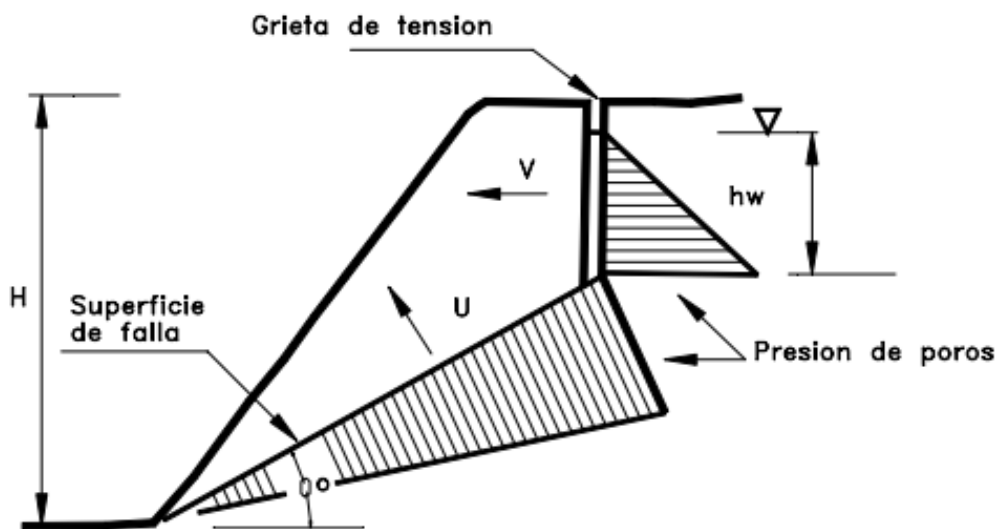
Tomado de Suarez (1998).

La elevación del nivel freático de un sitio determinado establece varios factores entre ellas las variaciones de las precipitaciones, caudales y fugas de agua. El grado de agua se observa en la base del talud. Las dificultades en el caso unos se originan son de pie, pero en el segundo caso la falla tiene la tendencia a estar en la mitad del talud.

La presencia de humedad en la cercanía de las zonas de falla, son primordiales en la permanencia y hacen complicado la creación de grietas. El nivel freático esta de la mano del nivel de la superficie, donde depende de la filtración del terreno y suministro del agua. Las lluvias aumentan el nivel del agua, así como en tiempos secos en formaciones permeables y menor proporción impermeable y hay un alto o un bajo donde la diferencia es de un metro. La línea freática puede aumentar abruptamente en el caso de presentarse lluvias intensas y descender rápidamente después de la lluvia. (Suarez Diaz, 1998).

3.12 Poros

Tensión de saturación de precipitación. La tensión en los poros interna de superficie obedece a la determinación de los grados freáticos, así como a las tensiones de acuíferos y similitudes del área. Los poros cambian con relación a transiciones de aguas subterráneas. El aumento de tensión se presenta a gran velocidad en el periodo de una lluvia, obedeciendo a la actividad de la llovizna, del área tributaria de la rata de impregnación etc.

Figura 27*Falla por la presión de Poros*

Tomado de Suarez (1998).

3.13 Flujo Saturado

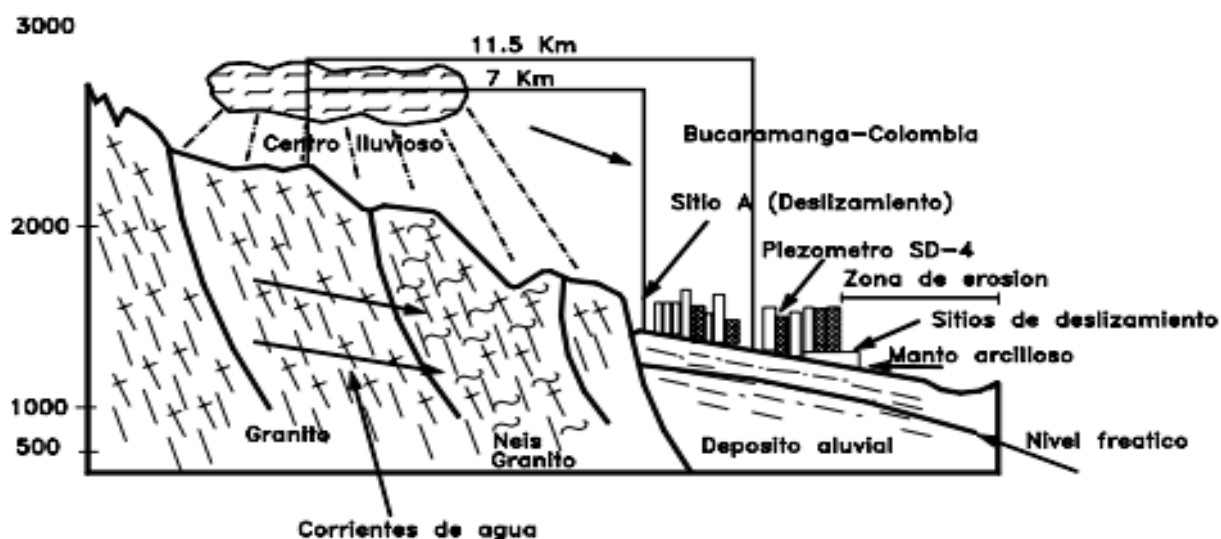
La impregnación sumada a fenómenos de envío intrínseco de líquido origina un régimen subterráneo de aguas. El transporte interno de líquido logra ejecutarse a través de una formación transparente o a través de errores o aglomeradas. La salida de líquido subterráneo es normalmente, lenta, en consecuencia, la salida turbulenta puede originarse entre conducciones interiores de mayor dimensión. La salida laminar la inclinación líquida acompañado de las partículas o muros de las hendiduras es probablemente inmóvil por la atracción de partículas moleculares. El líquido en un trayecto de los muros posee un patrón entrelazado con respecto a las similitudes de los vacíos.

Al aprender la conducta del líquido subterráneo, su acumulación y sus desplazamientos tienen un papel primordial con un orden geológico, teniendo presente las características de la zona

como las más profundas formaciones. En primera instancia, se deben considerar los ejemplos de los componentes de las superficies y rocas vigentes, la disposición de precipitaciones no consolidadas. (Aranda, 1998).

Figura 28

Modelo hidrológico de la ciudad de Bucaramanga



Tomado de Suarez (1998).

3.14 Escorrentía

La escorrentía se define como la proporción de precipitación que corre someramente sobre la zona. Cuanto más acentuada, impenetrables e insuficientes de vegetación son más cuantiosas las velocidades, entre más grande se convierte en escorrentía. Un aguacero ocasiona un mayor nivel de escorrentía, a diferencia de una pequeña lluvia ocasiona absorción completa para la superficie previo a que cause considerable escorrentía a menos que la superficie esté muy seca, se llena de manera rápida y no logra absorber más líquido. El porcentaje de escorrentía calcula el nivel total de lluvia que sale superficialmente.

Generalmente la escorrentía, se agrupa en corrientes de agua, estas forman surcos de erosión o también logran correr en dirección a los desniveles. Para medir la cantidad de escorrentía que obtiene un punto fijo, se tiene que medir el nivel de agua instalada luego de una precipitación, teniendo en cuenta la cuenca, así como las propiedades del terreno, infiltración y la superficie. (Aranda, 1998).

La Cuenca de un talud, pertenece al plano que suministra agua a un desnivel, el cual calcula el monto de agua de escorrentía que en el instante en que se presenta la lluvia logra afectar su permanencia y se relaciona con el desnivel, volumen, forma, y cobertura vegetal de la cuenca. De las propiedades de la cuenca logra la porción de agua, así como probabilidad de un grado de erosión en el desnivel. Se ha conseguido afianzar los desniveles sujetos a cambios abruptos de movimiento, al elaborar una cuneta que regule y cuente con los factores, (Highland, 2018).

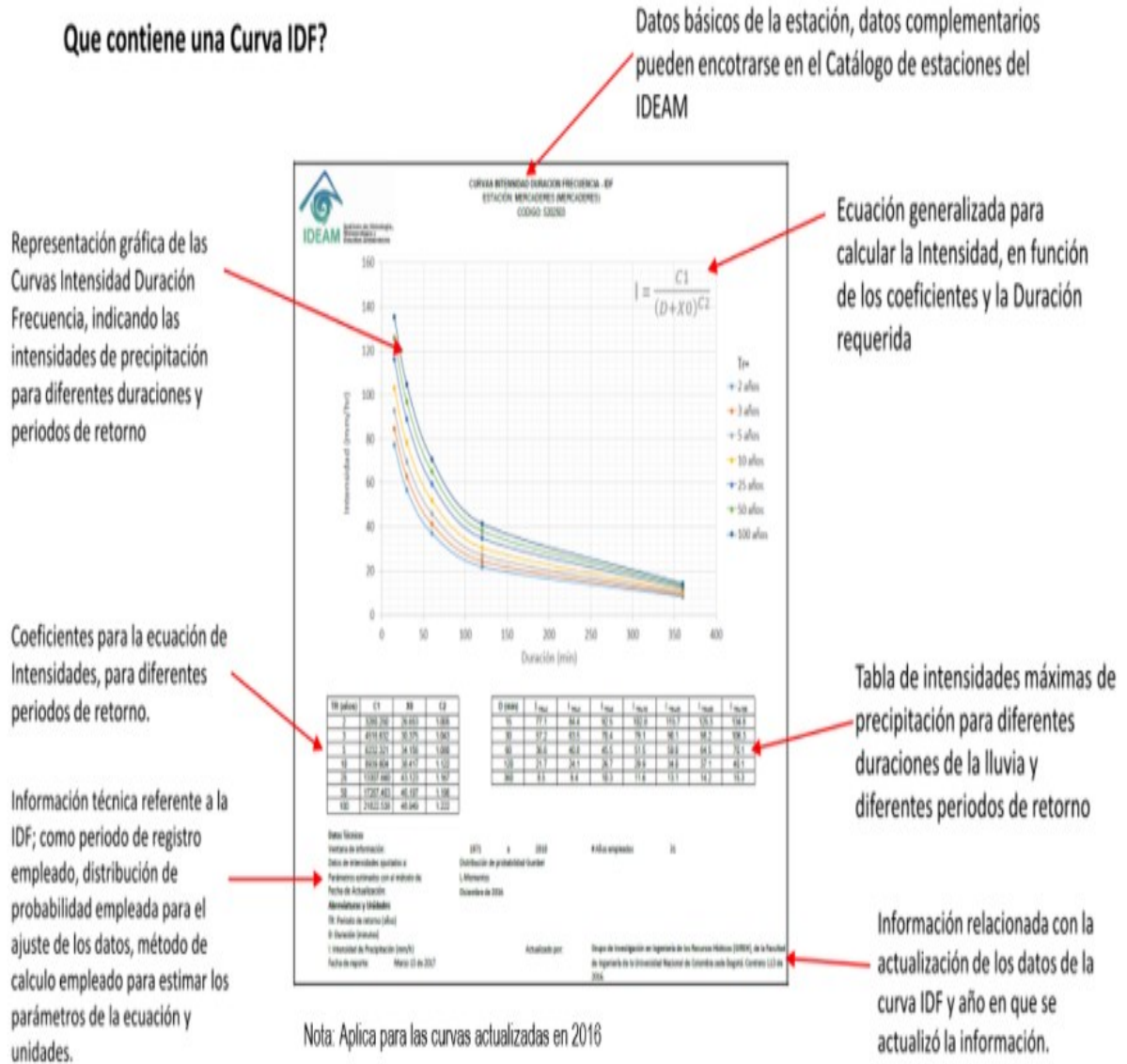
- Trayectorias extensas con las cuales el agua se agrupa estableciendo corrientes.
- Carácter influyente que cubre la vegetación.
- Calculo de cantidades de agua que se desplaza por el talud.

3.15 Curva IDF

La Curva de Intensidad, frecuencia y Duración, muestra la intensidad en milímetros, para una duración de 5 a 60 minutos, y una frecuencia en años, lo que es igual al periodo de retorno. (IDEAM, 2019).

Figura 29

Elementos de una Curva IDF



Tomado de (IDEAM, 2019).

3.15.1 La elaboración de las curvaturas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF),

Se realizan por dos métodos, el primero es intensidad y tiempo, compara las dos variables teniendo en cuenta su duración, el segundo método se basa en la persistencia, duración y el tiempo de regreso de las curvas, se utiliza la siguiente ecuación, (Aparicio, 1997).

$$I = \frac{k \cdot T^m}{(d+c)^n} \quad (1)$$

c, n, k y m son constantes, I y d se relacionan a la Precipitación.

Existen dos maneras de aplicar las curvas IDF, la primera se realiza un análisis del periodo de la lluvia, y se usa el método de Gumbel.

El segundo método, se usan ecuaciones para explicar las curvas IDF, para evadir la lectura de la lluvia de esbozo en una gráfica, (Aparicio, 1997).

$$I = \frac{c}{(T d^e + f)} \quad (2)$$

I es igual a la intensidad de lluvia, Td es igual a la duración, y e, f y c son fase de regreso de la curva.

Otro método es donde se aprecia las máximas intensidades, para diferentes tiempos de regreso y su permanencia:

$$P_{t,T} = K * P_{10,D} * C_{d,t} * C_{f,T} \quad (3)$$

Donde:

P t, T = es la lluvia con tiempo T se representa en y la duración t horas en (mm).

K = es el coeficiente para conseguir la lluvia máxima total en 24 horas con relación a k= 1,1.

P10, D = Máxima lluvia en un periodo de 10 años.

C d, t = Coeficiente para t en horas.

C f, T = Coeficiente de periodicidad para T en años.

Y por lo cual la Intensidad sería:

$$I_{t,T}\left(\frac{mm}{hr}\right) = \frac{P_{t,T}}{d} \quad (4)$$

Donde:

d= Duración en horas.

Al aplicar el método, se logra proyectar las curvas IDF en lugares donde hay solamente estaciones pluviométricas.

3.15.2 Metodología

- a. Selección de las estaciones Pluviométricas
- b. Recolección de la información
- c. Determinar Intensidades
- d. Aplicar método Gumbel
- e. Diseño Curva IDF
- f. Análisis de la curva IDF

3.16 Método de Gumbel

La distribución de Gumbel se usa para valores extremos independientes de variables meteorológicas y a los valores de precipitación en distintos periodos de tiempo, en el presente trabajo se emplea para el estudio de los períodos de retorno de las precipitaciones máximas registradas en 50 años. (Chust, 2012).

Para aplicar el método se obtiene las precipitaciones diarias máximas probables para las frecuencias, usando la ecuación (1)

$$F_{(X)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (5)$$

Para calcular las variables de la ecuación 1, se tiene en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$X = \frac{\sum x_i}{n} \quad (6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1}} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \quad (8)$$

$$u = X - 0.5772 * \alpha \quad (9)$$

Cálculo de la Intensidad, teniendo en cuenta la fórmula:

$$I = \frac{P(mm)}{t_{duracion}(hr)} \quad (10)$$

Ecuación para las curvas de Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad (11)$$

$$I = \frac{d}{t^n} \quad (12)$$

$$d = K * T^n \quad (13)$$

I es igual a la Intensidad

t es la duración

T es el periodo de retorno

K,m,n son parámetros de ajuste

4 ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Los deslizamientos por la lluvia son muy ocurrentes en todos los países, lo que es una amenaza para todo tipo de construcción. Uno de los proyectos donde se realizaron estudios sobre este tema fue el de Control de Agua de Xiajiang, en donde se realizó un monitoreo de agua subterránea, la presión y su mecanismo composición deslizamientos por lo cual se logró predecir el deslizamiento. Y los resultados del estudio mostraron que la infiltración de la lluvia indujo fluctuaciones en el agua subterránea, lo que produjo inestabilidad en la capa superficial. El agua subterránea entre la roca y el suelo determinan la estabilidad de la pendiente. Por lo cual se evidencia que la pendiente debe ser intervenida para evitar los deslizamientos de tierra. (Luoang, Gan, Zhou, & Xin, 2020).

Los deslizamientos de tierra son provocados por las intensas lluvias en las montañas. Estos deslizamientos son catastróficos para los habitantes que viven en la montaña. La tectónica y la topografía del terreno aumenta la probabilidad del deslizamiento. El estudio realizado se basa en examinar y evaluar algoritmos de vectores, es decir, el incremento y el agrupamiento para modelar los deslizamientos de tierra provocados por la lluvia en la isla de Kyushu en Japón. En el estudio se tiene un inventario de deslizamientos que tiene 265 deslizamientos. Además, se realizaron polígonos los cuales se interpretaron con fotografías aéreas. Con lo cual se realizó el modelo de predicción de deslizamientos, este modelo cuenta con 13 factores predictores y variables para determinar los deslizamientos. (Dou & Yunus, 2020).

Las advertencias de deslizamientos están dadas por un monitoreo que se realiza en tiempo real. Para estas advertencias se utiliza la precipitación de la lluvia y su duración e intensidad acumulada. Se emplea una actividad que usa las regresiones en 3D de la lluvia. En este proyecto se usó tres parámetros como variables para informar las características de lluvia las cuales generan

deslizamientos. Los resultados de la regresión se transforman en un diagrama de advertencia de lluvia las cuales emiten advertencias de deslizamientos. Para iniciar un deslizamiento se necesita una gran intensidad de lluvia en un corto tiempo y una alta lluvia acumulada confirman los informes. Con una geometría parabólica cuenta la zona de regresión en los deslizamientos. Este modelo tridimensional se aplicó en la aldea de Xiaolin en Taiwán. (Chen, 2020).

Los deslizamientos de tierra por la lluvia causan desastres en las montañas. La humedad de la tierra es importante cuando ocurre un deslizamiento, ya que actúan factores como el aumento de la presión de poro y la ausencia de resistencia. Se calcula la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento, utilizando la lluvia y la humedad del suelo en el estudio realizado. Para lo cual se usa un modelo hidrológico, denominado Systeme Hydrologique Europeen Transport (SHETRAN) en el cual se realiza una simulación de la humedad del suelo y duraciones de lluvia. Esta muestra se empleó para aclarar las probabilidades de que ocurra un deslizamiento en Kalimpong (India), ya que esta zona es susceptible a deslizamientos. (Abraham, Satyam, & Pradhan, 2020).

La infiltración de lluvia afecta la predicción y prevención de deslizamientos por la lluvia. se usó el modelo LSGA el cual se basa en la capa saturada de la superficie, y propone un coeficiente de estabilidad. La filtración afecta las características de la capa humectante, pero genera o proporciona una estabilidad en la pendiente. Los resultados del modelo LSGA demuestran que se puede predecir y prevenir los deslizamientos según los coeficientes de saturación de la superficie y de la capa humectante. (Su, 2020).

Se realiza un análisis hidrológico de las precipitaciones máximas de las estaciones meteorológicas de la ciudad de Quillabamba en el país de Perú, teniendo en cuenta parámetros como la duración, la frecuencia a la hora de generar intensidades, utilizando los datos del Servicio Nacional de Meteorología, se obtiene una investigación cuantitativa, de un análisis

hidrometeorológico, para de esta manera aplicar la teoría y procesar los datos, en este caso se usó el método de BELL, para luego realizar una comparación con el método ILLA, y validar el grado de relación que hay entre los dos métodos, al realizar la comparación se determina que el método BELL no presenta variaciones significativas en los resultados, de igual forma se calculan los factores de la ecuación de BELL representativos para las estaciones meteorológicas de la ciudad de Quillabamba, por lo cual se usaron el método de regresión lineal y no lineal para determinar dichos coeficientes, así pudiendo tener las intensidades de las precipitaciones del caso de estudio, para luego realizar la representación gráfica por medio de las curvas IDF. (Campos, 2019).

El país de Bután, es un país propenso a derrumbes en especial en temporada de invierno, una de las carreteras en donde más se presentan derrumbes, es en la carretera de Phuentsholing Thimphu, una de las vías más importantes, por lo cual se definen Umbrales de lluvia acumulada usando al información de 269 derrumbes que se presentaron entre 1998 y 2015 a lo largo de la carretera, la cual tiene una longitud de 90 km y conecta las ciudades de Phuentsholing y Chukha, además las mediciones de tres estaciones meteorológicas, para la metodología se aplica el método de frecuencia consolidado y se hace el uso de un Software que calcula las lluvias responsables de los deslizamientos y al probabilidad de la misma, con el análisis de los datos se obtienen Umbrales de derrumbes causados por la lluvia, y se realiza una predicción de posibles fallas en la zona de estudio, con la obtención de estos datos se usan posterior para la generación de alertas para prevenir accidentes a los usuarios de la vía. (Gariano, y otros, 2019).

En el Himalaya oriental se presentan deslizamientos en el 42% de del país, en especial en la ciudad de Darjeeling, estos deslizamientos son por la temporada de lluvias que se presentan en los meses de junio a octubre, para lo cual se realiza un análisis del umbral de lluvia para los deslizamientos de tierra, se tienen en cuenta 210 derrumbes ocurridos entre 2010 y 2017, por lo

cual se obtienen las intensidades de las lluvias en un periodo de duración de 24 horas, por lo cual se predice que el riesgo de algún derrumbe en la zona tenga un porcentaje alto, con lo cual se puede garantizar la seguridad de las personas que usen la carretera. (Gariano, y otros, 2019)

Se realizó un estudio de las condiciones climatológicas en las autopistas de la ciudad Beijing en China, se realizó la comparación de los modelos de tráfico Greenshields, Greenberg, Underwood y Drake, para poder establecer cuál de los modelos es el más adecuado a usar, según las condiciones de lluvia el modelo Greenshields, es el modelo que más se ajusta a la investigación, al realizar el análisis de la información se obtienen porcentajes de reducción de la capacidad de la carretera, disminución de la velocidad de los vehículos teniendo en cuenta lluvias ligeras, medianas e intensas, por lo cual se dan resultados que determinan la afectación de la lluvia en el tráfico urbano. (Zhang W. , 2019).

La afectación de la sociedad por deslizamientos en el país de Bután en tiempos de lluvia se ha ido incrementando, al igual que la afectación de las carreteras, por lo cual se desarrolla un sistema de alerta para posibles deslizamientos, este sistema se desarrolló con la parámetros de lluvia para poder estimar la probabilidad de que un deslizamiento ocurra, aunque el desarrollo del sistema está en sus inicios y a un falta por desarrollar más, es una herramienta de gran ayuda para evitar las pérdidas humanas por derrumbes, en la actualidad se usa en la ciudad de Chukha Dzongkhag al suroeste de Bután, el sistema consiste en usar la ecuación de la ley de potencia para determinar la intensidad de la lluvia, estos cálculos se obtienen de datos estadísticos de lluvia y deslizamientos entre los años 2004 y 2014, por lo cual los resultados arrojan que con una lluvia acumulada de 53mm en un periodo de duración de 24 horas, puede haber un deslizamiento, con estos datos emitir una alerta a los ciudadanos de la zona. (Gariano, y otros, 2019)

Los deslizamientos producidos por la lluvia han venido aumentando en todas las carreteras del mundo, en algunos países los gobiernos no prestan atención al cambio climático lo cual está generando dicha afectación, para esta problemática se puede usar métodos que predicen los derrumbes y así evitar inconvenientes en la vía y pérdidas humanas, para la aplicación de estos modelos y en especial el modelo RFC, en el cual se debe tener presente la pendiente, el relieve, la topografía, los ríos, la litografía y sobre todo las precipitaciones del lugar de estudio, los resultados arrojados para utilización del método son positivos por lo cual la estimación de derrumbes se hace más alta. (Hung, 2019)

La isla de Singapur no cuenta con una red meteorológica con más de 30 años de recolección de datos, por lo cual se hace uso del método MacRitchie, con el cual se realiza una proyección de la precipitación hacia el pasado, obteniendo por este método las precipitaciones desde 1839. (Institutional Knowledge at Singapore University, 2019)

Se realiza un estudio de la inestabilidad de las montañas por la influencia de la lluvia, se tuvieron en cuenta factores como el contenido volumétrico del agua, la permeabilidad y la succión del suelo. Para tal análisis se usa el software SEEP/W y el SLOPE/W, los resultados arrojan que la inestabilidad de la montaña se refleja por la pérdida de succión, por lo cual se establece que el deslizamiento se produce por la alta precipitación de lluvia, para evitar estos inconvenientes se debe usar Geosintéticos los cuales dan más estabilidad a la zona vulnerable, otorgando esfuerzo y drenaje. Y así disminuir los derrumbes que ocasionan taponamientos en las carreteras, generando afectación comercial y social. (Bhattacharjee, 2019).

Las carreteras en Marruecos en las zona más montañosas del país, se han construidos taludes y terraplenes de alto nivel, por lo que son terrenos propensos a derrumbes ocasionados por la lluvia, por el cambio climático, el alto nivel de precipitación que se genera en las carreteras , al

deteriorado poco a poco la infraestructura vial de marruecos, lo cual afecta la seguridad y durabilidad de las carreteras, por lo cual la Compañía nacional de Carreteras de Marruecos realiza un análisis de la erosión ocasionada por la lluvia, aplicándolo a la carretera Tanger- Pueto y Fez-Taza. Los resultados arrojan que las pendientes montañosas presentan erosión por la lluvia esto hace que se creen para la protección de las carreteras arcos de hormigón, con esto se mitigara los deslizamientos en las vías. (Chehlafi, 2019).

Los inconvenientes que se presentan por la lluvia, como deslizamiento, inundaciones, son afectaciones ambientales que generan pérdidas económicas, comerciales y sobretodo pérdidas humanas, por lo cual se realizó un análisis y proyección de las precipitaciones en el Reino Unido, utilizando métodos o modelos de circulación general, por lo cual el análisis hidrológico, teniendo en cuenta una proyección de 100 años y realizando la curva IDF, se puede pronosticar las precipitaciones a futuro como la variación de la temperatura. Estas pruebas se pueden aplicar en la infraestructura como lo es la red vial de reino Unido y evitar afectaciones por deslizamiento. (Dahm, 2019).

Los derrumbes ocasionados por la lluvia, se han convertido en eventos naturales críticos que afectan a la infraestructura vial de cualquier país, por lo cual se realiza un análisis de la vegetación, más específicamente en la rizosfera, la cual es la afectación del suelo directamente a causa de las plantas por sus raíces, las cuales ocasionan una conductividad hidráulica, lo cual perjudica la montaña, y si se presentan abundantes precipitaciones, la afectación es mayor. Esto es lo que está pasando en el país de Escocia, donde la rizosfera es la causante de la mayoría de deslizamientos en las carreteras de este país. Por lo cual es primordial realizar el análisis de este factor que afecta la infraestructura del país, los resultados arrojan que, a la hora de realizar el diseño de una vía, se

deben hacer estudios previos de la vegetación por donde pasará la carretera, para así prevenir gastos en el manteamiento de la vía. (Balzano, 2019).

La humedad en las carreteras es un factor determinante en el rendimiento de la carretera, por lo cual el drenaje es muy importante a la hora de diseñar una vía, recientemente se emplean geotextiles que facilitan al drenaje del agua que se muestra en el asfalto por los altos niveles de precipitación. Además, el geotextil ayuda al comportamiento mecánico de la carretera, por lo cual se realizaron estudios aplicando cargas y niveles intensos de precipitación, por lo cual se concluye que la utilización de geotextiles en carreteras con tramos de alta intensidad de lluvia, ayudan al rendimiento y la duración de la carretera. (TRID,2019).

La ciudad de Miri en Canadá, presenta un alto índice de deslizamientos, lo cual es un riesgo para los transportadores y transeúntes de las carreteras del país. Esta afectación es por la intensidad de las lluvias que se presentan en la zona, para realizar el análisis se usa el software SEEP/W, por el cual se genera un histórico patrón en cuanto a intensidad de la lluvia, y a la mínima y la máxima, generando promedios para la infiltración del agua lluvia. Por lo cual se pudieron obtener resultados donde se comprueba que la pendiente de la montaña se satura con una intensidad de 19.241mm/h durante 24 horas, a lo cual se puede predecir qué sucederá un derrumbe. (Gariano, y otros, 2019).

Se realiza un análisis de las pendientes del terreno y al intensidad de la lluvia para pavimentos permeables, para lo cual se usan tres intensidades de lluvia con diferentes pendientes, para saber la afectación en el terreno y en pavimento, se realizan análisis en diferentes pendientes donde se evidencian diferentes tasas de infiltración y así reflejando el grado de afectación en el pavimento, por lo cual se estima que la afectación que produce la pendiente transversal es mayor a la pendiente longitudinal , la relación entre el nivel de precipitación y la intensidad de infiltración se desarrolla usando un patrón potencial, donde se evidencia la relación

entre la intensidad de lluvia y al infiltración. Con dichos análisis se establece una guía o un manual de ingeniería cuando se diseña un pavimento, teniendo en cuenta la pendiente, el terreno y los niveles de precipitación. (Zhang Y. , 2019)

Se analiza el peligro que se puede desencadenar por la presencia de movimientos de taludes en las zonas montañosas donde existen vías con la finalidad de ser utilizada de forma ágil para estimaciones preliminares y a manera preventiva. Este método tiene dos ítems, el primero analiza la amenaza construyendo estadísticas entre la precipitación y la posible ocurrencia de movimientos que generen inestabilidad para determinar umbrales de falla que logren identificar, la dimensión y permanencia de las lluvias que puedan generar deslizamientos. El segundo ítem analiza el decaimiento de la calificación de propiedades relacionadas con la exposición que pueden presentar las personas y los autos de igual manera proporcionan datos descriptivos de fatalidades en las carreteras. Se emplea un cómputo del riesgo, así como el resultado de la falla y el nivel de riesgo estimado que se promedia mediante el resultado de los atributos. Luego de obtener los dos ítems anteriores se proporciona la evaluación final del riesgo definiendo los lugares donde es indispensable aplicar estudios más concretos y acciones de mejora que sean necesarios para subvalorar el riesgo. (Hidalgo, 2008).

Sin lugar a dudas el agua de las lluvias es un vehículo que acelera la afectación del asfalto, siendo notorio en las primeras capas de la superficie. Aunque es importante determinar que el mayor derivado en la destrucción del suelo se evidencia con una combinación entre el peso del tráfico debido a que cae agua en la grieta, aberturas y hendiduras en el suelo secuela por la presión en las llantas, provoca directamente una fuerza constante que progresivamente atrofia el suelo asfáltico. Es de igual relevancia que los otros agentes químicos llegan gradualmente a cambiar las características y la durabilidad de los suelos asfálticos, este es el pilar para el uso y progreso de los

diferentes comportamientos del asfalto con respecto aditivos para el suelo. Debido a que hay químicos, además la lluvia se filtra en el suelo, la incidencia de las fuerzas externas vehiculares acelerando el deterioro y causando daños estructurales. (Gamboa, 2017)

Es importante tener en cuenta que el daño que produce la saturación ha sido una de las principales causas que dañan la durabilidad de las mezclas asfálticas. El deterioro prematuro de las mezclas es un serio y difícil problema que tiene un impacto importante en la economía. Por lo anterior es importante conocer a ciencia cierta el efecto en las mezclas asfálticas, en el momento de hacer proyecciones y diseños de los suelos asfálticos para que de esta manera sean duraderos. Por lo anterior es importante investigar y analizar la adherencia entre el árido y el ligante, que determinará la acción del agua entre el árido. Es importante tener en cuenta el perjuicio que es generado por la humedad y la mezcla de cohesivo y/o adhesivo, que son directamente generados por la introducción de agua, en su estado líquido o gaseoso. Hay varios elementos que influyen en el deterioro por humedad, estos se dividen en elementos internos y elementos externos. (López, Miro, 2017)

El cambio climático extremo se ha evidenciado en el aumento significativo de las temperaturas y el aumento del nivel del mar, estos combinados han generado la modificación de las actuales condiciones climáticas, ocasionando el incremento de los diversos fenómenos que se presentan en el clima. Las vías han sido impactadas directamente por la influencia de los diferentes fenómenos climáticos extremos, evidenciados en: sequías, lluvias constantes, inundaciones, olas de calor entre otras repercutiendo elocuentemente en el deterioro de los suelos de las diferentes vías. Por lo anterior es importante optimizar la inversión en el mantenimiento y cuidado de los suelos, para ello es importante analizar e identificar las diferentes variables climáticas que producen

un deterioro gradual de los suelos y de esta manera aportar a la obtención de parámetros en la mejoría de los suelos. (Mendoza, Marcos, 2017).

Se realiza un análisis para para adquirir las curvas de vulnerabilidad económica por la presencia de la lluvia en las vías y de forma particular en el caso evidente de la vía Bogotá – Villavicencio. Las pérdidas y el precio de construcción que causa las lluvias en las vías específicamente en las curvas está presente. Las curvas son una herramienta primordial para la infraestructura vial, permitiendo obtener una imagen clara de la obtención de recursos que debe poseer una vía para mejorar el tránsito vehicular, así como equiparar los daños presentados en diferentes tramos de la vía donde se han evidenciado fuertes problemas, así como donde se necesita una mayor atención prioritaria mediata. El método aplicado fue desarrollado en la vía Bogotá – Villavicencio, siendo esta una de las principales carreteras de Colombia debido al tránsito y transporte de los productos agroindustriales y manufacturados a los Llanos Orientales. (Prieto, Ramos y Villadiego, 2006)

5 PASO A PASO PARA LA EJECUCIÓN EL DOCUMENTO

Para el proceso de este documento se realizó consulta bibliográfica a distintos entes de control relacionados con el tema como el Instituto Nacional de Vías, la Agencia Nacional de Infraestructura, Instituto Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales, El Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente y la Gobernación de Cundinamarca, entes de los cuales se obtuvo información relevante al tema de estudio.

De estas entidades se tomaron artículos y estudios respecto al derrumbe en el kilómetro 58 vía al llano en el municipio de Guayabetal, pero no se encontró información concluyente con el factor definitivo que cause la problemática de estudio.

Además, se usaron herramientas tecnológicas que brinda la universidad para la obtención de información, donde se pudieron conseguir artículos en inglés y español, en los cuales se observaron la misma problemática de estudio, pero en diferentes países.

También se realizó una visita al punto de estudio al igual que un registro fotográfico de la zona.

Con base en la problemática presentada se elabora un informe de investigación tipo descriptivo, por lo cual se realiza las siguientes actividades:

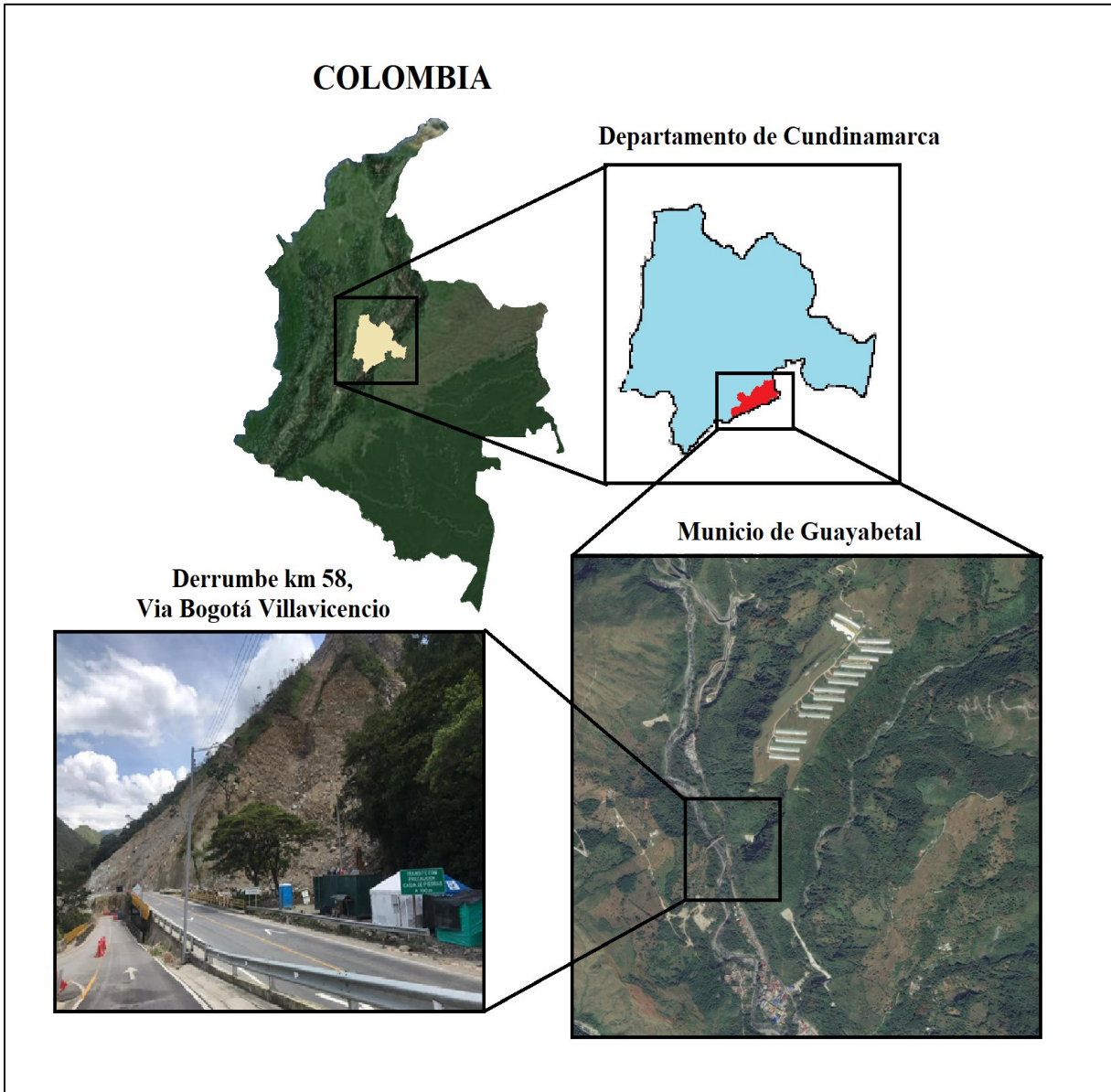
- a. Recolectar información de fuentes confiables como de Scopus y buscador de google académico.
- b. Realizar un análisis de las publicaciones encontradas.
- c. Seleccionar las publicaciones que aporten al documento con el tema establecido.
- d. Organizar ideas para enriquecer el documento con detalle y objetividad.
- e. Obtención datos estadísticos pluviométricos de las estaciones aledañas al sitio de estudio.
- f. Generar de un análisis hidrológico del punto de estudio.
- g. Elaborar el documento con la información recolectada para su disposición final a quien interese.

6 CASO DE ESTUDIO

La información consignada en el trabajo, será aplicada en el caso de estudio para dar respuesta a la problemática planteada, si el cambio en la precipitación afecta la vía Bogotá Villavicencio en el kilómetro 58.

6.1 Localización

Kilómetro 58, vía Bogotá Villavicencio, municipio de Guayabetal, departamento de Cundinamarca, Colombia, (ver figura 30).

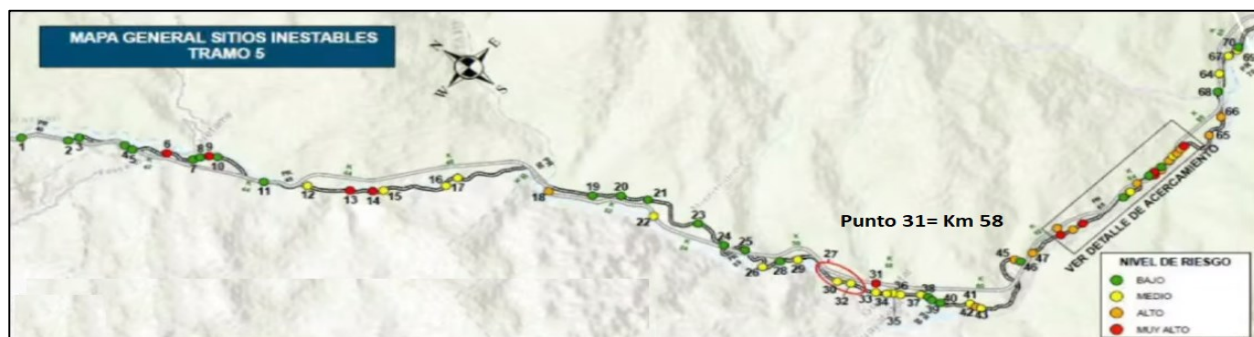
Figura 30*Km 58 Vía Bogotá Villavicencio, Municipio de Guayabetal*

Tomado de: elaboración propia

En la figura 31 se muestra la vía Bogotá Villavicencio con sus diferentes puntos inestables, para el caso de estudio el punto 31 el cual es el Km 58.

Figura 31

Ubicación Km 58 vía Bogotá Villavicencio



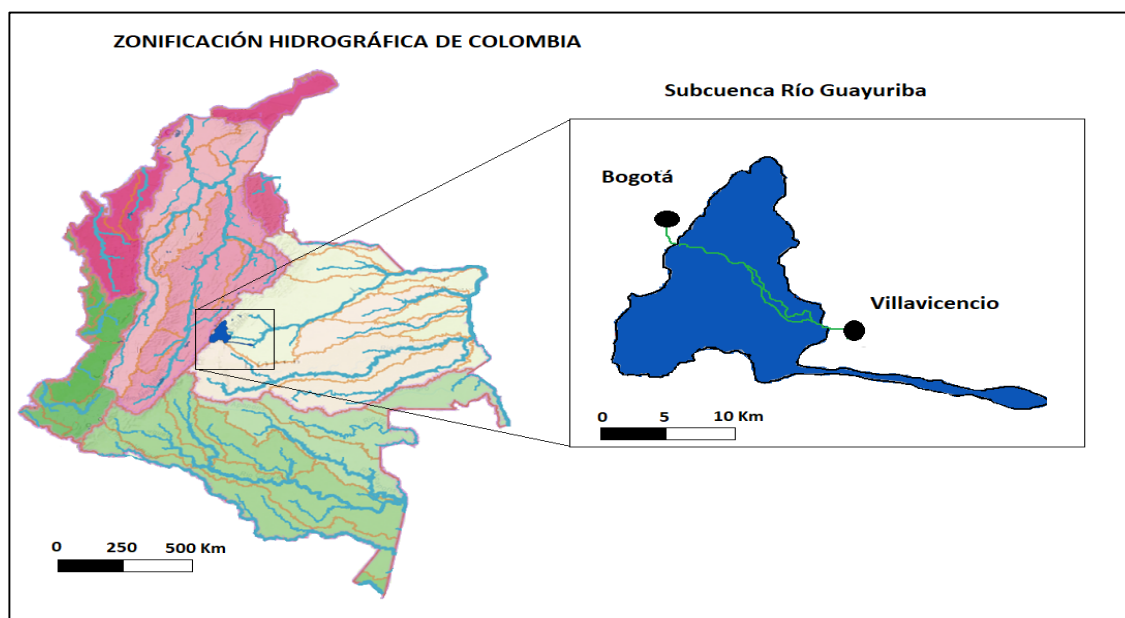
Tomado de Coviandes,

6.1.1 Subcuenca Río Guayuriba

La vía Bogotá Villavicencio se encuentra en la Sub cuenca del Río Guayuriba, como se observa en la figura 32.

Figura 32

Sub cuenca Río Guayuriba



Tomado de: elaboración propia

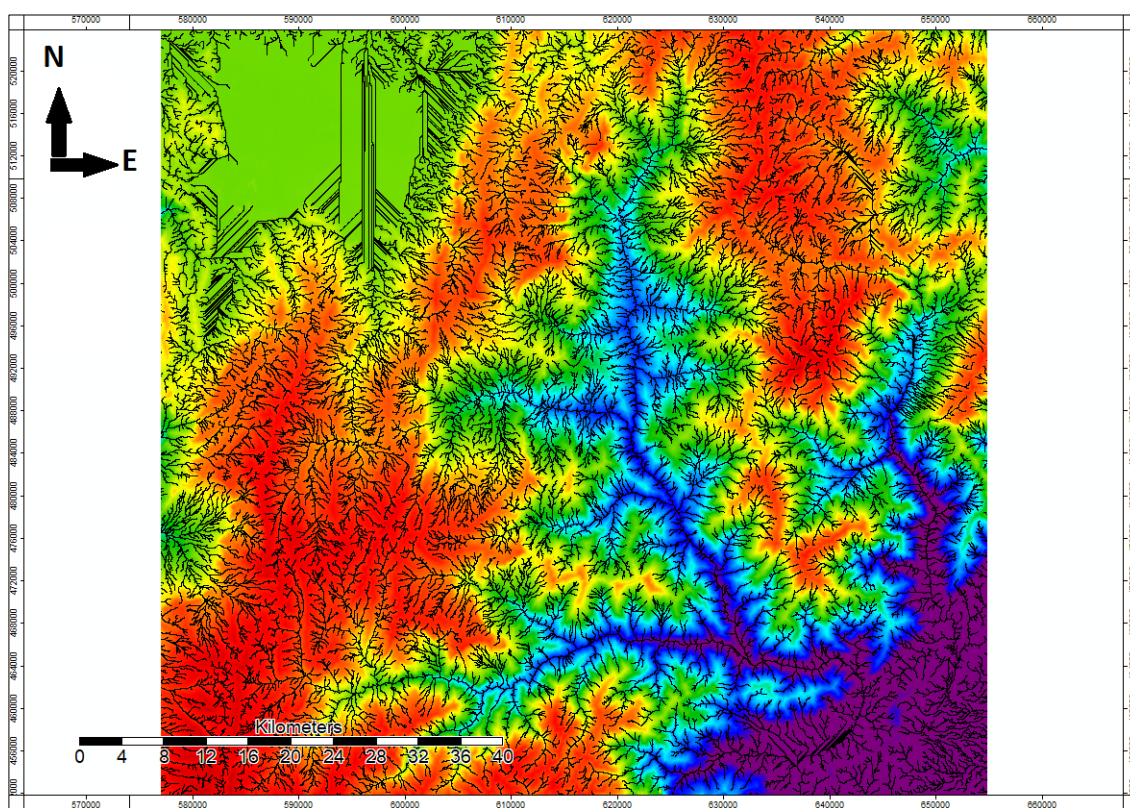
6.1.2 Red de drenaje Subcuenca Río Guayuriba

Se realiza por medio del software Qgis la representación gráfica de la red de drenaje de la Subcuenca Guayuriba, para saber si hay flujos a las laderas canalizadas en la zona de estudio, como se muestra en las figuras 33, 35 y 36.

En la figura 34 se muestra el TWI, para identificar las zonas de mayor concentración de agua.

Figura 33

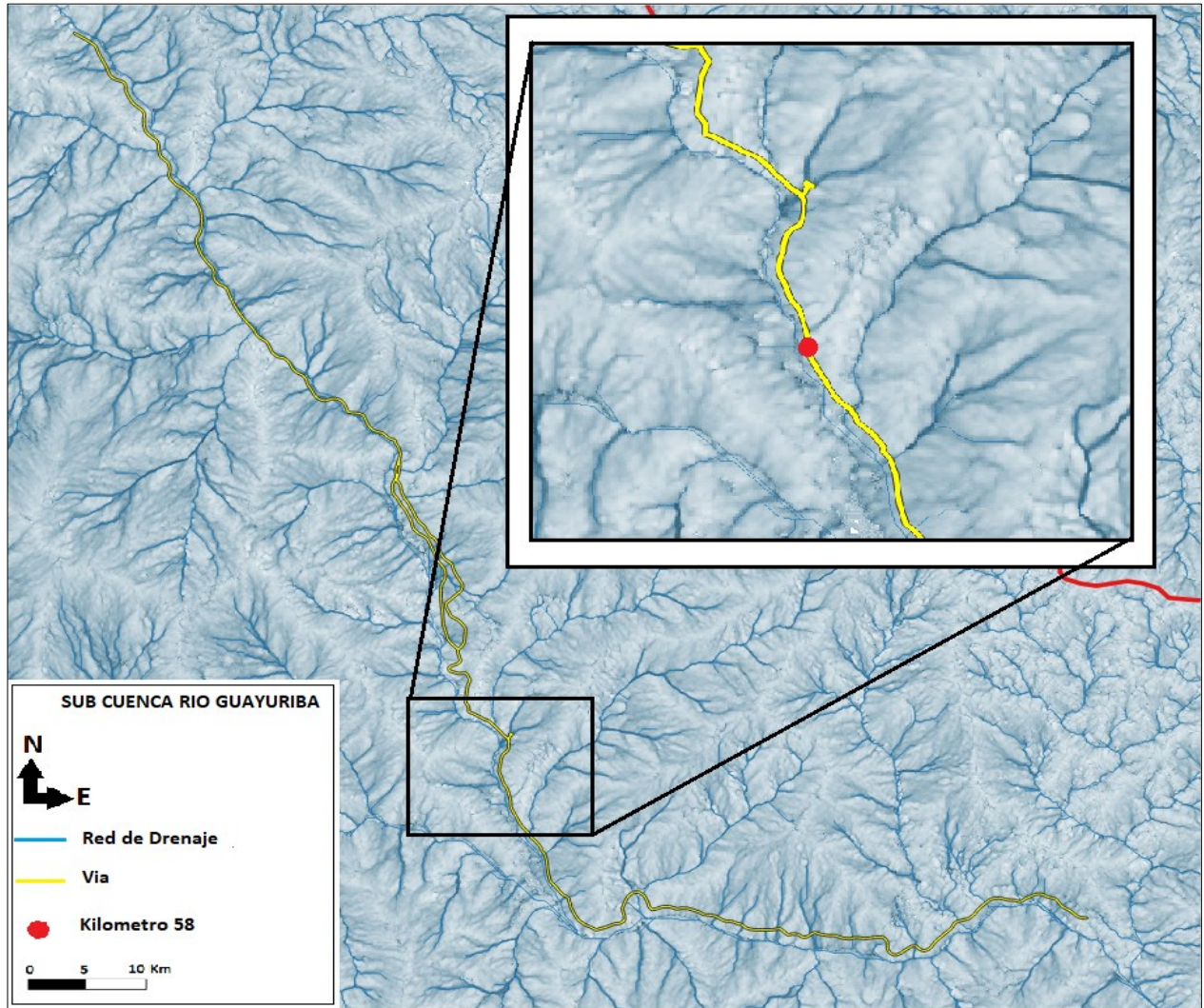
Análisis Hidrológico Sub cuenca Río Guayuriba



Tomado de: elaboración propia

Figura 34

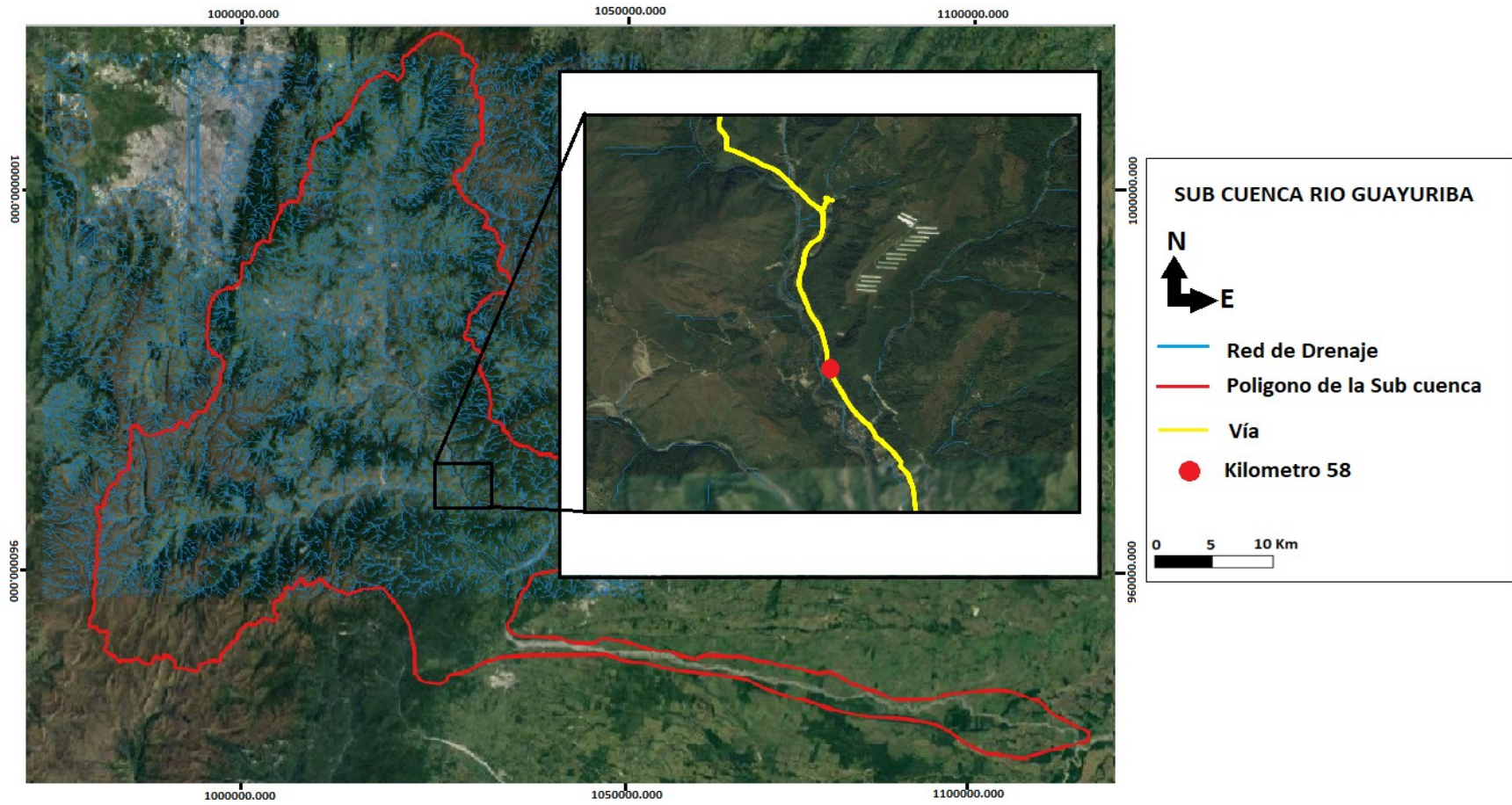
Índice Topográfico de Humedad del Km 58



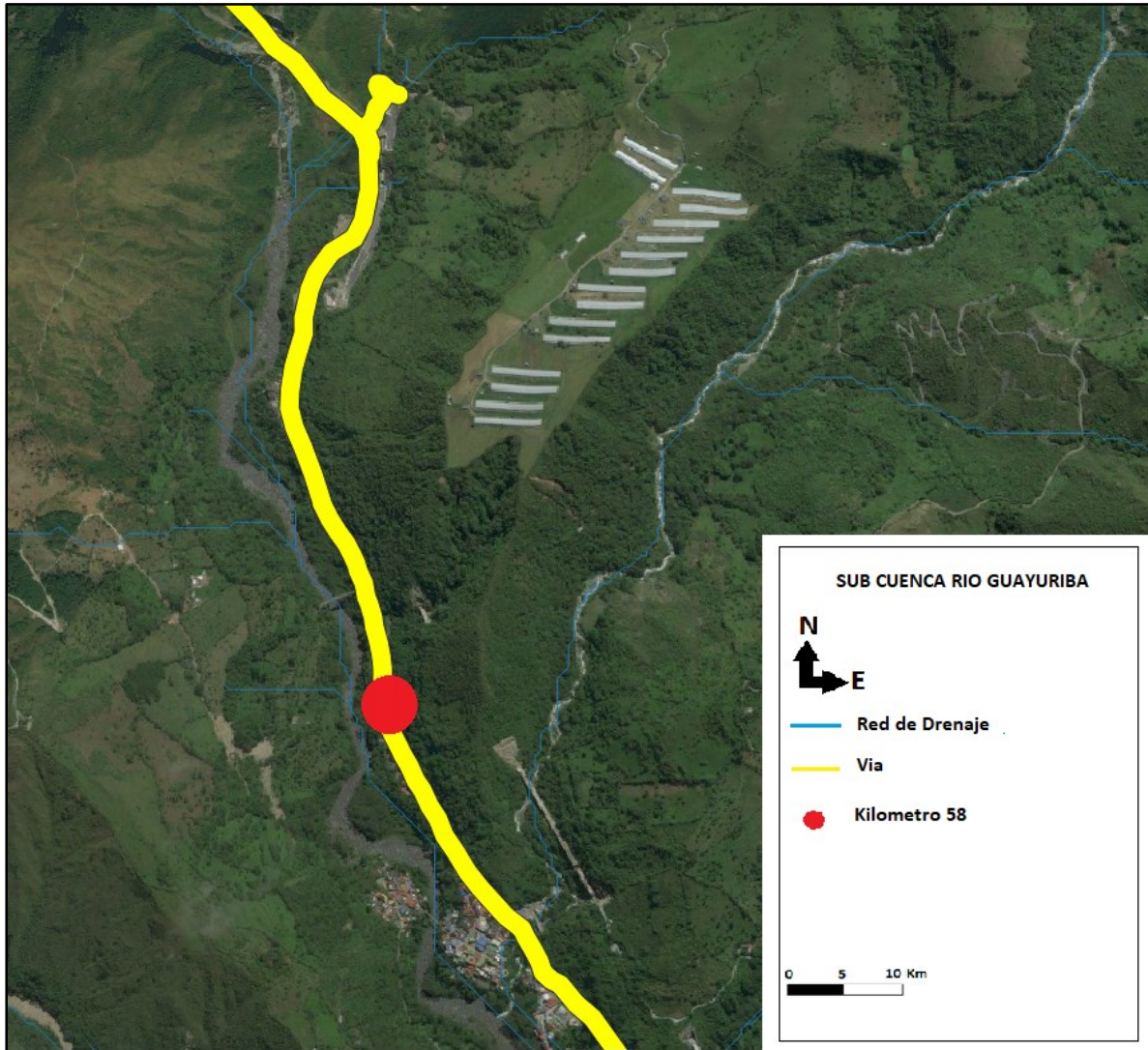
Tomado de: elaboración propia

Figura 35

Red de drenaje Subcuenca Río Guayuriba



Tomado de: elaboración propia

Figura 36*Red de drenaje Km 58*

Tomado de: elaboración propia.

6.2 Objetivo del caso de estudio

Realizar un análisis hidrológico con los datos estadísticos obtenidos de las estaciones pluviométricas de Monterredondo y Susumouco.

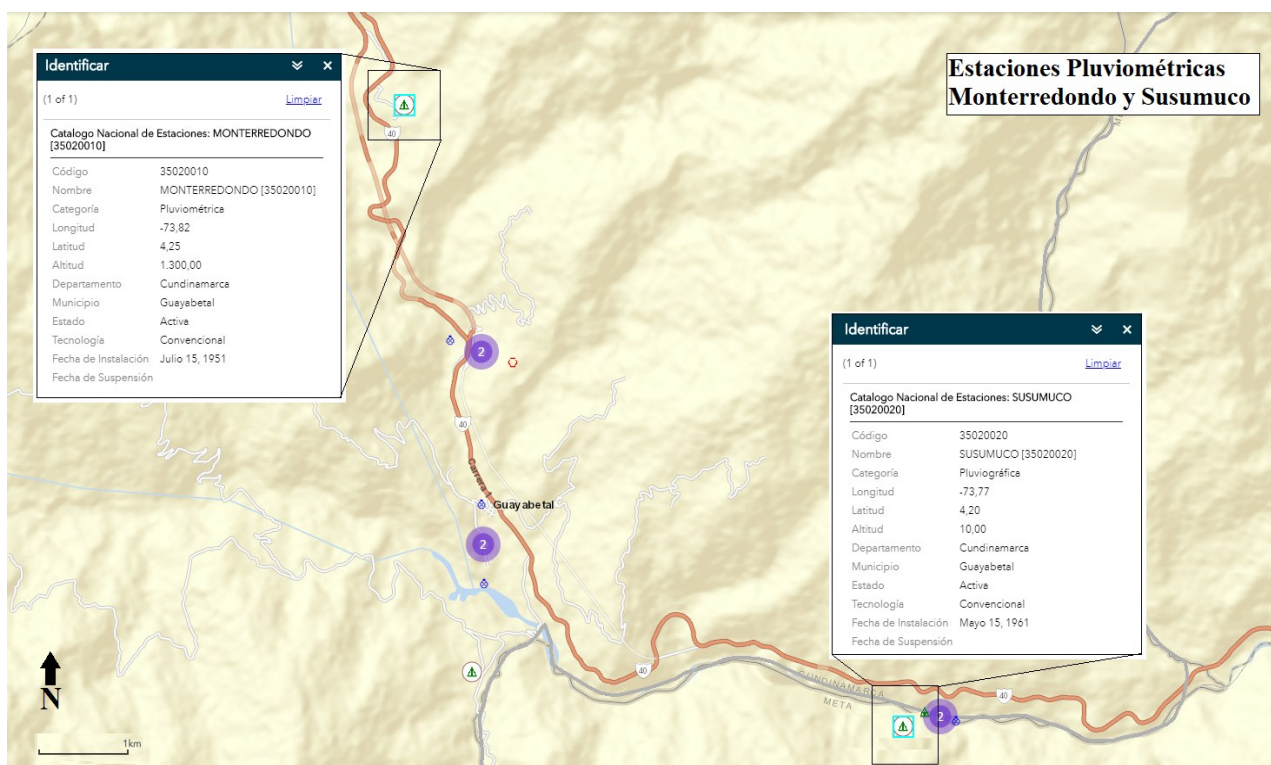
6.3 Datos del IDEAM

Se tomaron los datos de Datos de precipitación acumulada anual de la estación de Monterredondo del año 1952 al 2019 y de la estación de Susumuco del año 1962 al 2019. Y la precipitación acumulada mensual de las dos estaciones del periodo 1952 al 2019. (ver Anexo 2).

- Estación Pluviométrica Monterredondo código 35020010
- Estación Pluviométrica Susumuco código 35020020

Figura 37

Ubicación Estaciones Pluviométricas de Monterredondo y Susumuco



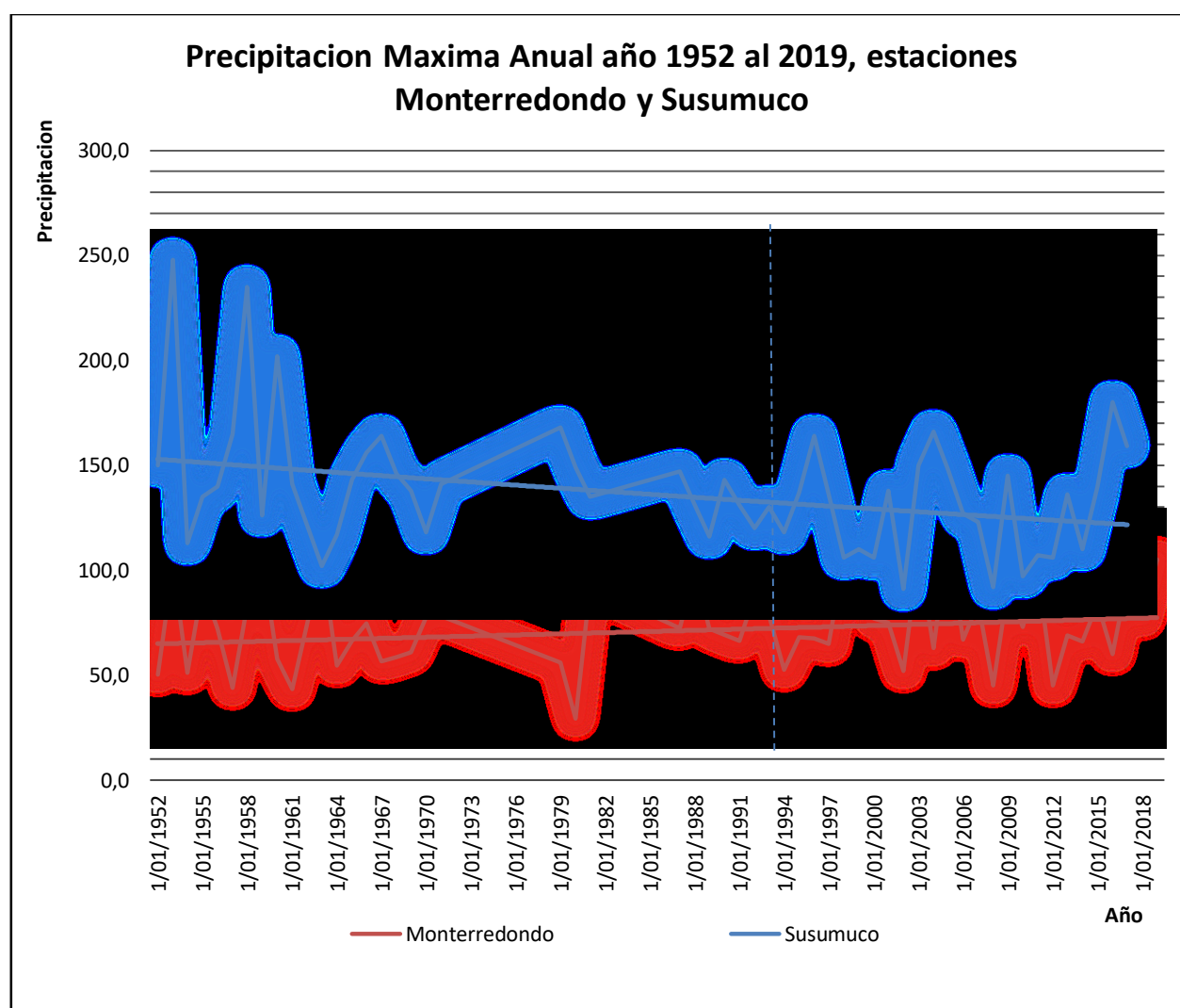
Tomado de IDEAM, (2019).

6.4 Análisis de la Información

Se grafican los datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas de Monterredondo y Susumuco, como se muestra en la figura 38, donde se observa una anomalía en el año 1955 donde la precipitación máxima de ese año es de 360 mm, para los siguientes años la precipitación máxima es de 235 mm y la mínima es de 29.4 mm en el periodo 1955 a 2019.

Figura 38

Precipitación Máxima Anual, estaciones Monterredondo y Susumuco, años 1952 al 1994



Tomado de: elaboración propia

Con las tablas precipitación máxima mensual, se realizan las Curvas IDF de las dos estaciones (Susumuco y Monterredondo), y así determinar el periodo de retorno.

6.4.1 Periodos de retorno estación de Monterredondo

Por medio del método de Gumbel se obtiene las probabilidades pluviométricas. Ver Tabla número 16 en el anexo 2.

Luego se obtiene las precipitaciones diarias máximas probables para las frecuencias, utilizando el método de Gumbel se aplica la fórmula (5) y se pueden obtener los datos de la tabla número 3.

Cálculo de variables:

$$X = \frac{\sum x_i}{n} = 74.45 \quad (6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1}} = 19.18 \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S = 14.87 \quad (8)$$

$$u = X - 0.5772 * \alpha = 65.74 \quad (9)$$

$$F_{(X)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (5)$$

Tabla 3. *Precipitaciones máximas diarias para distintos periodos de retorno, Estación**Monterredondo*

<i>Periodo</i>	<i>Variable</i>	<i>Precipitación.</i>	<i>Probable. de</i>	<i>Corrección</i>
<i>Retorno</i>	<i>Reducida</i>	<i>(mm)</i>	<i>ocurrencia</i>	<i>intervalo fijo</i>
2	0,3665	68,9638	0,5000	77,9290
5	1,4999	84,5805	0,8000	95,5759
10	2,2504	94,9201	0,9000	107,2597
25	3,1985	107,9842	0,9600	122,0221
50	3,9019	117,6759	0,9800	132,9738
100	4,6001	127,2961	0,9900	143,8446
500	6,2136	149,5268	0,9980	168,9653

Fuente: elaboración propia

Se determinan las precipitaciones acumuladas para diferentes periodos de duración, se tienen en cuenta los coeficientes de relaciones de lluvia para realizar el cálculo.

Tabla 4. *Precipitaciones para diferentes periodos de duración de lluvias, Estación**Monterredondo*

<i>Periodo de</i>	<i>Cociente</i>	<i>Precipitación acumulada</i>						
		<i>T2</i>	<i>T5</i>	<i>T10</i>	<i>T25</i>	<i>T50</i>	<i>T100</i>	<i>T500</i>
<i>Duración</i>								
24 hr	X24	80,5322	99,7224	112,5341	128,8713	140,4832	152,3072	179,6311
18 hr	X18 = 91%	73,3652	90,7321	102,3874	102,8549	127,4321	138,6188	163,4343
12 hr	X12 = 80%	64,5878	79,8423	90,0293	102,8541	112,3846	121,8794	143,7134
8 hr	X8 = 68%	54,9333	67,8645	76,5264	87,4251	95,5154	103,5758	122,1670
6 hr	X6 = 61%	49,2898	60,8674	68,6287	78,4253	85,7108	92,9136	109,5912
5 hr	X5 = 57%	45,7432	56,8741	64,1297	73,2815	80,0713	86,7108	102,3855
4 hr	X4 = 52%	41,8121	51,9143	58,5022	66,8522	73,0464	79,3040	93,4231
3 hr	X3 = 46%	37,1746	45,8295	51,7512	59,1572	64,6397	70,0770	82,3612
2 hr	X2 = 39%	31,3311	38,8382	43,7733	50,1364	54,7823	59,439	70,0502
1 hr	X1 = 30%	24,0752	29,9452	33,7472	38,5643	42,1381	45,6851	53,9021

Fuente: elaboración propia

Cálculo de la Intensidad, teniendo en cuenta la fórmula (10), y se obtienen las intensidades en la tabla 5.

$$I = \frac{P(mm)}{t_{duracion}(hr)} \quad (10)$$

Tabla 5. Intensidades de lluvia teniendo en cuenta el Promedio diario, Estación Monterredondo

Tiempo		lluvia (mm)						
Hr	min	T2	T5	T10	T25	T50	T100	T500
24	1440	3,3704	4,1702	4,6997	5,3688	5,8651	6,3578	7,4963
18	1080	4,0871	5,0575	5,6999	5,7260	7,1139	7,7117	9,0931
12	720	5,3860	6,6656	7,5128	8,5833	9,3775	10,1657	11,9873
8	480	6,8640	8,4956	9,5758	10,9406	11,9532	12,9582	15,2807
6	360	8,2077	10,1592	11,4512	13,0837	14,2947	15,4968	18,2748
5	300	9,2020	11,3902	12,8390	14,6695	16,0275	17,3754	20,4903
4	240	10,4920	12,9873	14,6394	16,7268	18,2754	19,8125	23,3646
3	180	12,3731	15,3163	17,2649	19,7270	21,5535	23,3666	27,5562
2	120	15,7324	19,4753	21,9534	25,0846	27,4074	29,7131	35,0413
1	60	24,1976	29,9559	33,7684	38,5856	42,1592	45,7065	53,9036

Fuente: elaboración propia

Luego se calcula el coeficiente de determinación para el tiempo de duración, (ver tabla 6).

Tabla 6. Coeficiente de determinación R^2 , estación de Monterredondo

#	X	Y	LnX	LnY	LnX*LnY	(LnX)^2
1	2	304,8015	0,7044	5,7309	3,9758	0,4917
2	5	377,3667	1,6207	5,9444	9,5603	2,6015
3	10	425,4112	2,3138	6,0643	13,9489	5,3131
4	25	530,4973	3,2301	6,2850	20,2058	10,3724
5	50	531,1495	3,9233	6,2863	24,5593	15,3152
6	100	575,8510	4,6164	6,3671	29,2809	21,2188
7	500	679,1492	6,2258	6,5321	40,5356	38,6326
7	692	3424,1591	22,5671	43,1425	141,9991	93,8779
Ln (K) =	5,7154	K =	300,1364	m =	0,1532	

Fuente: elaboración propia

Con la tabla 6 se determina los parámetros de ajuste y ser aplicados en la ecuación (11), así obteniendo la tabla 7 de intensidades de precipitación.

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \quad (11)$$

$$I = \frac{300.1364 * T^{0.1532}}{t^{0.61}} \quad (13)$$

Tabla 7. Intensidades de precipitación, estación de Monterredondo

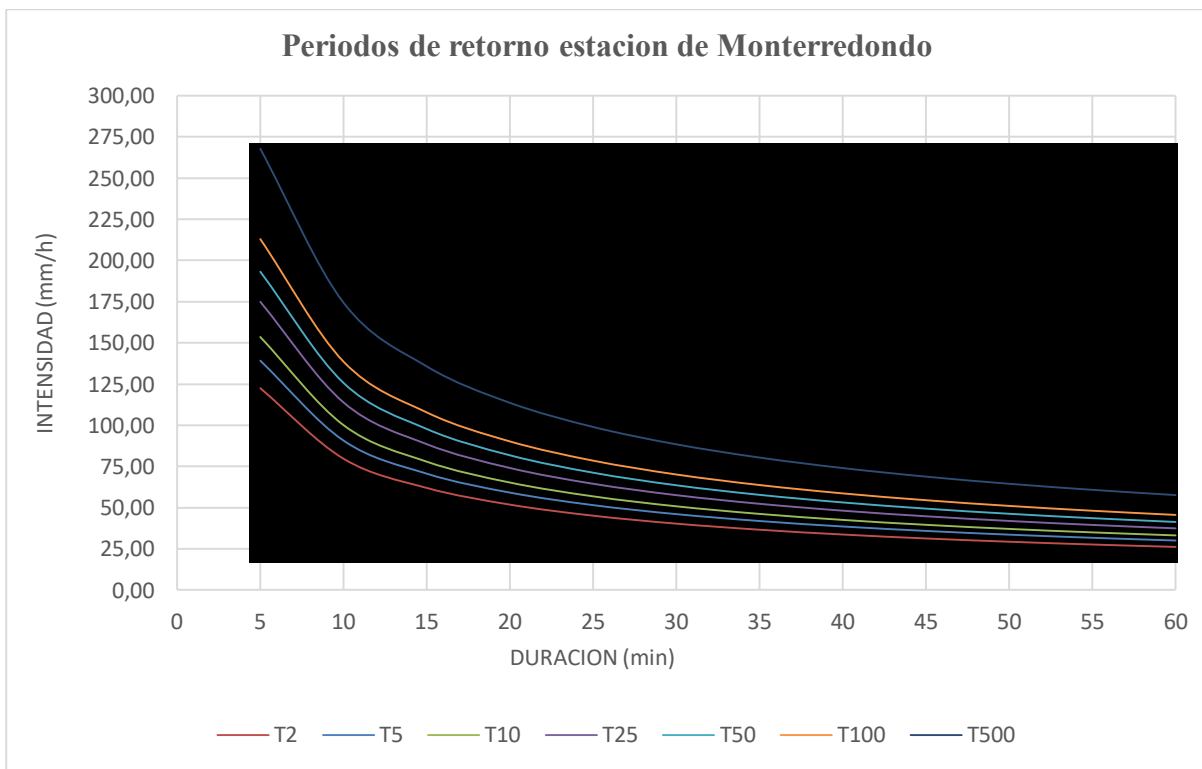
Periodo de retorno	Intensidades de Precipitación (mm)											
	Tiempo de duración											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	122,3259	79,6613	61,9857	51,8786	45,1887	40,3684	36,6964	33,7868	31,4125	29,4303	27,7453	26,2914
5	139,3166	90,7256	70,5945	59,0835	51,4643	45,9744	41,7924	38,4785	35,7744	33,5170	31,5979	29,9420
10	153,7207	100,1054	77,8928	65,1916	56,7845	50,7270	46,1125	42,4560	39,4723	36,9814	34,8639	33,0368
25	175,0725	114,0095	88,7114	74,2458	64,6709	57,7719	52,5164	48,3521	44,9539	42,1170	39,7053	37,6244
50	193,1738	125,7968	97,8829	81,9216	71,3567	63,7443	57,9454	53,3505	49,6009	46,4707	43,8096	41,5136
100	213,1466	138,8029	108,0027	90,3910	78,7337	70,3343	63,9358	58,8657	54,7284	51,2746	48,3384	45,8049
500	267,8527	174,4270	135,7212	113,5891	98,9396	88,3843	80,3435	73,9720	68,7728	64,4325	60,7426	57,5589

Fuente: elaboración propia

Se procede a diseñar la curva IDF

Figura 39

Curvas IDF, Periodo de retorno estación Monterredondo



Tomado de: elaboración propia

6.4.2 Periodo de retorno estación Susumuco

Se aplica la misma metodología del numeral 6.4.1, Por medio del método de Gumbel se obtiene:

$$X = \frac{\sum x_i}{n} = 147.22 \quad (14)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1}} = 51.32 \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S = 40.10 \quad (16)$$

$$u = X - 0.5772 * \alpha = 124 \quad (17)$$

$$F_{(X)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (5)$$

Con la fórmula 5, se determinan las precipitaciones máximas diarias,

Tabla 8. *Precipitaciones máximas diarias en distintos periodos de retorno, Estación Susumuco*

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
2	0,3777	138,6927	0,5112	156,7213
5	1,5112	184,1282	0,8112	208,0635
10	2,2616	214,2105	0,9112	242,0564
25	3,2098	252,2195	0,9712	285,0066
50	3,9132	280,4168	0,9912	316,8695
100	4,6114	308,4059	1,0012	348,4972
500	6,2248	373,0843	1,0092	421,5838

Fuente: elaboración propia

Se determinan las precipitaciones acumuladas para diferentes periodos de duración, se tienen en cuenta los coeficientes de relaciones de lluvia para realizar el cálculo.

Tabla 9. *Precipitaciones en diferentes periodos de duración, Estación Susumuco*

Tiempo	Cociente	Precipitación acumulada						
		2	5	10	25	50	100	500 años
24	X24	156,7213	208,0635	242,0564	285,0066	316,8695	348,4972	421,5838
18	X18 = 91%	142,6174	189,3388	220,2723	228,0075	288,3523	317,1334	383,6423
12	X12 = 80%	125,3793	166,4530	193,6474	228,0075	253,4979	278,8000	337,2693
8	X8 = 68%	106,5741	141,4867	164,6020	193,8081	215,4749	236,9817	286,6806
6	X6 = 61%	95,6044	126,9231	147,6588	173,8584	193,2948	212,5876	257,1705
5	X5 = 57%	89,3360	118,6010	137,9770	162,4586	180,6205	198,6482	240,3076
4	X4 = 52%	81,5005	108,1984	125,8747	148,2088	164,7775	181,2239	219,2290
3	X3 = 46%	72,0979	95,7153	111,3520	131,1091	145,7660	160,3148	193,9346
2	X2 = 39%	61,1282	81,1516	94,4089	111,1594	123,5860	135,9207	164,4245
1	X1 = 30%	47,0243	62,4269	72,6248	85,5098	95,0687	104,5570	126,4830

Fuente: elaboración propia

Cálculo de la Intensidad, teniendo en cuenta la fórmula (10), y se obtienen las intensidades en la tabla 10.

$$I = \frac{P(mm)}{t_{duracion}(hr)} \quad (10)$$

Tabla 10. *Intensidades de lluvia teniendo en cuenta el Promedio diario, Estación Susumuco*

Hora	Tiempo min	Intensidad (mm)						
		2	5	10	25	50	100	500 años
24	1440	6,5408	8,6801	10,0964	11,8860	13,2137	14,5315	17,5768
18	1080	7,9338	10,5294	12,2480	12,6777	16,0302	17,6291	21,3241
12	720	10,4586	13,8814	16,1476	19,0109	21,1351	23,2436	28,1161
8	480	13,3316	17,6957	20,5851	24,2358	26,9442	29,6325	35,8449
6	360	15,9434	21,1632	24,6192	28,9858	32,2252	35,4406	42,8711
5	300	17,8762	23,7292	27,6044	32,5007	36,1331	39,7386	48,0705
4	240	20,3835	27,0580	31,4771	37,0606	41,2028	45,3144	54,8157
3	180	24,0401	31,9126	37,1248	43,7105	48,5962	53,4457	64,6524
2	120	30,5697	40,5814	47,2100	55,5853	61,7986	67,9660	82,2179
1	60	47,0243	62,4269	72,6248	85,5098	95,0687	104,5570	126,4830

Fuente: elaboración propia

calculo el coeficiente de determinación para el tiempo de duración, (ver tabla 11).

Tabla 11. *Coefficiente de determinación R², estación de Susumuco*

	X	Y	LnX	LnY	LnX*LnY	(LnX)^2
1	2	592,4577	0,7044	6,3955	4,4365	0,4917
2	5	786,5579	1,6207	6,6789	10,7424	2,6015
3	10	915,0691	2,3138	6,8302	15,7125	5,3131
4	25	1175,8139	3,2301	7,0809	22,7677	10,3724
5	50	1197,9020	3,9233	7,0996	27,7409	15,3152
6	100	1317,4710	4,6164	7,1947	33,0923	21,2188
7	500	1593,7769	6,2258	7,3851	45,8369	38,6326
7	692	7578,9812	22,5671	48,5975	160,2618	93,8779
Ln (K) =		K =	589,4808	m =	0,1855	

Fuente: elaboración propia

se determina los parámetros de ajuste y ser aplicados en la ecuación (11), así obteniendo la tabla 12 de intensidades de precipitación.

$$I = \frac{589.4586 * T^{0.174108}}{t^{0.61}} \quad (18)$$

Tabla 12. *Intensidades de precipitación, estación de Susumuco*

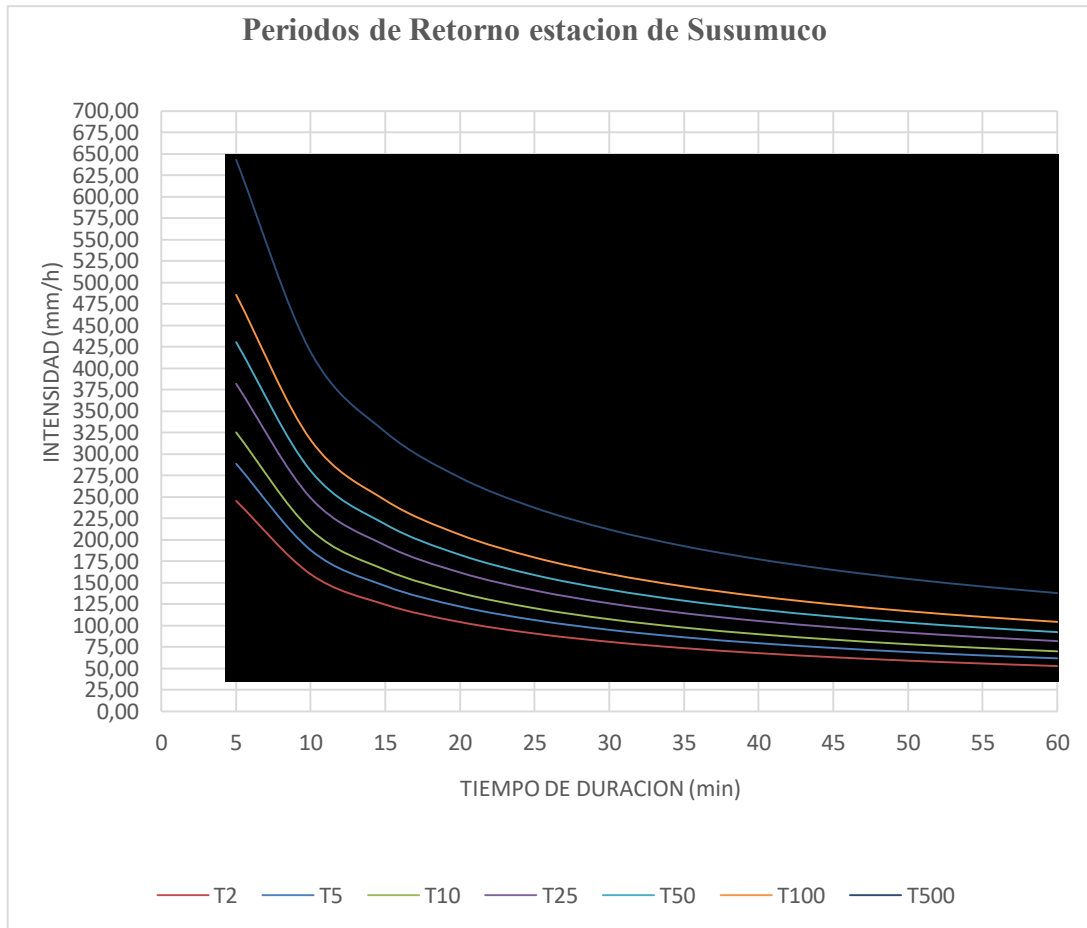
Periodo de retorno	Intensidades de precipitación											
	Tiempos de duración											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	245,6952	159,9982	124,4945	104,1932	90,7557	81,0735	73,6979	67,8535	63,0844	59,1031	55,7185	52,7982
5	288,2425	187,7047	146,0524	122,2354	106,4707	95,1118	86,4589	79,6024	74,0074	69,3366	65,3659	61,9398
10	325,2582	211,8089	164,8075	137,9318	120,1426	107,3250	97,5608	89,8238	83,5103	78,2396	73,7590	69,8929
25	381,5842	248,4879	193,3468	161,8168	140,9469	125,9095	114,4544	105,3775	97,9706	91,7872	86,5305	81,9949
50	430,5871	280,3981	218,1756	182,5964	159,0463	142,0778	129,1515	118,9090	110,5508	103,5733	97,6416	92,5236
100	485,8832	316,4063	246,1930	206,0447	179,4702	160,3224	145,7362	134,1782	124,7467	116,8732	110,1797	104,4043
500	643,2293	418,8687	325,9172	272,7671	237,5867	212,2381	192,9282	177,6272	165,1414	154,7181	145,8569	138,2113

Fuente: elaboración propia

Se diseña la curva IDF

Figura 40

Curvas IDF, Periodos de retorno 1961 a 2019, estación de Susumuco



Tomado de: elaboración propia

6.4.3 Deslizamientos entre los años 2018 y 2019, y comparación de estos con los niveles de precipitación durante este periodo en el Km 58.

Se realiza una recopilación de los derrumbes presentados en el Km 58 durante los años 2018 y 2019 (tabla 13), y se comparan los niveles de precipitación presentados el día del derrumbe con la precipitación histórica entre los años 1961 y 2017 de las estaciones Monterredondo y Susumuco, como se evidencia en las figuras 39 y 40.

Tabla 13. *Derrumbes en el Km 58 de la vía Bogotá Villavicencio entre los años 2018 y 2019, asociados a las estaciones de Monterredondo y Susumuco*

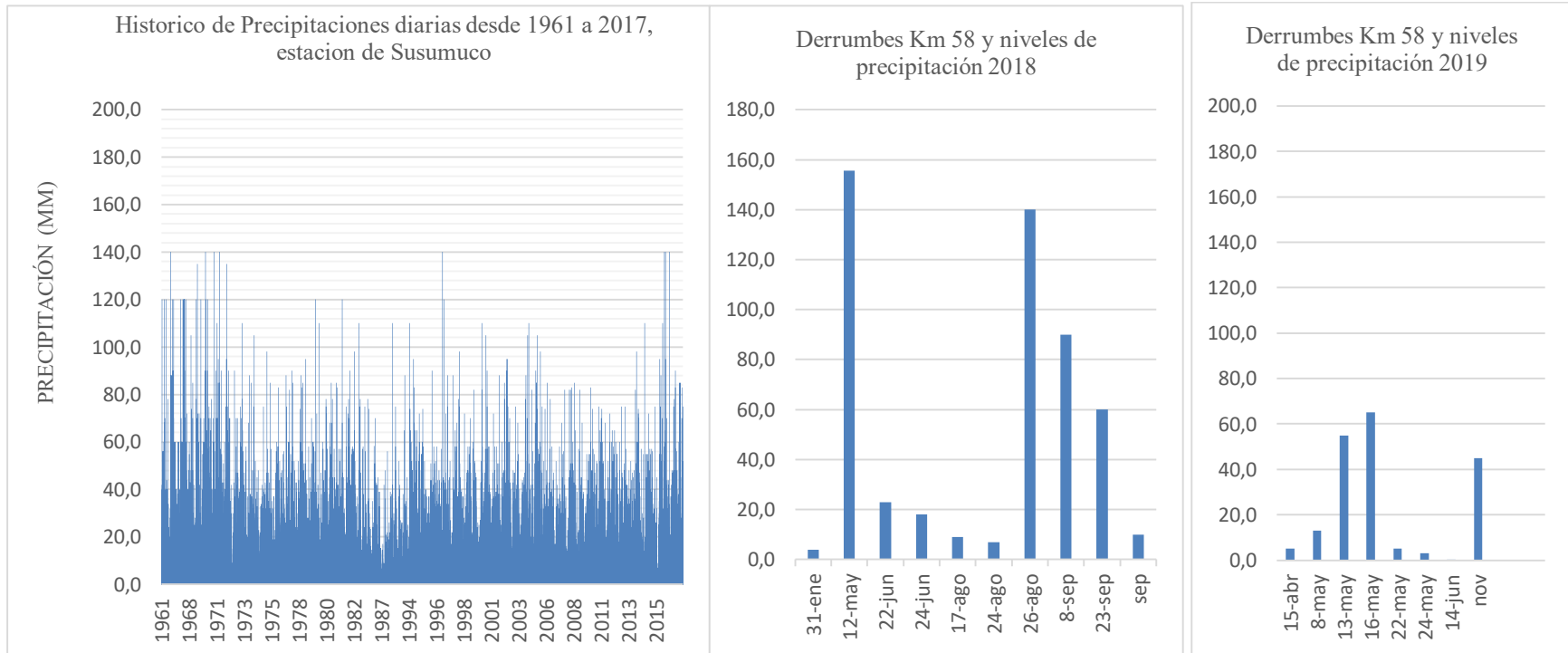
Derrumbes asociados a la estación de Monterredondo					
Fecha	Punto	Nivel de Precipitación (mm)	Fecha	Punto	Nivel de Precipitación (mm)
31/01/2018	Km 58	2	15/04/2019	Km 58	14
12/05/2018	Km 58	42	8/05/2019	Km 58	7
22/06/2018	Km 58	12	13/05/2019	Km 58	21
24/06/2018	Km 58	5	16/05/2019	Km 58	19
17/08/2018	Km 58	10	22/05/2019	Km 58	11
24/08/2018	Km 58	11	24/05/2019	Km 58	5
26/08/2018	Km 58	105	14/06/2019	Km 58	1
8/09/2018	Km 58	35	6/11/2019	Km 58	15
23/09/2018	Km 58	26			
24/09/2018	Km 58	5			

Fuente: Coviandes

Derrumbes asociados a la estación de Susumuco					
Fecha	Punto	Nivel de Precipitación (mm)	Fecha	Punto	Nivel de Precipitación (mm)
31-ene	Km 58	4,0	15/04/2019	15-abr	5,0
12-may	Km 58	155,6	8/05/2019	8-may	13,0
22-jun	Km 58	23,0	13/05/2019	13-may	55,0
24-jun	Km 58	18,0	16/05/2019	16-may	65,0
17-ago	Km 58	9,0	22/05/2019	22-may	5,0
24-ago	Km 58	7,0	24/05/2019	24-may	3,0
26-ago	Km 58	140,0	14/06/2019	14-jun	0,2
8-sep	Km 58	90,0	6/11/2019	nov	45,0
23-sep	Km 58	60,0			
sep	Km 58	10,0			

Figura 41

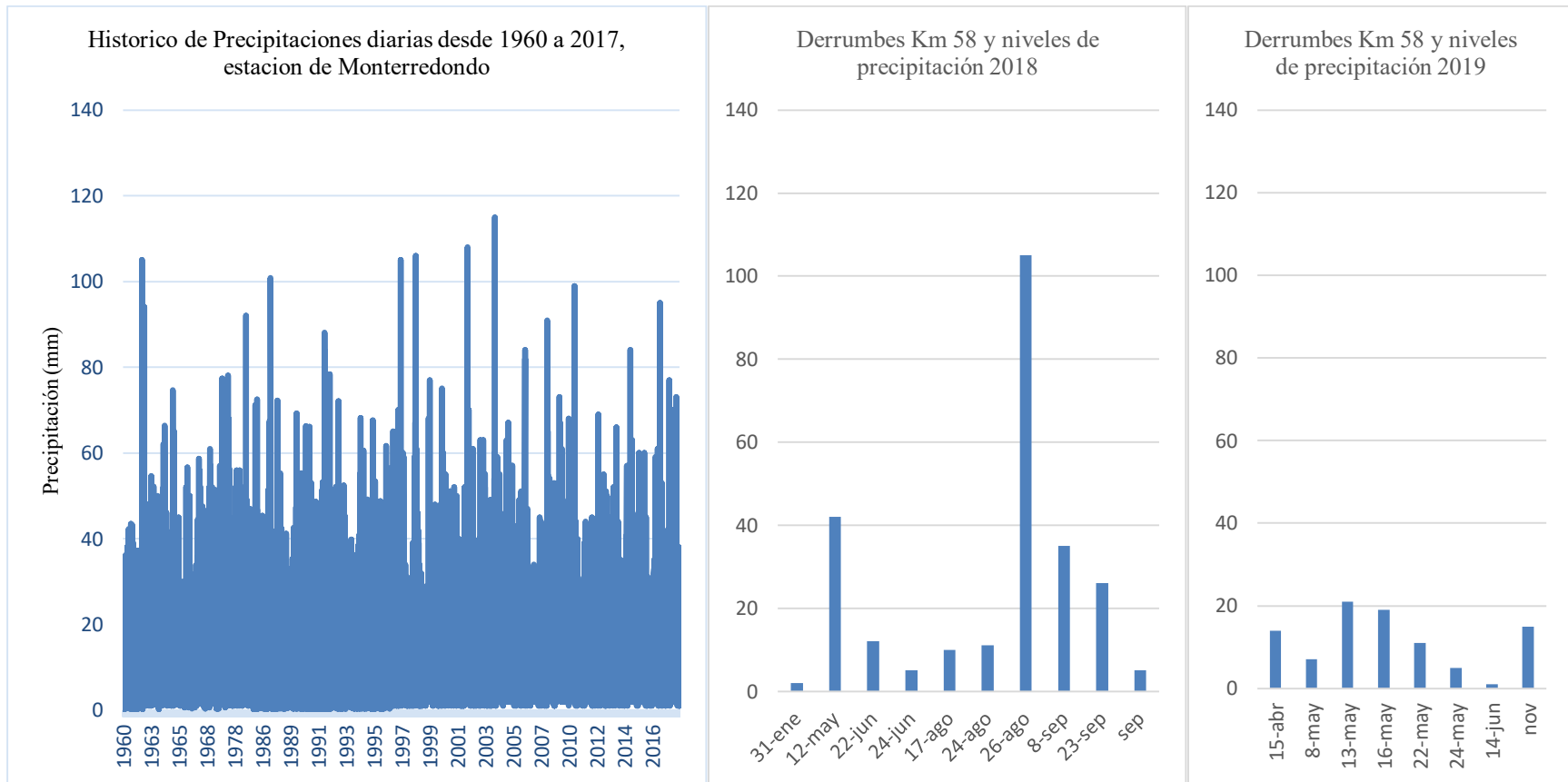
Comparación niveles de precipitación en los derrumbes de 2018 y 2019, con la precipitación histórica de 1961 a 2017, estación de Susumuco



Tomado de: elaboración propia

Figura 42

Comparación niveles de precipitación en los derrumbes de 2018 y 2019, con la precipitación histórica de 1960 a 2017 estación de Monterredondo.



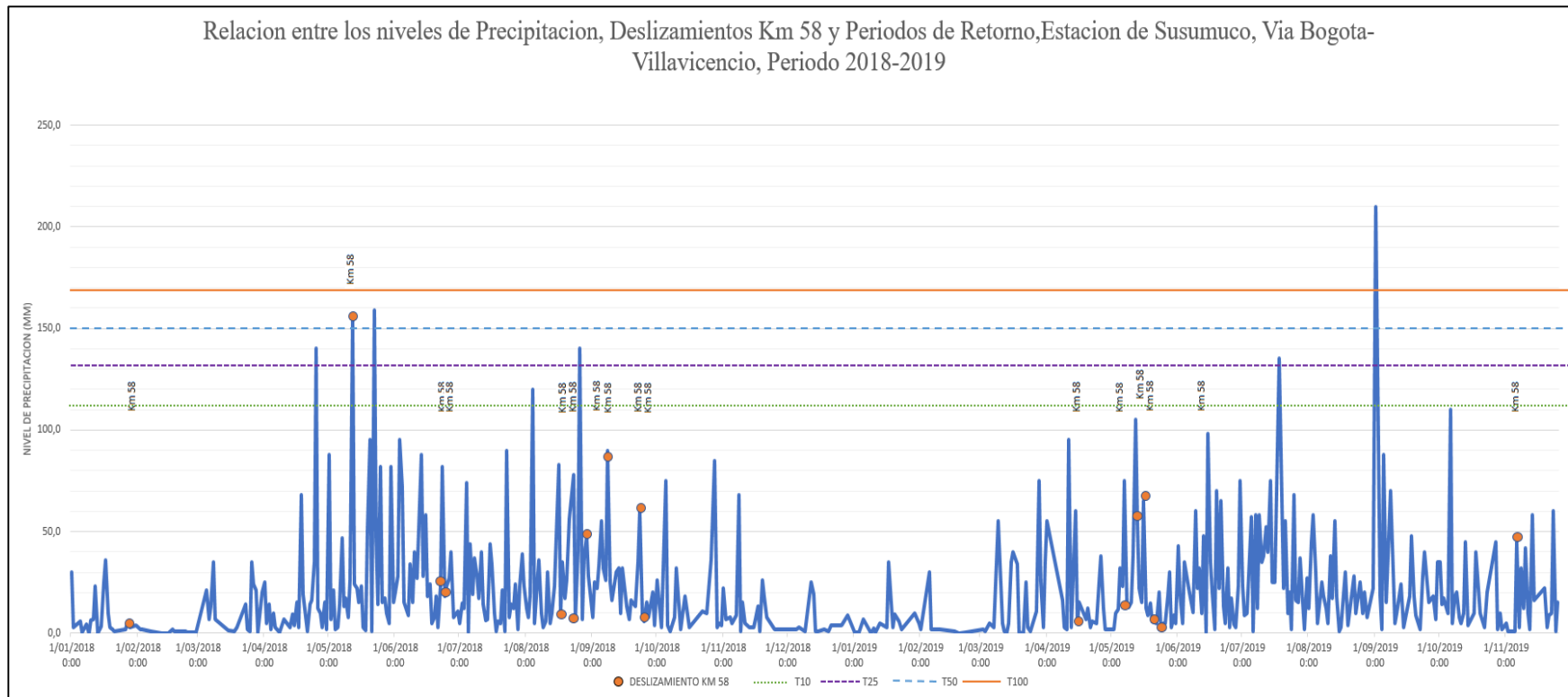
Tomado de: elaboración propia

6.4.4 Relación Periodo de retorno, nivel de precipitación y deslizamientos en el Km 58.

En las figuras 43 y 44, se relaciona la precipitación que había cuando ocurrieron los diferentes derrumbes en los años 2018 y 2019 en Km 58, para evidenciar si los niveles de precipitación fueron superiores a los periodos de retorno.

Figura 43

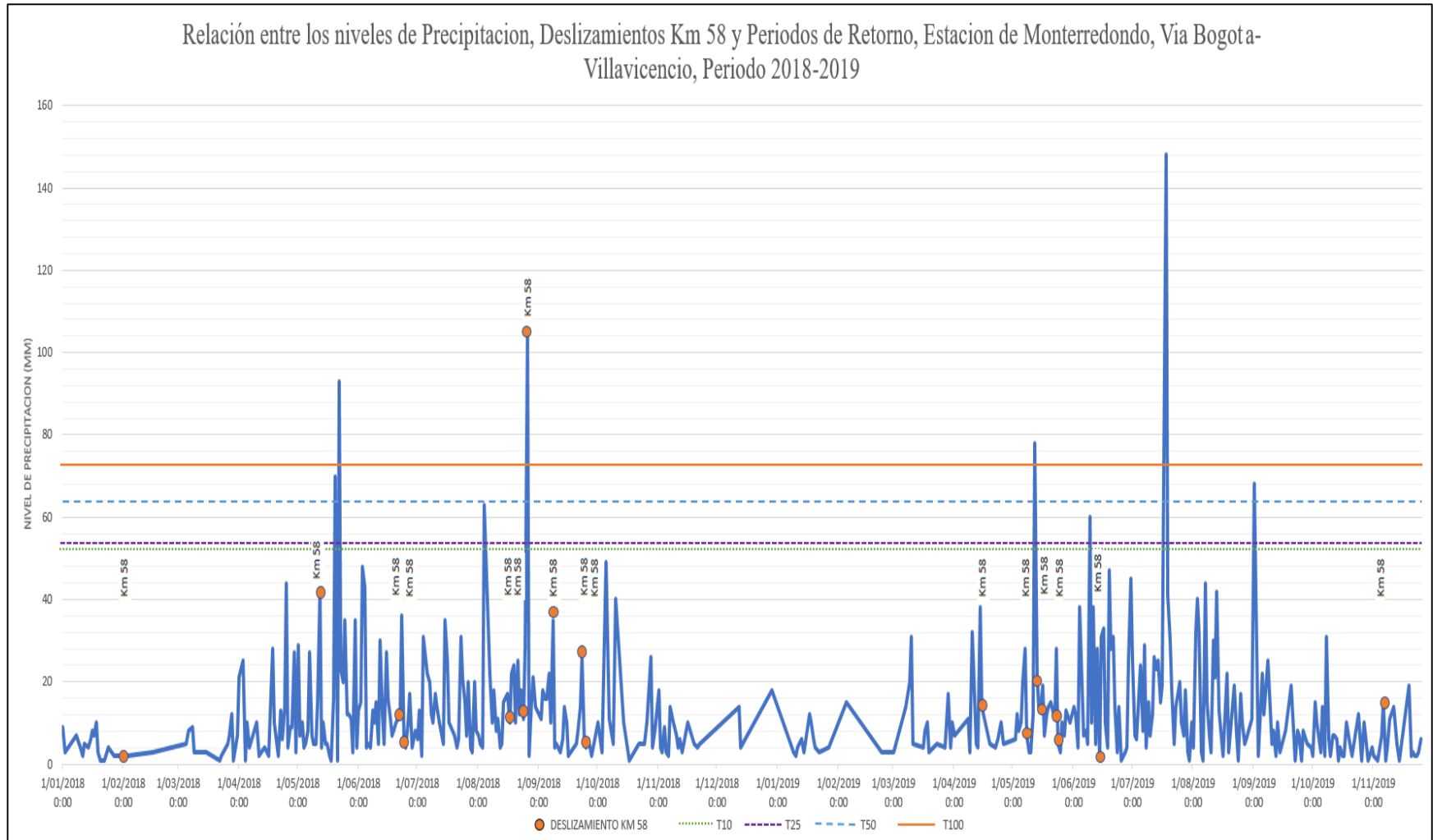
Relación entre los niveles de precipitación, deslizamientos y periodos de retorno, estación de Susumuco entre los años 2018 y 2019



Tomado de: elaboración propia

Figura 44

Relación entre los niveles de precipitación, deslizamientos y periodos de retorno, estación de Monterredondo entre los años 2018 y 2019.



Tomado de: elaboración propia

6.5 Resultados

- Al graficar los datos pluviométricos de las precipitaciones máximas anuales de las estaciones Susumuco y Monterredondo (ver figura 38), se evidencia una precipitación máxima histórica en la estación de Susumuco fue de 360mm y en la estación de Monterredondo la mayor precipitación máxima histórica fue de 115mm, si se comparan los datos históricos anteriormente mencionados, con la precipitación acumulada anual del 2019 donde se vio más afectación en el Km 58, se puede evidenciar que la precipitación máxima acumulada de la estación de Monterredondo fue de 105mm y para la estación de Susumuco fue de 159mm. Al realizar esta comparación, en el 2019 la precipitación estuvo por debajo de la precipitación histórica.
- Se muestran mayores niveles de precipitación en la estación de Susumuco que en la estación de Monterredondo, esto debido a su localización geográfica, ya que la estación de Susumuco está más próxima a los llanos orientales donde la precipitación total anual es de 2500mm a 3000mm. (IDEAM, 2019).
- En 1994 se dio a Coviandes la concesión de la construcción de la doble calzada de la vía Bogotá Villavicencio, en el mismo año los niveles de precipitación fueron de 52,4mm y 120mm para las estaciones de Monterredondo y Susumuco respectivamente, para inicios del 2019 los niveles fueron de 105mm y 159mm, por lo que se observa un incremento en la precipitación en el periodo de construcción de la vía, este aumento podría ser un factor para los derrumbes presentados en la vía.
- Según el Manual de Diseño de Pavimentos, la vida útil de una vía debe ser igual o mayor a 20 años, pero este periodo de vida útil depende del periodo de retorno con el que se haya diseñado, (INVIAS, 2019), por lo cual, para el presente análisis, se tomaron

periodos retorno 25, 50, 100 años, obtenidos figuras 39 y 40, para realizar comparaciones con los niveles de precipitación obtenidos de las dos estaciones del IDEAM.

- Se realizó una comparación de los niveles de precipitación históricas de ambas estaciones pluviométricas (años 1961 al 2017), con respecto a los niveles de precipitación presentados el día que hubo los diferentes derrumbes en los años 2018 y 2019, años en que el Km 58 se vio más afectado, (ver figuras 41 y 42).

En las figuras 41 y 42 se observar al lado derecho los diferentes derrumbes presentados en los años 2018 y 2019, años en los que hubo 10 y 8 derrumbes respectivamente en el Km58, y a mano derecha se muestra el histórico de los niveles de precipitación para las estaciones de Monterredondo y Susumuco.

Al realizar el análisis comparativo se evidencia que el temblor del 12 de mayo de 2018 para la estación de Susumuco presentó un nivel alto de precipitación alcanzando los 155.6mm, superando el histórica máximo el cual fue de 140mm, pero es el único registro que supero el nivel de precipitación histórico, ya que los de más registros no superaron el histórico de precipitaciones en ninguna de las dos estaciones.

- Al realizar el análisis de las figuras 43 (niveles de precipitación estación de Susumuco) y 44 (niveles de precipitación estación de Monterredondo), donde se relacionaron los periodos de retorno obtenidos en las figuras 34 y 35 ($T=25$, $T=50$, $T=100$), la precipitación diaria de los años 2018 y 2019, y los deslizamientos presentados en estos dos años (tabla 13).

Para la figura 43, solo un registro superó $T=100$, presentando un nivel de precipitación de 210mm, dos registros superaron el $T=50$ con niveles de precipitación de 157mm y 160mm y dos registros superaron $T=25$ con niveles de 135mm y 140mm, en total en los

dos años solo hubo cinco registros de precipitación de los 502 registros, que superaron los tiempos de retorno, de los cinco tan solo en uno se presentó deslizamiento, donde se presentó un nivel de precipitación de 155.6mm, superando los periodos de retorno 25 y 50 años.

En la figura 44, se realiza la misma comparación, en donde en total 7 de los 694 registros superaron los periodos de retorno, y en uno de los 7 registros se presentó un deslizamiento, con un nivel de precipitación de 104mm.

- Al realizar el análisis hidrológico por medio del software Argis, se obtuvo la red de drenajes como se muestra en la figura 35 y 36, donde se observa el flujo que hay sobre las laderas de la meseta Mesa Grande en el Kilómetro 58.

En la figura 34 se determinó el Índice de Topográfico de Humedad (TWI), donde se pueden observar las zonas con mayor recopilación de agua, por los altos niveles de precipitación que se presentan en la zona.

6.6 Conclusión del caso de estudio

Luego de analizar los datos obtenidos por el IDEAM, y realizar las diferentes comparaciones con registros de precipitaciones históricas con precipitaciones de los períodos en que el Km 58 fue más afectado, y de realizar una comparación con los niveles de precipitación presentado los días que hubo un deslizamiento con el histórico de precipitaciones, y al final verificar si los niveles de precipitación cuando ocurrió un derrumbe superaron los periodos de retorno, se concluye que los niveles de precipitación en el sector de Guayabetal, kilómetro 58+00, ha tenido variaciones en los últimos 50 años, se han presentado diferentes picos máximos diarios como por ejemplo, el presentado el 18 de julio de 2019 el cual fue de 148 mm, siendo este el único que supera el registro

histórico de precipitaciones el cual es de 140 mm, existe una asociación indirecta en la causa del deterioro de la vía Bogotá Villavicencio en el Km 58.

7 CONCLUSIONES

1. Luego de realizar el análisis de hidrológico del Km 58 vía Bogotá Villavicencio propuesto en el presente documento, se concluyó que los niveles de precipitación no es la causa de los deslizamientos presentados en el Km 58 de la vía, pero al realizar la consulta de los diferentes temas que abarcan la problemática de la vía, como la geología del terreno, la construcción del túnel 13, se puede concluir que todo ha sido un efecto progresivo, es decir, todos estos factores contribuyeron a que se presentarán los deslizamientos en la vía.
2. Al analizar los datos de las dos estaciones del IDEAM, Susumuco y Monterredondo, y de las diferentes fuentes consultadas, se concluye que en la meseta Mesa Grande, hubo diferentes factores que hicieron que se presentara una degradación del talud, uno de estos factores fue la precipitación, aunque no se presentaron niveles altos de precipitación, si se crearon flujos en la ladera los cuales fueron erosionando la superficie de la meseta.
3. Con los diferentes datos de precipitaciones obtenidos, se realizaron diferentes comparaciones, entre datos históricos, niveles de precipitación del último año, niveles de precipitación de los días en que ocurrieron deslizamientos, todos estos niveles se validó si superaron los periodos de retorno de la vía, y se concluye, que los niveles de precipitación presentados en los derrumbes de los años 2018 y 2019, no estuvieron por encima del periodo de retorno con que pudo ser diseñada la vía, con estas comparaciones se determina que los niveles de precipitación no fue el factor principal, sino un factor que contribuyó a que se presentará el deterioro en la vía.

4. Luego de construir un estado del conocimiento, al consultar diferentes fuentes, de diferentes países, se determina que una de las soluciones expuestas en estos artículos, es la implementación de modelos matemáticos y software, los cuales calculan las probabilidades de lluvia, sus niveles de precipitación y así predecir un posible deslizamiento, dichos artículos son de gran interés y las teorías podrían ser aplicadas en Colombia.
5. Para Colombia sería beneficioso el poder implementar los métodos que se aplican en el país de Buthan, como es el análisis de la precipitación aplicándolo a los estudios y estadísticas de deslizamientos, para así poder predecir los derrumbes según el nivel de precipitación que se esté dando.
6. Luego de realizar el análisis de las diferentes fuentes consultadas, con respecto a los diferentes problemas que ha sufrido el kilómetro 58, se puede decir que ha faltado control por parte de los entes del estado que vigilan los diferentes proyectos de infraestructura del país.
7. Los cambios de precipitación por los fenómenos de la niña y niño, serán más evidentes con el paso del tiempo, generando más problemas económicos, comerciales y de infraestructura.
8. Todos los autores consultados coinciden que la planeación, la realización de estudios adecuados, pueden mitigar los inconvenientes o retrasos que se presenten por la precipitación a la hora de ejecutar un proyecto de infraestructura.
9. Se consultó y se analizó diferentes artículos relacionados con el tema, donde se evidencio que el cambio climático es un factor primordial que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar una vía, en Colombia se ha creado el Plan Vías Compatibles con el Clima, proyecto en el cual toda concesión que se realice para la construcción de una vía, debe tener estudios teniendo en cuenta el cambio climático, las primeras obras en ejecución con esta iniciativa son las vías 4G.

8 RECOMENDACIONES

1. Realizar nuevos estudios de cómo se en cuenta la meseta luego de la excavación del túnel 13 donde queda ubicado el kilómetro 58, así se obtendrá un diagnóstico para poder concluir si se sigue con la excavación del túnel, cuya construcción actualmente se encuentra detenida.
2. De no seguir con la construcción del túnel 13, realizar estudios para la posible construcción de un viaducto.
3. Fortalecer la parte de la meseta afectada con un muro de contención para los posibles movimientos de masa que se presenten a futuro.
4. Es necesario que la ANI, ejerza más control e interventoría sobre Coviandes, en cuanto a la ejecución de la doble calzada Bogotá Villavicencio, una obra que inició en 1994 y su terminación fue proyectada para el 2017.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. B,Bolt., Egbert,H., Sebastian,B., Marlies,V., Marten, S. (2018). Climate reddening increases the chance of critical transitions, recuperado de <https://research.wur.nl/en/publications/climate-reddening-increases-the-chance-of-critical-transitions>.
2. Field, C., (2012) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change, University Cambridge. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=nQg3SJtkOGwC&oi=fnd&pg=PR4&dq=Field,+C.+et+al,+2012&ots=13KhwqxxWO&sig=xvOnV4Gh17HBdGPOnpaUjx72oiw#v=onepage&q=Field%2C%20C.%20et%20al%2C%202012&f=false>.
3. Agencia nacional de infraestructura(ANI,2018), vía Bogotá-Villavicencio adjudicación contrato a Coviandes S.A. recuperado de <https://www.ani.gov.co/carreteras-0>.
4. Alcaldía de Guayabetal (2019), Geografía-Municipio de Guayabetal departamento de Cundinamarca-Colombia. recuperado de <http://www.guayabetal-cundinamarca.gov.co/municipio/geografia>.
5. Highland, L., Manual de Derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes. Servicio Geológico de los EE.UU. recuperado de https://www.iproga.org.pe/descarga/manual_derumbes.pdf.
6. Gobernación de Cundinamarca, Unidad Administrativa especial de Gestión de Riesgo de Desastres UAEGRDC-Informe de Asistencia Técnica-Situación de riesgo movimiento en masa en las abscisas K58-100 y K58-175 municipio de Guayabetal. Recuperado de <https://imgcdn.larepublica.co/cms/2019/06/18164239/Informe-de-asistencia-t%C3%A9cnica-Guayabotal.pdf>.

7. Gascón, M., (2005), Vientos, Terremotos, Tsunamis y otras catástrofes naturales. Historia y casos Latinoamericanos. Editorial Biblos. Buenos Aires, 2005 159p. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/833/83301118.pdf>.
8. Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2019). Manual de drenaje para carreteras, Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>.
9. Suarez, J., (1998), Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas tropicales, recuperado de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>.
10. Nicholson D.T., Hencher S. (1997) “Assesing potential for deterioration of engineered rock slopes”. The Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/209804864_Assessing_the_potential_for_deterioration_of_engineered_rock_slopes.
11. Varnes D.J. (1958). “Landslides types and processes”. Special report 29: Landslides and engineering practice (E.B. Eckel, ed.) HRB, National Research Council, Washington, recuperado de <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247-003.pdf>
12. Cruden, M., Varnes, J., (1996), landslides: investigation and mitigation. Chapter 3 - landslide types and processes, recuperado de <https://trid.trb.org/view/462501>.
13. Aranda, C., (1998), Proceso Ciclo Hidrologico, recuperado de https://books.es/books?hl=es&lr=&id=tkUYqd0Aac8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=ciclo+hidrologico&ots=HT9Pb8H9ym&sig=W--Msrq_K5eUS9gQmfFWGmh46nY#v=onepage&q=ciclo%20hidrologico&f=false.

14. Casas, J., (1977), Geografía General, recuperado de <http://datos.bne.es/edicion/bimo0000958539.html>.
15. IDEAM, Consulta y descarga de datos Hidrometeoro lógicos, <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>.
16. Cruden, D.M., Varnes D. J. (1996). “Landslide Types and Processes”. Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C, recuperado de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>.
17. Popescu, M., (1996), From landslide causes to landslide remediation” Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides, Trondheim, recuperado de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>.
18. Bilz, P., (1995), slope stability in partially saturated sandy soils, recuperado de <http://worldcat.org/isbn/9054105836>.
19. Piteaw, D., (1975), Geological Factors Significant to the Stability of Slopes, recuperado de <https://www.coursehero.com/file/23703454/Geological-Factors-Significant-to-the-Stability-of-Slopes/>.
20. Aparicio, F., (1997), Fundamentos de Hidrología de Superficie recuperado de <http://www.sidalc.net/cgiin/wxis.exe/?IsisScript=UACHBC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=093116>.
21. Luozang, Q., Gan, J., Zhou, F., Xin, L., (2020), Un método múltiple de monitoreo para deslizamientos de tierra inducidos por lluvia, recuperado de <https://ezproxy.uan.edu.co:2063/record/display.uri?eid=2-s2.0->

- 5082989306&origin=resultslist&sort=plf-
f&src=s&st1=+landslides+in+the+rain&st2=&sid=05d62a1e2a4a8aaf48adf1991b10240b
&sot=b&sdt=b&sl=38&s=TITLE-ABS-
KEY%28+landslides+in+the+rain%29&relpos=16&citeCnt=0&searchTerm=
22. Dou, J., Yunus, AP., (2020), Evaluación mejorada de deslizamientos de tierra utilizando una máquina de vectores de soporte con un marco de aprendizaje automático de conjuntos de ensacado, refuerzo y apilamiento en una cuenca montañosa, Japón, recuperado de <https://ezproxy.uan.edu.co:2063/record/display.uri?eid=2-s2.0-85074614324&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=+landslides+in+the+rain&st2=&sid=05d62a1e2a4a8aaf48adf1991b10240b&sot=b&sdt=b&sl=38&s=TITLE-ABS-KEY%28+landslides+in+the+rain%29&relpos=19&citeCnt=6&searchTerm=>
23. Chen, C., (2020), Modelo de regresión de advertencia de lluvia basada en eventos para la emisión de deslizamientos de tierra y flujo de escombros, recuperado de <https://ezproxy.uan.edu.co:2063/record/display.uri?eid=2-s2.0-85081180430&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=+landslides+in+the+rain&nlo=&nlr=&nls=&sid=05d62a1e2a4a8aaf48adf1991b10240b&sot=b&sdt=b&sl=38&s=TITLE-ABS-KEY%28+landslides+in+the+rain%29&relpos=21&citeCnt=0&searchTerm=>
24. Abraham, M., Satyam, N., Pradhan, B., (2020), Pronóstico de deslizamientos de tierra utilizando la severidad de la lluvia y la humedad del suelo: un enfoque probabilístico para el Himalaya de Darjeeling, recuperado de <https://ezproxy.uan.edu.co:2063/record/display.uri?eid=2-s2.0-85082761008&origin=resultslist&sort=plf->

- f&src=s&st1=+landslides+in+the+rain&nlo=&nlr=&nls=&sid=05d62a1e2a4a8aaf48adf1
991b10240b&sot=b&sdt=b&sl=38&s=TITLE-ABS-
KEY%28+landslides+in+the+rain%29&relpos=22&citeCnt=0&searchTerm=
25. Su, Y., (2020), Análisis de Estabilidad del pendiente basado en el modelo Green-Ampt bajo fuertes lluvias, recuperado de <https://ezproxy.uan.edu.co:2063/record/display.uri?eid=2-s2.0-85080985109&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=+landslides+in+the+rain&nlo=&nlr=&nls=&sid=05d62a1e2a4a8aaf48adf1991b10240b&sot=b&sdt=b&sl=38&s=TITLE-ABS-KEY%28+landslides+in+the+rain%29&relpos=32&citeCnt=0&searchTerm=>
26. Campos, T., y Franz, J. (2019). Evaluación de la precipitación, duración y frecuencia en la generación de intensidades de precipitación. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/4651>.
27. Gariano, S., Sarkar, R., Dikshit, A., Brunetti, M., Peruccacci, S., y Melillo, M. (2018). Automatic calculation of rainfall thresholds for landslide occurrence in Chukha Dzongkhag, Bhutan. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(6), 4325-4332. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-018-1415-2>.
28. Dikshit, A., Sarkar, R., Pradhan, B., Acharya, S., y Dorji, K. (2019). Estimating Rainfall Thresholds for Landslide Occurrence in the Bhutan Himalayas. Department of Civil Engineering, Delhi Technological University, Bawana Road, Delhi, India. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/8/1616>.
29. Koley, B., Nath, A., Saraswati, S., Bandyopadhyay, K., & Ray, B. (2019). Assessment of Rainfall Thresholds for Rain-Induced Landslide Activity in North Sikkim Road Corridor

- in Sikkim Himalaya, India. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 19(3), 1-14. Recuperado de <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2019/v19i330086>
30. Bhattacharjee D., Viswanadham B. (2019). Use of Hybrid Geosynthetics in Mitigating Rainfall-Induced Slope Instability. *Geotechnics for Transportation Infrastructure*. Singapore. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-6701-4_45.
31. Chehlafi, A., Kchikach, A., Derradji, A., y Mequedade, N. (2019). Highway cutting slopes with high rainfall erosion in Morocco: Evaluation of soil losses and erosion control using concrete arches. *Engineering Geology*. Morocco. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105200>.
32. Chung, M., y Loo, V., (2019). The Effect of Rainfall Variability on Slope Stability in Canada Hill, Miri. *IOP Materials Science and Engineering*. Canada. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/495/1/012099/meta>.
33. Wang, T., Qu, Z., Yang, Z., Nichol, T., Dimitriu, D., Clarke, G., y Bowden, D. (2019). How can the UK road system be adapted to the impacts posed by climate change? By creating a climate adaptation framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. UK. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.02.007>.
34. Colombia. Agencia nacional de infraestructura(ANI,2018), vía Bogotá-Villavicencio cerrada por más de 21 derrumbes. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/>
35. Colombia. Ministerio de transporte-historia, 2011. historia de las vías en Colombia. recuperado de www.mintransporte.goc.co/historia-vias-de-colombia
36. Caballero, H. (2015). Evaluación de riesgo de Huamatambo. Gobierno regional de Huancavelica – GRH; Dirección Regional de Defensa Nacional, Seguridad Ciudadana y Defensa Civil

10 ANEXOS

1. Registro Fotográfico

Se realizó visita al punto de estudio, el kilómetro 58 de la vía Bogotá Villavicencio, donde se evidenció la magnitud del derrumbe y la afectación de la vía.

A continuación, se expone un registro de figuras donde se evidencia el punto crítico de la vía, la cual necesita una intervención de inmediato por parte de Coviandes y del estado, no solo por la afectación vial, sino por la afectación, económica y social de los ciudadanos que dependen de la vía.

Derrumbe en el municipio de Guayabetal, K58+00, vía Bogotá Villavicencio.

Derrumbe del borde de la meseta Mesa Grande

Figura 45

Deslizamiento Visita al K 58+00 Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)



Tomado de: elaboración propia

Figura 46

Talud Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)



Tomado de: elaboración propia

Peligro para los conductores

Figura 47

Peligro para el tráfico vehicular Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)



Tomado de: laboración propia

Figura 48

Obstáculos en la vía Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)



Tomado de: elaboración propia

Taponamiento de la Quebrada Tequena, principal desagüe de la montaña

Figura 49

Quebrada Tequena Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)



Tomado de: elaboración propia

Figura 50

Derrumbe Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)

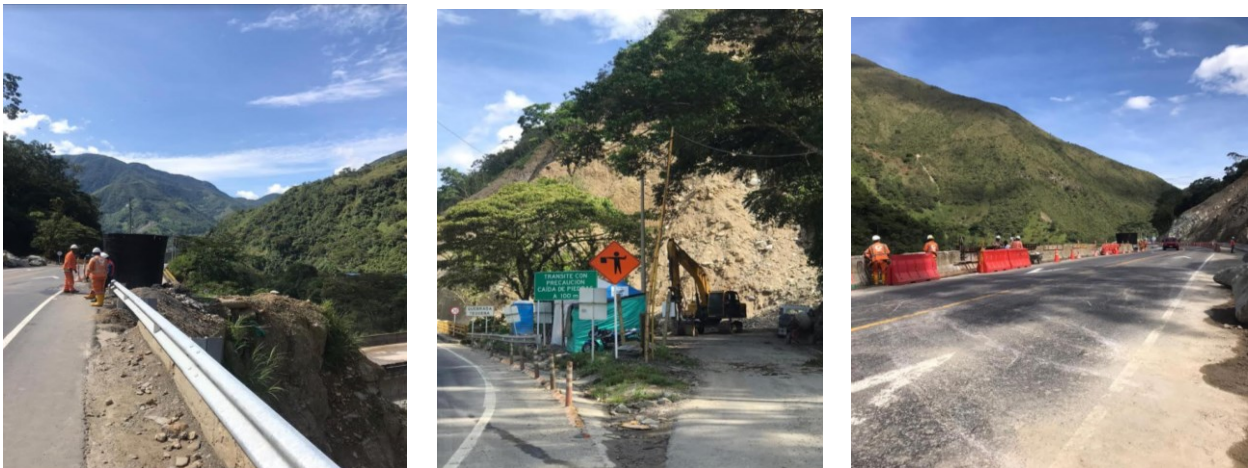


Tomado de: elaboración propia

Trabajos en la Vía

Figura 51

Trabajadores en al vía Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)



Tomado de: elaboración propia

Figura 52

Trabajos en la vía Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)



Tomado de: elaboración propia

Figura 53

Puesto de control Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019),



Tomado de: elaboración propia

Desague de la montaña, para mitigar que el agua genere derrumbes

Figura 54

Desagues Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019),



Tomado de: elaboración propia

Figura 55

Desagues Visita al K 58+00, Municipio de Guayabetal, Leiva, A. (2019)



Tomado: elaboración propia

2. Tablas datos Precipitaciones Anuales y mensuales de las estaciones de Susumoco y Monterredondo

Tabla 14. *Precipitaciones Anual estación de Monterredondo*

Código Estación	Nombre Estación,	Municipio,	Descripción Serie,	Frecuencia,	Año	Valor, (mm)
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1952	50,2
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1953	102,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1954	51,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1955	92,6
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1956	72,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1957	44,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1958	82,6
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1959	105,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1960	57,8
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1961	43,4
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1963	105,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1964	54,6
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1965	66,4
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1966	74,6
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1967	56,6
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1968	58,6
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1969	61,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1970	77,4
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1971	78,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1979	56,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1980	29,4
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1981	92,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1987	72,5
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1988	100,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1989	72,2
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1990	69,2
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1991	66,2
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1992	88,1
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1993	78,3
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1994	52,4
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1995	68,1
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1996	67,6
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1997	65,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1998	105,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1999	106,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2000	77,0

35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2001	75,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2002	52,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2003	108,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2004	63,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2005	115,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2006	67,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2007	84,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2008	45,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2009	91,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2010	73,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2011	99,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2012	45,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2013	69,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2014	66,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2015	84,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2016	60,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2017	95,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2018	77,0
35020010	MONTERREDONDO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2019	105,0

Elaboración propia

Tabla 15. *Precipitaciones Anual estación de Susumuco*

Código Estación	Nombre Estación,	Municipio,	Descripción Serie,	Frecuencia,	Año	Valor, (mm)
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1962	150
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1963	248
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1964	360
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1965	360
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1969	113
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1970	135
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1971	140
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1972	165
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1973	235
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1974	126
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1975	202
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1976	141
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1977	102
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1978	117
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1979	143
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1980	156
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1981	164
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1982	146

35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1983	138
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1984	118
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1985	141
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1986	168
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1987	149
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1988	135
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1989	147
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1990	131
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1991	116
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1992	143
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1993	131
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1994	120
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1995	130
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1996	118
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1997	137
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1998	164
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/1999	136
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2000	106
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2001	110
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2002	106
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2003	138
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2004	91
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2005	150
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2006	166
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2007	148
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2008	127
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2009	123
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2010	92
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2011	145
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2012	97
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2013	107
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2014	106
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2015	136
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2016	110
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2017	140
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2018	180
35020020	SUSUMUCO	Guayabetal,	Precipitación acumulada anual en un día	Anual	1/01/2019	159

Elaboracion propia

Tabla 16. *Precipitaciones Mensual estación de Mnterredondo*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1951	0	0	0	0	0	0	0	0	28	50,2	14,4	13,8	50,2
1952	15,8	7,5	7	73	60,6	102	22	41,4	39,8	20,3	12,7	3,7	102
1953	2,5	9,5	7,8	25,4	29,9	0	50	51	20	1,41	9,4	16	51
1954	24	19,5	26,6	16,8	71	92,6	64,2	40,2	50,8	73	28,8	41	92,6
1955	12	16,4	10,2	21,6	21	72	25	0	37,2	25,8	11	23,4	72
1956	7,2	6,8	6,8	27,2	24,4	36	44	36,8	36,2	21	40,2	21	44
1957	18,8	1,6	18,4	45,2	44,6	33,8	42,2	82,6	50,2	66,8	30,8	12	82,6
1958	7,6	2,8	15,2	25,8	23	44	40,8	47,6	105	26,2	36,2	36,6	105
1959	16,4	3,4	11,2	27	31,4	32	55,8	57,8	52,2	45,2	55,6	14	57,8
1960	51,6	34,2	18,2	10,8	36,2	38,2	42,2	41,6	43,4	39	30,2	24,6	51,6
1962	14,4	7,8	9,4	37,2	26,3	31,2	105	94	28	48	20	30	105
1963	36,6	19,6	54,6	12,3	24,4	52,2	27,6	32,6	35	29	50	26	54,6
1964	35	0	30	10	36	62	52	66,4	46	40,4	34,2	33,5	66,4
1965	22,4	0	16	26	32,2	74,6	37	30	45	21,6	26,4	24,8	74,6
1966	26,3	26	15	30	24,6	21,6	52	56,6	50	31,8	29	19,4	56,6
1967	10,8	10	18	28	33,8	44,4	58,6	0	52,2	47,6	17,4	14,4	58,6
1968	6	6,2	38,2	28	46,4	27,2	52	61	32,4	52	33,6	20,4	61
1969	51,4	17,4	15	28	44	39,4	50	57	56,4	77,4	56,4	0	77,4
1970	26,4	25,4	30	46,2	41	78	0	68	30,4	42	0	0	78
1978	0	11	12	14	45	52	56	42	56	32	38	26	56
1980	30	32	0	36	52	39	92	34	30	47	40	28	92
1986	0	0	0	0	0	44,7	71,2	72,5	30,8	15,1	16,9	45,3	72,5
1987	29,9	8	43	44,8	37,1	26,7	51,3	100	28,2	30,4	29,1	41,7	100
1988	32,2	0,3	8,6	11,5	72,2	38,7	55,3	42,4	35,8	33,2	41,1	23,2	72,2
1989	22,2	13,4	22,8	20,1	33,1	0	35,3	42,5	38,2	69,2	49,6	16,9	69,2
1990	9,1	25,5	19,5	55,3	45,3	40,7	66,2	24,1	66,1	52,9	38,9	20,2	66,2
1991	26,3	3,2	48,6	19,5	18,3	31,1	42,6	51,3	83,9	88,1	21,5	12,5	88,1
1992	8,1	20,3	9,49	43,5	78,3	31,3	38,5	51,5	52,2	72,1	28,1	32,5	78,3
1993	11,5	23,3	7,5	52,4	45,6	38,9	38,1	36,8	39,8	36,4	29,9	20,1	52,4
1994	26,3	14,3	23,8	38,5	40,9	68,1	43,1	60,5	43,4	29,1	49,2	16,1	68,1
1995	20,2	17,1	5,73	17,4	67,6	34,1	53,3	21,3	37,3	32,2	48,7	21,8	67,6
1996	20,2	9,9	46,4	8,1	42,3	61,7	21,8	56,3	38,9	65	15	22	65
1997	25	20	24	70	21	105	27	60	34	31	27	14	105
1998	10	5	26	17	31	51	106	46	39	18	32	29	106
1999	11	27	17	27	29	68	77	32	38	35	48	37	77
2000	8	10	18,4	48	28	75	36	55	46	42	31	51	75
2001	26	8	11	27	27	52	50	39	40	34	37	33	52
2002	28	7	5	52	40	108	70	43	38	61	21	34	108
2003	30	0	9	31	40	63	45	63	55	38	48	24	63
2004	14	5	32	49	24	34	115	59	28	55	21	19	115

2005	13,4	37	27	21	46	63	67	55	42	57	24	22	67
2006	9	28	18	30	49	51	49	58	84	47	27	24	84
2007	14	7	10	21	28	34	30	33	45	44	18	24	45
2008	0	15	11	14	30	91	0	65	54	29	34	40	91
2009	24	14	10	20	40	19	73	61	49	29	26	26	73
2010	16	5	20	68	52	40	53	99	44	40	31	21	99
2011	30	9	15	22	26	44	27	30	27	38	45	33	45
2012	15	5	35	42	69	38	46	40	55	51	50	21	69
2013	45	3	28	16	28	52	48	66	44	25	35	29	66
2014	14	6	21	20	57	41	56	84	63	23	27	18	84
2015	25	30	12	42	60	40	39	60	45	22	31	19	60
2016	11	5	22	25	35	59	42	61	95	53	27	20	95
2017	18	30	21	42	29	77	50	52	43	73	28	38	77
2018	20	10	3	14,8	44	93	48	35	105	35	0	0	105
2019	0	0	0	0	0	0	47	41	48,1	25	0	0	48,1
MAX	51,6	37	54,6	73	78,3	108	115	100	105	88,1	56,4	51	115

Elaboración propia

Tabla 17. *Precipitaciones mensual estación de Susumuco*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1961	0	0	0	0	0	120	60	120	120	150	78	138	150
1962	32	8	88	248	120	130	60	60	50	50	60	60	248
1963	24	40	200	28	120	80	80	360	200	360	180	200	360
1968	40	0	200	141	360	43	113	63	60	105	92	70	360
1969	24	42	84	49	120	70	135	0	34	72	89	120	135
1970	70	31	55	63	80	140	120	120	80	80	70	45	140
1971	78	40	70	55	140	90	110	165	140	100	0	143	165
1972	39	50	63	51	60	115	135	90	235	0	0	35	235
1973	42	15	8,4	43	90	84	81	50	126	121	65	63	126
1974	58	39	37	30	94	103	202	75	105	111	115	53	202
1975	9	22	13	34	62	92	141	129	98	47	59	85	141
1976	69	19	32	37	67	102	58	73	50	49	86	87	102
1977	34	4	29	88	75	93	84	117	100	89	52	43	117
1978	61	30	23	52	56	143	92	76	67	114	91	89	143
1979	100	11	2,8	45	156	89	76	84	84	76	110	92	156
1980	129	141	60	87	116	118	164	57	50	77	85	0	164
1981		78	73	54	57	94	133	104	57	129	127	146	146
1982	64	24	59	45	100	91	97	69	138	64	98	38	138
1983	29	37	88	19	110	48	118	93	78	109	83	64	118
1984	56	79	63	62	75	67	141	81	104	77	56	46	141
1985	59	20	15	49	54	138	168	105	153	36	98	23	168
1986	18	34	91	47	106	149	74	132	98	63	56	112	149
1987	78	21	99	64	80	61	122	135	96	128	133	51	135

1988	63	4,5	27	53	92	47	106	86	69	61	147	61	147
1989	69	36	74	58	56	46	75	46	131	66	97	54	131
1990	9,6	27	116	92	35	66	91	67	82	70	68	47	116
1991	110	42	50	30	79	128	143	103	87	126	79	29	143
1992	6,8	59	23	64	50	83	79	72	79	131	69	55	131
1993	30	54	16	53	120	86	72	88	60	63	64	23	120
1994	76	28	49	20	110	130	107	112	95	65	80	32	130
1995	52	72	10	40	92	91	92	52	118	94	92	97	118
1996	30	30	103	50	79	91	42	108	73	137	44	48	137
1997	46	34	57	140	122	137	72	129	124	93	164	101	164
1998	22	15	88	45	65	116	136	114	98	45	67	89	136
1999	28	72	38	47	58	86	106	63	60	82	52	81	106
2000	26	19	25	59	43	110	58	64	106	105	90	58	110
2001	46	13	32	26	61	100	103	58	82	106	51	88	106
2002	38	12	15	92	64	107	138	95	95	69	84	64	138
2003	67	1	15	86	48	64	87	50	68	91	83	46	91
2004	76	13	73	67	91	78	134	143	130	150	50	133	150
2005	15	25	56	48	83	90	119	105	63	166	67	75	166
2006	49	64	52	74	123	100	85	57	148	109	73	47	148
2007	46	23	17	53	53	36	127	93	86	55	64	82	127
2008	37	6,5	13	25	110	104	0	94	123	60	85	53	123
2009	0	39	15	76	82	45	0	61	83	66	62	92	92
2010	26	0	40	84	87	73	77	145	74	61	55	86	145
2011	96	52	6	51	79	75	65	97	60	80	33	68	97
2012	23	4	61	52	101	80	69	52	80	89	55	62	101
2013	107	3	48	60	106	99	51	80	57	49	48	34	107
2014	52	44	50	47	136	113	87	98	74	43	57	30	136
2015	55	110	20	55	87	72	57	101	61	50	50	80	110
2016	45	2	9,5	25	110	88	70	110	140	140	70	125	140
2017	140	37	26	108	48	180	114	79	112	85	85	83	180
2018	75	36	2	35	140	159	95	90	140	90	85	68	159
2019	25	35	30	75	95	105	98	135	148	88	0	0	148
MAX	140	141	200	248	360	180	202	360	235	360	180	200	360

Elaboración propia

Tabla 18. *Distribución de probabilidades pluviométricas mediante el método de Gumbel, estación Monterredondo (1952 a 2019).*

	Periodo	Mes	Precipitación en milímetros	
		Precipitación acumulada.	x	$x_i - x$
1	1951	50,2	50,20	590,6667405
2	1952	102	102,00	756,0500132
3	1953	51	51,00	552,4209223
4	1954	92,6	92,60	327,4783769
5	1955	72	72,00	6,268195041
6	1956	44	44,00	930,4718314
7	1957	82,6	82,60	65,55110413
8	1958	105	105,00	930,028195
9	1959	57,8	57,80	279,0114678
10	1960	51,6	51,60	524,5765587
11	1962	105	105,00	930,028195
12	1963	54,6	54,60	396,1547405
13	1964	66,4	66,40	65,66892231
14	1965	74,6	74,60	0,00928595
15	1966	56,6	56,60	320,540195
16	1967	58,6	58,60	252,9256496
17	1968	61	61,00	182,348195
18	1969	77,4	77,40	8,388922314
19	1970	78	78,00	12,22455868
20	1978	56	56,00	342,3845587
21	1980	92	92,00	306,1227405
22	1986	72,5	72,50	4,014558678
23	1987	100	100,00	650,0645587
24	1988	72,2	72,20	5,306740496
25	1989	69,2	69,20	28,12855868
26	1990	66,2	66,20	68,95037686
27	1991	88,1	88,10	184,8611041
28	1992	78,3	78,30	14,41237686
29	1993	52,4	52,40	488,5707405
30	1994	68,1	68,10	41,00655868
31	1995	67,6	67,60	47,66019504
32	1996	65	65,00	90,31910413
33	1997	105	105,00	930,028195
34	1998	106	106,00	992,0209223
35	1999	77	77,00	6,231831405
36	2000	75	75,00	0,24637686

37	2001	52	52,00	506,4136496
38	2002	108	108,00	1122,006377
39	2003	63	63,00	132,3336496
40	2004	115	115,00	1639,955468
41	2005	67	67,00	56,30455868
42	2006	84	84,00	90,18092231
43	2007	45	45,00	870,4645587
44	2008	91	91,00	272,1300132
45	2009	73	73,00	2,260922314
46	2010	99	99,00	600,0718314
47	2011	45	45,00	870,4645587
48	2012	69	69,00	30,29001322
49	2013	66	66,00	72,3118314
50	2014	84	84,00	90,18092231
51	2015	60	60,00	210,3554678
52	2016	95	95,00	420,1009223
53	2017	77	77,00	6,231831405
54	2018	105	105,00	930,03
55	2019	48,1	48,10	697,15
Suma			4097,7	19950,4

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. *Distribución de probabilidades pluviométricas mediante el método de Gumbel, estación Susumuco (1961 a 2019).*

Periodo	Mes	Precipitación en milímetros		
		Precipitación acumulada	x	$xi - x$
1	1961	150	150,00	8,252561983
2	1962	248	248,00	10175,30711
3	1963	360	360,00	45314,79802
4	1968	360	360,00	45314,79802
5	1969	135	135,00	147,0707438
6	1970	140	140,00	50,79801653
7	1971	165	165,00	319,4343802
8	1972	235	235,00	7721,616198
9	1973	126	126,00	446,3616529
10	1974	202	202,00	3011,016198
11	1975	141	141,00	37,54347107
12	1976	102	102,00	2036,470744
13	1977	117	117,00	907,652562
14	1978	143	143,00	17,03438017
15	1979	156	156,00	78,72528926

16	1980	164	164,00	284,6889256
17	1981	146	146,00	1,270743802
18	1982	138	138,00	83,30710744
19	1983	118	118,00	848,3980165
20	1984	141	141,00	37,54347107
21	1985	168	168,00	435,6707438
22	1986	149	149,00	3,507107438
23	1987	135	135,00	147,0707438
24	1988	147	147,00	0,016198347
25	1989	131	131,00	260,0889256
26	1990	116	116,00	968,9071074
27	1991	143	143,00	17,03438017
28	1992	131	131,00	260,0889256
29	1993	120	120,00	735,8889256
30	1994	130	130,00	293,3434711
31	1995	118	118,00	848,3980165
32	1996	137	137,00	102,5616529
33	1997	164	164,00	284,6889256
34	1998	136	136,00	123,8161983
35	1999	106	106,00	1691,452562
36	2000	110	110,00	1378,43438
37	2001	106	106,00	1691,452562
38	2002	138	138,00	83,30710744
39	2003	91	91,00	3150,270744
40	2004	150	150,00	8,252561983
41	2005	166	166,00	356,1798347
42	2006	148	148,00	0,761652893
43	2007	127	127,00	405,1071074
44	2008	123	123,00	582,1252893
45	2009	92	92,00	3039,016198
46	2010	145	145,00	4,525289256
47	2011	97	97,00	2512,743471
48	2012	101	101,00	2127,725289
49	2013	107	107,00	1610,198017
50	2014	136	136,00	123,8161983
51	2015	110	110,00	1378,43438
52	2016	140	140,00	50,79801653
53	2017	180	180,00	1080,616198
54	2018	159	159,00	140,96
55	2019	148	148,00	0,76
55		<i>Suma</i>	8092,0	142740,1

Fuente: elaboración propia