

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Estudio de la precipitación como factor causante de los movimientos en masa, en el municipio de Toledo-Norte de Santander proyecto SGC – bloque 03 convenio 034

Juan Diego Barreto Marin

**Universidad De Pamplona
Facultad De Ingenierías Y Arquitectura
Programa De Ingeniería Ambiental
Pamplona- Norte De Santander
Año 2021**

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Estudio de la precipitación como factor causante de los movimientos en masa, en el municipio de Toledo-Norte de Santander proyecto SGC – bloque 03 convenio 034

Juan Diego Barreto Marin

Director

M.Sc., Ph.D. Fidel Antonio Carvajal Suarez

Codirector

M.Sc. Janer Rafael Cantillo Romero

Trabajo final de Pasantía

Presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

**Universidad De Pamplona
Facultad De Ingenierías Y Arquitectura
Programa De Ingeniería Ambiental
Pamplona- Norte De Santander
Año 2021**

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

JURADOS

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas, por regalarme la vida, la salud y darme la oportunidad de luchar por mis metas. A mis padres Emilcen Marin Fandiño y mi padre Jeremías Barreto Barreto, siendo las personas que incondicionalmente me han apoyado en este proceso, gracias por los consejos que desde niño me dieron y por su esfuerzo incansable a la hora de suplir las necesidades económicas para que hoy pueda escalar un peldaño más en la vida, gracias por sus oraciones las cuales me ayudaron mucho porque Dios me dio las fuerzas en los momentos difíciles para afrontar los obstáculos y seguir adelante. A mi hermano Dani Ivan Kaleht Barreto Marin gracias por estar acompañando a mis papás lo quiero mucho.

A mi novia Laura Martínez Navarro que llego en el momento que más lo necesitaba y estuvo incondicionalmente apoyándome ella es testigo de lo que he vivido en el proceso, gracias por los consejos. A los amigos y docentes que aportaron a mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios que es el dador de la vida, quien me ha permitido llegar hasta este punto de mi vida.

Agradezco el apoyo incondicional de mi familia, por que creyeron en que si se podía lograr.

Agradezco a mi novia por ser la persona que me apoyo en los momentos difíciles y que siempre me motiva a ser mejor.

Agradezco a los profesores que han contribuido en mi formación como profesional.

Agradezco al Profesor Fidel Antonio Carvajal Suarez, por su labor y dedicación como profesional y por la guía que me brindo para la culminación de este proyecto.

Agradezco a las familias de la ciudad de pamplona que nos acogieron en sus hogares y que nos brindaron un plato de comida, un techo donde dormir.

A todas muchas bendiciones de parte del señor Jesús, les deseo lo mejor y espero poder aportar a la sociedad con lo mejor de mí.

INDICE

| | |
|--------------------------------------|----|
| AGRADECIMIENTOS..... | 4 |
| INDICE..... | 5 |
| RESUMEN..... | 12 |
| ABSTRACT..... | 13 |
| Capítulo 1..... | 14 |
| 1.1. Problema De Investigación..... | 14 |
| 1.2. Planteamiento Del Problema..... | 14 |
| 2. JUSTIFICACIÓN..... | 17 |
| 3. OBJETIVOS..... | 18 |
| 3.1. Objetivo general..... | 18 |
| 3.2. Objetivos específicos..... | 18 |
| Capítulo II..... | 19 |
| 2.1 Introducción..... | 19 |
| 2.2 Marco Referencial..... | 21 |
| 2.2.1 Antecedentes..... | 21 |
| 2.2.2 Marco Contextual..... | 30 |
| 2.2.2. Marco Contextual..... | 32 |
| 2.2.3 Marco teórico..... | 35 |
| 2.2.3 Marco conceptual..... | 62 |

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| | | |
|--|--|-----|
| 2.2.4 | Marco legal | 66 |
| Capitulo III | | 68 |
| 3.1 | Metodología | 68 |
| Capitulo IV | | 92 |
| 4.1 | Análisis y resultados | 92 |
| 4.1.1 | Selección de las estaciones y de parámetros climatológicos con registros disponibles en el área de estudio | 92 |
| 4.1.2 | Recopilación de información bibliográfica sobre posibles movimientos en masa para el área de estudio | 95 |
| 4.1.3 | Análisis de Homogeneidad y consistencia de los registros diarios de precipitación | 99 |
| 4.1.4 | Análisis climatológico de la zona de estudio..... | 125 |
| 4.1.5 | Análisis de la precipitación como factor causante de los movimientos en masa | |
| | 169 | |
| 4.2 | Conclusiones y recomendaciones | 181 |
| 4.3 | Bibliografía | 184 |
| ANEXOS | | 189 |
| ANEXO 1 – A: GRÁFICAS DE SERIES DE TIEMPO DE PRECIPITACIÓN DIARIA (mm) | | 189 |
| ANEXO 1 – B: DIAGRAMAS DE CAJA Y ESTADÍSTICAS DE PRECIPITACIONES MENSUALES | | 8 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|-----------------------|-----|
| Tabla 1. | 92 |
| Tabla 2. | 95 |
| Tabla 3. | 97 |
| Tabla 4. | 98 |
| Tabla 5. | 103 |
| Tabla 6. | 104 |
| Tabla 7. | 110 |
| Tabla 8. | 127 |
| Tabla 9. | 132 |
| Tabla 10. | 136 |
| Tabla 11. | 146 |
| Tabla 12. | 151 |
| Tabla 13. | 153 |
| Tabla 14. | 155 |
| Tabla 15. | 159 |
| Tabla 16. | 168 |
| Tabla 17. | 168 |
| Tabla 18. | 178 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|-------------------------|-----|
| Figura 1. | 32 |
| Figura 2. | 39 |
| Figura 3. | 42 |
| Figura 4. | 50 |
| Figura 5. | 51 |
| Figura 6. | 52 |
| Figura 7. | 53 |
| Figura 8. | 54 |
| Figura 9. | 56 |
| Figura 10. | 57 |
| Figura 11. | 60 |
| Figura 12. | 61 |
| Figura 13. | 70 |
| Figura 14. | 76 |
| Figura 15. | 89 |
| Figura 16. | 94 |
| Figura 17. | 100 |
| Figura 18. | 102 |
| Figura 19. | 102 |
| Figura 20. | 108 |
| Figura 21. | 111 |
| Figura 22. | 112 |

| | |
|-------------------------|-----|
| Figura 23. | 113 |
| Figura 24. | 114 |
| Figura 25. | 114 |
| Figura 26. | 115 |
| Figura 27. | 116 |
| Figura 28. | 117 |
| Figura 29. | 117 |
| Figura 30. | 118 |
| Figura 31. | 119 |
| Figura 32. | 120 |
| Figura 33. | 120 |
| Figura 34. | 122 |
| Figura 35. | 123 |
| Figura 36. | 125 |
| Figura 37. | 126 |
| Figura 38. | 128 |
| Figura 39. | 130 |
| Figura 40. | 130 |
| Figura 41. | 133 |
| Figura 42. | 134 |
| Figura 43. | 135 |
| Figura 44. | 138 |
| Figura 45. | 139 |

| | |
|-------------------------|-----|
| Figura 46. | 140 |
| Figura 47. | 142 |
| Figura 48. | 143 |
| Figura 49. | 145 |
| Figura 50. | 147 |
| Figura 51. | 148 |
| Figura 52. | 150 |
| Figura 53. | 152 |
| Figura 54. | 154 |
| Figura 55. | 157 |
| Figura 56. | 160 |
| Figura 57. | 161 |
| Figura 58. | 162 |
| Figura 59. | 163 |
| Figura 60. | 164 |
| Figura 61. | 165 |
| Figura 62. | 166 |
| Figura 63. | 167 |
| Figura 64. | 170 |
| Figura 65. | 171 |
| Figura 66. | 172 |
| Figura 67. | 173 |
| Figura 68. | 174 |

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| | |
|-------------------------|-----|
| Figura 69. | 176 |
| Figura 70. | 177 |
| Figura 71. | 179 |
| Figura 72. | 179 |

RESUMEN

Las lluvias, el uso insostenible del suelo, la deforestación, la desprotección de las fuentes hídricas, la alteración de las corrientes de agua, la actividad minera y la estructura del suelo; son los detonantes más frecuentes de los movimientos en masa en el territorio nacional, viéndose afectados las poblaciones debido a la falta de preparación y conocimiento de estos fenómenos, la poca inversión del estado en la prevención. Una de las principales desventajas es que no se tiene información de movimientos en masa basados en eventos específicos que nos permitan establecer las relaciones entre la fecha de activación, el movimiento en masa y sus características identificadas. Es por ello que se realizó un estudio cuyo propósito fue determinar la precipitación como factor causante de movimientos en masa, en el municipio de Toledo norte de Santander, la metodología utilizada que se aplicó, fue obtenida de la guía de amenaza por los movimientos en masa escala 1:25.000 del servicio Geológico colombiano, se construyó una base de datos de movimientos en masa, a partir de la recopilación de información secundaria y se utilizó estaciones meteorológicas de la zona de estudio de las cuales se descargaron bases de datos de precipitación diaria, posteriormente se obtuvo un análisis climático de la zona. A través de la información obtenida, Se determinó la lluvia acumulada antecedente o lluvia a largo plazo –LAA- (1,3,5,15 días y 1 año) para cada movimiento en masa, arrojando como resultado la caracterización de las veredas donde inciden estos fenómenos, los meses en que se presentan la mayor probabilidad de que se pueda detonar un movimiento en masa.

Palabras claves: Deslizamiento, Movimientos en masa, Precipitación, lluvia antecedente.

ABSTRACT

Rains, unsustainable land use, deforestation, lack of protection of water sources, alteration of water currents, mining activity and soil structure; They are the most frequent triggers of mass movements in the national territory, populations being affected due to the lack of preparation and knowledge of these phenomena, the little investment of the state in prevention. One of the main disadvantages is that there is no information on mass movements based on specific events that are not established in the relationships between the activation date, the mass movement and its identified characteristics. That is why a study was carried out whose purpose was to determine precipitation as a factor causing mass movements, in the municipality of Toledo north of Santander, the methodology used that was applied, was obtained from the threat guide for mass movements 1: 25,000 scale of the Colombian Geological Service, a database of mass movements was built, based on the collection of secondary information and used meteorological stations in the study area, which were downloaded into daily precipitation databases Subsequently, a climatic analysis of the area was obtained. Through the information obtained, the accumulated antecedent or long-term rain -LAA- (1,3,5,15 days and 1 year) was determined for each mass movement, resulting in the characterization of the sidewalks where they affect these phenomena, the months in which they occur, present the highest probability that a mass movement can be detonated.

Keywords: Landslide, Mass movements, Precipitation, antecedent rain.

Capítulo 1

1.1. Problema De Investigación

1.2. Planteamiento Del Problema

El territorio Colombiano tiene una amplia variedad de accidentes geográficos, los cuales dividen en una región montañosa al occidente y una región plana al oriente. Las principales cordilleras son tres: oriental, central y occidental; que junto con la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de la Macarena y más pequeñas, definen las características geomorfológicas del país. Estas condiciones topográficas son el primer factor natural del territorio para que se presenten movimientos en masa. El fenómeno de la niña uno de los sucesos que generó mayor impacto en los sectores de producción en el año 2010 y 2011; ha ocasionado deslizamientos o movimientos en masa en las partes montañosas y en las planas inundaciones esto genera muchas pérdidas y afecciones a más del 90% de los municipios del país (climatico I. d., s.f.).

En la historia de Colombia han ocurrido un sin número de afectados por los movimientos en masa, tenemos el caso de la afección de las vías del país, frecuentemente la vía de Bogotá-Villavicencio, y muchas veces dejando casos de víctimas como la muerte de 500 personas en el deslizamiento de Villatina en Medellín, quebrada Blanca, la destrucción de gramalote en norte de Santander en el año 2010.

Sumado a lo anterior el territorio de Toledo está localizado geográficamente al sector que corresponde el centro – nororiental del territorio colombiano, sobre el flanco / vertiente oriental de la cordillera Oriental, en las estribaciones de la Sierra Nevada del Cocuy, el municipio presenta un relieve básicamente montañoso con una reducida parte del piedemonte llanero; conformando el establecimiento múltiple de zonas de vida y aportando, con un sistema hidrológico exuberante, grandes cantidades de agua a la cuenca del Orinoco. Es afectado de manera frecuente por procesos de remoción en masa y erosión, convirtiéndose en los eventos más recurrentes, los cuales se registran desde el año 2000 en temporadas de lluvias (PMGRD, 2014-2019), la mayor parte de estos movimientos son ocasionados por intensas precipitaciones que saturan los suelos, aumentando el escurrimiento superficial y de esta forma ocasionando múltiples deslizamientos. En años pasados Toledo ha sufrido, en diversas ocasiones, múltiples daños ocasionados por fenómenos naturales, entre los que destaca los deslizamientos y movimientos de flujo “fenómenos de remoción en masa”, causados por lluvias extremas que han caído sobre la región. Se conocen según el reportaje ELTIEMPO del 19 septiembre del 2018 en la cual se relatan varios episodios de movimientos en masa, ya que ha caído en 6 meses el agua que llueve en 3 años, dejando afectaciones en la zona a diferentes familias y evacuaciones de sus viviendas por los deslizamientos, en total se han gastado 400 millones de pesos en esta contingencia, mucho más de los 70 millones de pesos que se destinan para este tipo de eventos (Castillo, 2018).

Debido a lo que se mencionó anteriormente, surge la necesidad de estudiar y analizar las lluvias extremas que han ocurrido en la zona de Toledo norte de Santander, con fines de identificar los valores críticos o umbrales que han sido capaces de generar los

movimientos en masa.

Estos umbrales de lluvia nos permiten identificar los puntos más críticos del municipio de Toledo, de esta forma se realiza la zonificación del riesgo para planeación y comité de gestión del riesgo para que estos entes tengan conocimiento sobre las zonas en que se desencadenan estos episodios y puedan tomar decisiones a la hora en que se vuelva a presentar estos fenómenos, desarrollando proyectos de alertas tempranas.

La investigación pretende analizar los datos de las estaciones climatológicas (IDEAM), presentes en el municipio de Toledo norte de Santander y la recopilación de información sobre movimientos en masa, además de implementar la metodología expuesta por el servicio geológico Colombiano que permita demostrar la relación de la lluvia antecedente con los movimientos en masa. Este estudio se realizara a escala de 1:25000 con el concurso de las instituciones (Servicio Geológico Colombiano, Universidad Nacional, Universidad Industrial de Santander, Universidad del Cauca, Universidad de Pamplona, IDEAM y el IGAC) en el marco del convenio 034, a la Universidad de pamplona le correspondió los municipios de Toledo-Norte Santander, Chiscas y Curaba de Boyacá.

Lo anterior nos da la base para plantear la siguiente pregunta de investigación.
¿Cómo influye la precipitación en los movimientos en masa, en el municipio de Toledo-Norte de Santander proyecto SGC - bloque 03 convenio 034?

2. JUSTIFICACIÓN

Es importante que en el municipio de Toledo Norte de Santander existan estudios que permitan determinar la relación de la lluvia antecedente como factor causante de los movimientos en masa. Esta investigación analiza la importancia de los umbrales de lluvia en la detonación de los movimientos en masa. La utilidad de esta investigación radica en la identificación de puntos críticos donde se presentan estos tipos de fenómenos. Esto con la finalidad de dar a conocer a los entes de planeación y el comité de gestión de riesgos del municipio de Toledo el impacto que tienen las lluvias como factor detonante de movimientos de masas. Los entes de planeación y el comité de gestión de riesgos, deberán dar a conocer esta información a la comunidad para evitar accidentes como los que se han presentado en el pasado, también podrán usar esta información como preliminar para proyectos futuros sobre la implementación de alertas tempranas en la zona. Esto estaría a disposición de las personas del municipio viéndose beneficiadas, en diferentes aspectos como el mejoramiento del sector económico, agrícola, social, disminuyendo la cartera morosa en el banco agrario, aumentando la motivación de la población campesina para producir y la disminución de la dependencia de los subsidios del estado para sobrevivir.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Estudiar la precipitación como factor causante de los movimientos en masa, en el municipio de Toledo- Norte de Santander proyecto SGC - bloque 03 convenio 034

3.2. Objetivos específicos

- Compilar información climatológica del área de estudio e información histórica sobre movimientos en masa notificados.
- Emplear las metodologías estadísticas que requiere la serie de datos para el análisis exploratorio de las variables climatológicas.
- Realizar una descripción a partir del análisis de las variables climatológicas en el área de estudio.
- Determinar los movimientos en masa detonados a partir de los umbrales de precipitación, calculados mediante la probabilidad de Poisson para el municipio de Toledo, Norte de Santander.

Capítulo II

2.1 Introducción

La presente investigación se refiere al tema de la precipitación como factor causante de los movimientos en masa en Toledo-norte de Santander, que se puede definir como altas intensidades de lluvia que frecuentemente detonan movimientos superficiales y flujos de detritos Corominas, (2013) citado por (SGC, 2017),

La característica principal de la precipitación como factor detonante de deslizamientos es la ubicación de Toledo, ya que está localizado geográficamente al sector que corresponde el centro – nororiental del territorio colombiano, sobre el flanco / vertiente oriental de la cordillera Oriental, en las estribaciones de la Sierra Nevada del Cocuy, el municipio presenta un relieve básicamente montañoso con una reducida parte del piedemonte llanero; conformando el establecimiento múltiple de zonas de vida y aportando, con un sistema hidrológico exuberante, grandes cantidades de agua a la cuenca del Orinoco. Es afectado de manera frecuente por procesos de remoción en masa y erosión, convirtiéndose en los eventos más recurrentes, los cuales se registran desde el año 2000 en temporadas de lluvias (PMGRD, 2014-2019).

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas una de ellas es debido a la disipación de las presiones de poros positivas es muy rápida, especialmente en materiales permeables. Lluvias de baja a moderada intensidad, que se presentan por días o

semanas, pueden detonar flujos de detritos y deslizamientos profundos, siendo entonces importante la lluvia antecedente al reducir la succión del suelo e incrementar las presiones de poros positivas, especialmente en suelos de baja permeabilidad.

Brindar información sobre la identificación de puntos críticos donde se presentan estos tipos de fenómenos, fue un interés académico. A si mismo nos interesamos por dar a conocer a los entes de planeación y el comité de gestión de riesgos del municipio de Toledo el impacto que tienen las lluvias como factor detonante de movimientos de masas, dando a conocer esta información a la comunidad para evitar accidentes como los que se han presentado en el pasado y en un futuro se puedan apoyar de esta información para proyectos como la implementación de alertas tempranas en la zona, viéndose beneficiadas las personas, en diferentes aspectos, entre ellos, el mejoramiento del sector económico, agrícola, social; disminuyendo la cartera morosa en el banco agrario, aumentando la motivación de la población campesina para producir.

Durante la investigación se utilizó la metodología obtenida de la guía de amenaza por los movimientos en masa escala 1:25.000 del servicio Geológico colombiano, se construyó una base de datos de movimientos en masa, a partir de la recopilación de información secundaria y se utilizó estaciones meteorológicas de la zona de estudio de las cuales se descargaron bases de datos de precipitación diaria, posteriormente se obtuvo un análisis climático de la zona. A través de la información obtenía, Se determinó la lluvia acumulada antecedente o lluvia a largo plazo –LAA- (1,3,5,15 días y 1 año) para cada movimiento en masa, arrojando como resultado la caracterización de las veredas donde

inciden estos fenómenos, los meses en que se presentan la mayor probabilidad de que se pueda detonar un movimiento en masa.

La finalidad de este trabajo es estudiar la precipitación como factor causante de los movimientos en masa en el municipio de Toledo, en el capítulo I se define el planteamiento del problema ¿Cómo influye la precipitación en los movimientos en masa, en el municipio de Toledo- Norte de Santander proyecto SGC - bloque 03 convenio 034?. En el capítulo II se presentan antecedentes sobre la temática a nivel internacional, nacional y local, se presenta también el contexto de Toledo y se desarrolla la teoría sobre movimientos en masa, factores climáticos y factores que inciden en los movimientos en masa entre ellos la lluvia, en el marco conceptual se definen los conceptos claves de la investigación y en el marco legal se mencionan las leyes y artículos vigentes. Seguidamente el capítulo III se aborda la metodología y finalmente está el capítulo IV se hará referencia sobre la recopilación de los datos de precipitación y movimientos en masa, el análisis exploratorio de las variables, el análisis de los climas en Toledo y las lluvias a corto y largo plazo que detonan los movimientos en masa.

2.2 Marco Referencial

2.2.1 Antecedentes

2.2.1.1 Internacionales.

Se estudia los “Niveles umbrales de lluvia que generan deslizamientos: una revisión crítica” según Ramos, Trujillo, Prada en el año 2015 realizaron este estudio a nivel internacional a partir de la recopilación de una *“base de datos que sintetiza el estado del arte de umbrales de lluvia que generan movimientos de masa en todo el mundo.”* El objetivo principal consiste en *“analizar los datos en función de la clasificación climática de Köppen y el área para la cual fue generada”* la metodología consiste en determinar *“los diferentes tipos de funciones que relacionan lluvias umbrales y deslizamientos de todo el mundo fueron extraídos de artículos que presentaran una ecuación o un umbral que limita la cantidad de lluvia que se necesita para que se genere un proceso de remoción en masa. La información recopilada se organizó en un listado de 244 funciones que relacionan lluvia y deslizamientos, reportadas por 60 autores, de donde se extrajo información dividida en cuatro grandes categorías: información bibliográfica, datos geográficos, datos climáticos y tipo de modelo lluvia-deslizamiento. En primer lugar, se clasifican los umbrales en cuatro categorías: empíricos, regresivos, probabilísticos y basados en la física. En este apartado se agruparon los umbrales en cinco categorías de escalas espaciales: global, continental, subcontinental, regional y local.”* Como resultado de este estudio, los 244 umbrales relacionados con movimientos en masa donde fueron graficados y se evidencio que los umbrales están generados para zonas montañosas en todo el mundo, y se distribuyen en todos los grupos climáticos considerados por Köppen. *“Los umbrales pueden ser clasificados por extensión (área), para la cual fueron generados en local, regional, subcontinental, continental y global. Los umbrales para pequeñas escalas, como la local, son considerados para una configuración climática y geomorfológica local. Los umbrales regionales, para zonas con características meteorológicas, climáticas y*

fisiográficas similares. Los umbrales para escala subcontinental, continental y global establecen un mínimo nivel de precipitación para grandes extensiones o general (para todo el planeta), por debajo del cual no se producen deslizamientos. Las escalas subcontinental, continental y global pueden ser relevantes y aplicables de forma indicativa cuando no se han generado estudios a escala espacial, regional o local. Sin embargo, el uso de escalas mayores a la regional en una zona específica puede generar numerosas falsas alarmas. Es decir, la aplicabilidad de los umbrales generados a escala subcontinental a global tiene un carácter limitado para que sean usados como base de conocimiento para sistemas de alertas tempranas de deslizamientos disparados por lluvias.” Como conclusión los umbrales de precipitación deben de ser en gran medida para escala locales, de modo que tengan en cuenta intrínsecamente las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de la zona. “Además, es importante tener un registro histórico de eventos de lluvia que hayan generado deslizamientos lo suficientemente grandes para generar relaciones de tipo estocástico, donde a partir de las variables de entrada se pueda determinar una probabilidad de generación de deslizamientos dado uno o un conjunto de variables relacionadas con lluvia”. No es muy recomendable determinar los umbrales a gran escala, debido a que las relaciones generadas para grandes extensiones de tierra pueden perder el contenido intrínseco de las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de la zona, produciendo así múltiples falsas alarmas por deslizamientos (Ramos Cañón, Trujillo Vela, & Prada Sarmiento, 2015).

En la universidad de Bío-Bío Chile Concepción según el autor Pradenas 2013, desarrollo una investigación sobre “umbral empírico de deslizamiento por precipitación,

para la provincia de Concepción”, su objetivo principal es determinar un umbral empírico de precipitación, en base a estudios previos en la zona, donde se busca primero que todo analizar los criterios utilizados para la propuesta de cada umbral, para luego analizar y identificar similitudes y diferencias de los umbrales. Para cumplir estos objetivos se analizó los estudios previos para la recopilación y construcción de una nueva base de datos de deslizamientos para la ruta CH-152, Autopista del Itata, y una base de datos de precipitación *“con registros de estaciones pluviométricas de la DGA, las que miden cantidad de agua caída diariamente ; posteriormente a cada movimiento en masa se le asignó una serie de precipitación histórica correspondiente a la estación de lluvia que comprendiera el área de influencia del lugar donde ocurrió el evento, finalmente se calcularon la lluvia acumulada 1, 3, 5 y 7 días y la lluvia acumulada antecedente 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días para cada deslizamiento”*. Los resultados pertinentes para esta investigación determinan que *“la lluvia a corto plazo de 1 día presenta un umbral máximo de 40 mm para todas las combinaciones de LAA. En tanto que la LAA presenta una variación que se incrementa desde los 90 mm para la LAA de 5 días, hasta 800 mm para la LAA de 90 días. Sólo a partir de la LAA de 30 días se logra diferenciar un umbral mínimo alrededor de los 20 mm, bajo el cual unos pocos movimientos en masa ocurren, e incrementa a 40 mm para la LAA de 60 días y llega hasta los 80 mm para la LAA de 90 días. se aprecian valores similares, esto puede explicarse dado que, si bien ambas rutas se encuentran alejadas, ambas están en la provincia bajo un mismo clima, y comparten una formación geológica común, denominado como batolito costero, en donde en general predomina el tipo de suelo conocido usualmente como maicillo, que según clasificación USCS corresponde a Arena Limosa (SM) , en mayor o menor porcentaje de cada*

componente u otros dependiendo del sector, mayores detalles podrían ser aportados por umbrales físicos, sin embargo escapa de los alcances de esta investigación”. En este estudio se concluye que “Los umbrales máximos son de poca utilidad como medida de prevención, ya que sólo indican el umbral por debajo del cual ya ha ocurrido el gran porcentaje de deslizamientos de suelo. La situación es diferente para los umbrales mínimos, los cuales son determinantes para anticiparse a los deslizamientos, ya que estos indican la cantidad de lluvia por encima de la cual se incrementan de modo drástico las probabilidades de que ocurran deslizamientos de suelo. Sin embargo ambos datos resultan útiles, al ser complementados con umbrales físicos que asocien tipo de suelo y sus propiedades permeables, para el desarrollo de medidas de mitigación y cálculo de estabilidad de taludes” (Pradenas González, 2013).

2.2.1.2 Nacionales.

En Colombia en el departamento de Antioquia según Moreno, Vélez, Montoya y Rhenals; estudiaron “La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria” los objetivos de esta investigación es estudiar la relación entre la lluvia y los deslizamientos reportados en el departamento de Antioquia para el período comprendido entre 1929 y 1999, Realizar la georreferenciación de 405 deslizamientos posiblemente producidos por lluvia en la región de estudio y efectuar el análisis de la ocurrencia de los deslizamientos durante las fases cálida y fría del fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation) y el ciclo intraanual de la precipitación en Colombia. La metodología empleada para este estudio se define en la determinaron de los

405 deslizamientos, a los cuales se les hizo el procedimiento de georreferenciación (latitud y longitud), mediante la ayuda de mapas a escala 1:10.000 y 1:25.000 del Geográfico Agustín Codazzi. Se seleccionaron 41 estaciones de registro diario de precipitaciones perteneciente a la región de Antioquia y departamentos cercanos. Para el análisis de la variabilidad del número de deslizamientos se desplegara la serie de tiempo de los eventos reportados, donde se estudiara la posible incidencia de las dos fases del fenómeno ENSO sobre los movimientos en masa. *“Se realizará el análisis de la lluvia acumulada de 3, 5, 10 y 15 días antecedente a los deslizamientos, registrada en estaciones cercanas al sitio del movimiento en masa, con radios de búsqueda de 4, 5, 6, 11 y 16 kilómetros de distancia, para identificar relaciones generalizadas de lluvia acumulada y la ocurrencia de deslizamientos, tratando de entender la dinámica lluvia-suelo que genera este tipo de eventos y avanzar hacia una aproximación matemática del fenómeno físico.”* Los resultados de este trabajo nos dicen que existen contundentes evidencias en Colombia sobre la influencia del ENSO en su hidrología. Se observa también que en los años recientes los fenómenos de remoción en masa van en aumento esto debido al crecimiento de las conexiones, comunicaciones y la población en el país. El análisis del número de deslizamientos según este estudio ocurrió en el fenómeno ENSO la niña, mientras que en el niño muestra lo contrario. Como conclusión de este trabajo se tiene que *“los dos períodos húmedos anuales tienen influencia directa sobre el número promedio de deslizamientos ocurridos en cada mes, pero existe un efecto de rezago sobre el número de deslizamientos mensuales respecto al ciclo anual de la lluvia en Antioquia, dado por el almacenamiento de agua en el suelo. Febrero es el mes de menor número de deslizamientos (menos del 3% del total anual), siendo enero el mes más seco del año. Lo anterior favorece la condición*

de baja humedad antecedente para generación de deslizamientos. El mes con más alta probabilidad de deslizamientos desencadenados por la lluvia en Antioquia es octubre con una ocurrencia promedio del 18% de los que hay en el año” (Moreno, Vélez, Montoya, & Rhenals, 2006).

Este trabajo corresponde a Mayorga 2003, quien realizó la: “determinación de umbrales de lluvia detonantes de deslizamientos en Colombia” El presente proyecto busca contribuir con una evaluación semicuantitativa de la relación existente entre la lluvia y los deslizamientos, mediante un análisis estadístico que permita establecer la relación existente entre los períodos de lluvia y los deslizamientos registrados en las distintas regiones del país. *“Los resultados de esta investigación permiten ajustar el factor detonante del modelo de pronóstico que desarrolla el IDEAM. Los métodos que se utilizaron son: análisis de lluvia acumulada, la cual consiste en evaluar la lluvia acumulada, como agente detonante de un deslizamiento, y con base en esta se determinan sus umbrales, aplicando el método de la lluvia crítica. Este método se basa en el cálculo de la lluvia acumulada, la cual se clasifica por intervalos de tiempo, y con base en éstos, se hace un análisis probabilístico con el fin de obtener los umbrales de lluvia detonante para todo el país. Dicho análisis, se hace utilizando la distribución de Gumbel junto con la elaboración de una curva regresiva de lluvia acumulada. En este análisis el umbral crítico de la lluvia acumulada se identifica con la más alta intensidad de precipitación (lluvia acumulada/días). Ésta identificación se hace por medio de dos criterios: gráfico y analítico. El primero de estos, se basa en el análisis que se hace a la curva regresiva de la lluvia acumulada, el cual permite obtener dicho umbral como el punto donde se presenta un cambio significativo en la pendiente de*

la curva, el cual coincide con el final del periodo de receso más largo. De otra parte, la identificación de dicho umbral se hace analíticamente, es decir, se asigna como umbral crítico el valor de la lluvia acumulada de mayor periodo de retorno. Con el fin de adelantar la caracterización regional del territorio nacional, propuesta anteriormente, se emplean otros métodos estadísticos los cuales sustentan los umbrales de la lluvia acumulada y permiten identificar los llamados eventos tipo, los cuales se definen como el o los deslizamientos más representativos de cada una de las regiones del país. Se utiliza la metodología basada en la construcción de modelos de regresión lineal simple, debido a que en estudios anteriores se muestra la existencia de una relación directa de tipo lineal entre la lluvia acumulada y la lluvia anual, como también una relación directa de tipo exponencial entre la duración crítica y la lluvia acumulada. Para elaborar los modelos de regresión tanto lineal como exponencial, para todo el territorio nacional, se procede a seleccionar no solo los eventos más representativos sino de mejor distribución en la geografía nacional. Para esto, se elaboran mapas de isolíneas de la lluvia acumulada, duración crítica, relación lluvia y lluvia anual con el objetivo de obtener alguna relación o correspondencia entre ellas y así definir las regiones donde dichas variables presentan un comportamiento homogéneo". Se clasifico el territorio nacional en varios grupos homogéneos. También se utilizó el modelo de regresión logística, para determinar la ocurrencia de los deslizamientos. El objetivo general de esta investigación consiste en estudiar la relación de los umbrales de lluvia con la ocurrencia de dichos movimientos de tierra. Este trabajo se relaciona con la investigación planteada en la metodología de la lluvia acumulada, y como conclusión en esta investigación se observa que es mejor trabajar por grupos homogéneos debido a que la zona tiene un clima muy cambiante, lo cual puede

incidir en la investigación (Mayorga Marquéz, 2003).

2.2.1.2 Locales.

Este trabajo fue plasmado por el consejo municipal para la gestión del riesgo de desastres – CMGRD quienes realizaron el “plan municipal para la gestión del riesgo de desastres (2014-2019)” en el municipio de Toledo norte de Santander, este trabajo busca establecer el marco de acción e interacción de las distintas instituciones y sectores del Municipio de Toledo, con el fin de reducir los niveles de riesgo existentes en el territorio, partiendo de una adecuada identificación de amenazas, para intervenirlas y evitar de esta manera pérdida de vidas, bienes materiales y el deterioro del medio ambiente. Utilizaron las siguientes estrategias *“Involucrar a las instituciones de carácter público y privado, con incidencia en el municipio de Toledo, en el diseño, ejecución y financiación del PMGRD. Establecer convenios con el gobierno departamental y nacional con el fin de financiar las obras de mitigación de los riesgos a los cuales está expuesto el municipio de Toledo. Realizar simulacros con el fin de adiestrar a los estudiantes, funcionarios públicos, organismos de socorro, al sistema de salud y a la comunidad en general de cómo actuar en caso de presentarse una emergencia o desastre. Priorizar las obras de mitigación requeridas, de acuerdo al impacto del fenómeno amenazante en la salud humana, la economía y la infraestructura potencialmente afectados. Establecer convenios de cooperación técnica con universidades y centros de investigación, con el fin de poder desarrollar los estudios pertinentes para establecer técnicamente los niveles de riesgo y las obras o acciones más eficientes, para la mitigación o superación de la situación*

identificada”. Los principales resultados de este trabajo fue la identificación y priorización de los riesgos entre estos se encuentran los fenómenos de remoción en masa y las medidas que se deben tomar para mejorar las situaciones de emergencia.

2.2.2 Marco Contextual

Según el plan de manejo de gestión del riesgo y de desastres (PMGRD, 2014-2019) , Toledo posee una superficie de 157.790,95 Ha que equivalen al 7.176% de la superficie total del departamento. Dado que su localización geográfica corresponde al sector centro – nororiental del territorio colombiano, sobre el flanco / vertiente oriental de la cordillera Oriental, en las estribaciones de la Sierra Nevada del Cocuy, el municipio presenta un relieve básicamente montañoso con una reducida parte del piedemonte llanero; conformando el establecimiento múltiple de zonas de vida y aportando, con un sistema hidrológico exuberante, grandes cantidades de agua a la cuenca del Orinoco. El municipio está conformado por 87 veredas y tres centros poblados, San Bernardo De Bata, Samoré y Gibraltar, está organizado en cuatro zonas administrativas de la siguiente manera:

Zona Administrativa 1: Comprende el área urbana, el Corregimiento Menor de La Loma y los corregimientos menores auxiliares de La Unión Y Román estos últimos creados por Decreto 023 del 27 de Febrero de 2.000 (PMGRD, 2014-2019).

Zona Administrativa 2. Comprende El Corregimiento Especial de San Bernardo de Bata, los Corregimientos Menores de San Alberto y el Ceibal. Este último creado mediante

decreto 039 del 27 de Junio de 1.997 (PMGRD, 2014-2019).

Zona Administrativa 3: Comprende El Corregimiento Especial de Samoré y el Corregimiento Menor de La Mesa (PMGRD, 2014-2019).

Zona Administrativa 4: Comprende El Corregimiento Especial de Gibraltar y el Corregimiento Menor del Margua (PMGRD, 2014-2019).

En el municipio se encuentra parte del "Resguardo Unido" U´wa, creado mediante resolución del INCORA 01204 del 31 de mayo del año 2.000 (PMGRD, 2014-2019).

En el libro " Monografía de Toledo", de Anita Sánchez de Rozo y Rubén Darío Rodríguez, se dice que "los primitivos pobladores descendían de los Chitareros, quienes a su vez eran descendientes de los chibchas. Como un reducto de los primitivos pobladores, se tienen hoy a los Tunebos o U´was, quienes se localizan en la zona conocida como Santa Librada, Sararító, Samoré, El Chuscal y algunas regiones vecinas de Arauca y Boyacá".

Los conquistadores dominaron sin mayor resistencia a los primitivos indígenas, que huyendo, habían llegado a estos valles donde se conformaban con proveerse de los alimentos, que en esencia consistían el maíz, yuca, batata y varias frutas silvestres, cazaban venados y otros animales monteses cuya carne era muy apreciada.

Toledo, como municipio, procede de su vecino Labateca, de donde fue segregado

como parroquia en 1795. La existencia y fundación de Labateca como encomienda se remonta hacia 1555 y 1560 (mundo, s.f.).

2.2.2. Marco Contextual

2.2.2.1. Ubicación.

Toledo se encuentra en la república de Colombia, en el departamento de norte de Santander, con coordenadas geográficas longitud al oeste de Greenwich $73^{\circ}21'$, latitud norte $8^{\circ}28'$.

Limita al norte con la república de Venezuela y municipio Herrán, al sur con el departamento Boyacá y municipio Chitagá, al oriente limita con la república de Venezuela, occidente con Chinacota Labateca y Pamplonita (mundo, s.f.).

Figura 1.

MAPA DE GEORREFERENCIACIÓN DEL MUNICIPIO DE TOLEDO NORTE DE SANTANDER.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: tomado de (Toledo.svg, 2012).

2.2.2.2. Población.

Censo DANE 2012: 17.278 habitantes de los cuales el 52% son hombres y el 48% mujeres. El 61% del total se clasifica según el SISBEN en nivel 1 equivalente a 10.579 personas, lo cual significa que el grueso de la población carece de algún servicio básico, con precarias características de la vivienda y muy bajos ingresos. El nivel 2 del SISBEN está constituido por 5.488 personas, lo cual implica mejores indicadores que el nivel 1, pero manteniendo la situación de pobreza y vulnerabilidad socioeconómica, para un gran total del

92% del total de la población (PMGRD, 2014-2019).

2.2.2.3. Economía.

Se caracteriza por su explotación agrícola, ganadera y minera, siendo considerado como el municipio ganadero del departamento; así como su principal cultivo de café tradicional y tecnificado tipo exportación.

Reservas geológicas de carbón y material de arrastre. Existen actual mente en explotación 12 minas de carbón de las cuales solo 2 se encuentran legalmente autorizadas para su explotación. Para la explotación de arcilla, material de arrastre y areniscas existen 16 minas de las cuales ninguna se encuentra legal mente formalizada (PMGRD, 2014-2019).

En la vereda El Cedeño se encuentra el pozo petrolero exploratorio Gibraltar 1, además la comunidad indígena de los Uwa.

Establecimientos comerciales 356 localizados principalmente en el casco urbano y en el corregimiento de San Bernardo de Bata, 85,4% del total de las empresas están establecidas en el sector urbano (PMGRD, 2014-2019).

Se destaca como atracción principal El Parque Binacional Natural Tamá, además están el Templo Parroquial San Luís de Toledo, la Plaza de Toros, las Cascadas de San Alberto, la Peña de los Micos, El Páramo del Mejué, la Peña del Venado (mundo, s.f.).

2.2.3 Marco teórico

2.2.3.1 Elemento climatológico y factores del clima.

Los elementos climáticos pueden definirse como toda propiedad o condición de la atmósfera cuyo conjunto caracteriza el clima de un lugar a lo largo de un período de tiempo suficientemente representativo. Igualmente definen el tiempo en un momento determinado, las propiedades son: Insolación, Temperatura del aire, Presión atmosférica, Viento, Lluvia, Humedad entre otras (Albentosa, 2000).

Los factores del clima son aquellos que actuando conjuntamente definen las condiciones generales de una zona terrestre de extensión relativamente amplia: La situación de la región dentro de la Circulación General Atmosférica, Factor de continentalidad, Factor orográfico y Efecto de la temperatura de las aguas marinas (Albentosa, 2000).

2.2.3.1.1 Precipitación.

Uno de los fenómenos atmosféricos más notables son las precipitaciones, que pueden ser de agua líquida, de agua sólida como nieve o granizo, o de mezcla de ambas: aguanieve. Están asociadas con fenómenos relacionados con la circulación del aire en la atmósfera, y la intensidad y estado físico de ellas depende de manera directa del suceso en cuestión (AMBIENTUM, 2021).

Según Castellanos, 1996, la precipitación, es uno de los elementos meteorológicos principales que caracteriza el estado del tiempo en nuestro medio. Su variabilidad afecta, adversa o benéficamente, la mayoría de las actividades del ser humano y repercute en el desarrollo social y económico del país. En primer lugar, las pérdidas de vidas humanas, seguidos por daños en infraestructuras y alteración de los ecosistemas, generándose los deslizamientos en épocas lluvias, han sido tan significativas que estos fenómenos constituyen un serio condicionamiento al desarrollo territorial del país. Debido a lo anterior es de suma importancia conocer las variaciones regulares, el comportamiento y distribución tanto espacial como temporal de la precipitación (citado en (Graciano, 2015)).

2.2.3.1.2 Formas de precipitación.

- Actividad frontal

La precipitación estratiforme o dinámica ocurre como consecuencia del ascenso lento del aire en sistemas sinópticos, como en los frentes fríos, y antes de los frentes cálidos. Un ascenso similar se observa alrededor de los ciclones tropicales fuera del ojo, y en modelos de precipitación con cabeza de coma alrededor de los ciclones de latitud media (Pérez, s.f.).

- Convección

La lluvia convectiva proviene de nubes convectivas, como los cumulonimbos o cúmulos congestus. Cae como chaparrones con una intensidad que varía rápidamente. La precipitación convectiva cae en un tiempo relativamente corto sobre un área determinada. La mayor parte de la precipitación en zonas tropicales parece ser convectiva; sin embargo, se ha sugerido que también se da la precipitación estratiforme. Los copos de nieve y el granizo siempre indican convección. A latitudes medias, la precipitación convectiva tiene relación con los frentes fríos (a menudo detrás del frente), las líneas de chubascos y los frentes cálidos con una significativa humedad disponible (Pérez, s.f.).

- Efectos orográficos

La precipitación orográfica ocurre en el lado de barlovento de las montañas y está causada por el movimiento de ascendente de un flujo de aire húmedo a través de la montaña, que provoca la refrigeración adiabática y la condensación (Pérez, s.f.).

En las zonas montañosas del mundo, sujetas a vientos relativamente consistentes (por ejemplo, los vientos alisios), prevalece un clima más húmedo por lo general en el lado de barlovento de la montaña que en el lado de sotavento. La humedad es eliminada por el ascenso orográfico, dejando el aire más seco en la bajada (generalmente calentándose), y una sombra de lluvias al lado de sotavento (Pérez, s.f.).

- Actividad tropical

La actividad tropical, en general, consiste en grandes masas de aire de varios cientos de millas con la presión baja en el centro y con vientos que soplan alrededor del centro en cualquier dirección en el sentido de las agujas del reloj (hemisferio sur) o contrario a las agujas del reloj (hemisferio norte). La precipitación surge cuando un frente cálido se forma debido a una masa progresiva de aire cálido que sube por una superficie inclinada de aire frío que se retira, y es enfriada en el proceso de elevación causando la precipitación (Pérez, s.f.).

2.2.3.1.3. Medición de la precipitación.

Los pluviómetros son los equipos que principalmente nos miden estos niveles de precipitación. Es un equipo tan simple como sorprendente. Simple porque su sencillez (un recipiente con escala graduada) mide los litros recogidos en un lugar determinado en un tiempo determinado (pluviómetros totalizadores). Sorprendente porque su medida puede ser representativa de la precipitación de varias hectáreas de la cuenta (Arriaga, 2015).

Técnicas de medición continuada, vaciando el recipiente instantáneamente una vez lleno (pluviómetros registradores), nos permiten obtener gráficas (pluviógrafos) con interesante información tanto de la cantidad de precipitación (mm) como de la intensidad de la misma (mm/h) (Arriaga, 2015).

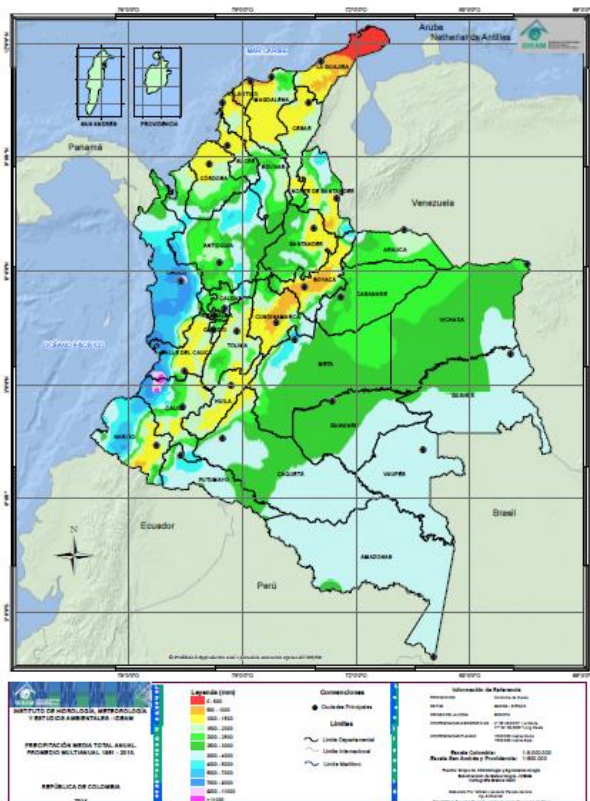
2.2.3.1.4. Precipitaciones en Colombia.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

La precipitación en cada área de Colombia, al igual que el clima, está determinada por la situación de la mayor parte del país, es decir, al norte del Ecuador climático. La variabilidad espacial de la precipitación esta influencia por varios factores como su situación tropical configuración fisiográfica, la latitud, altitud, la vegetación, la distribución de tierras y mares y los efectos producidos por la circulación general de la atmósfera, entre otros (citado en (Graciano, 2015)).

Figura 2.

MAPA DE PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL. PROMEDIO MULTIANUAL DEL PERIODO 1981- 2010.



Fuente: (IDEAM, 2014).

2.2.3.1.5 Distribución de la precipitación en Colombia.

En Colombia se diferencian zonas muy lluviosas (Región Pacífica, piedemonte amazónico y llanero) y secas (Península de la Guajira; algunos sectores en los valles interandinos). Sobre el territorio colombiano se destacan núcleos con precipitación superiores de 4000 milímetros al año, los que se localizan en: sectores sur, centro y norte de la región Pacífica, en el piedemonte amazónico y llanero (occidente de la Orinoquía), en el departamento de Antioquia, así como en un área reducida de la cuenca alta del río Arauca y en el Catatumbo. En el Pacífico se presentan zonas extremadamente lluviosas localizadas en los departamentos del Cauca y del Choco; en dichas zonas la precipitación anual sobrepasa los 10000 milímetros al año. En la región interandina (cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y Patía) las precipitaciones no sobrepasan los 4000 milímetros al año. Se presentan sectores como los altiplanos nariñenses y cundiboyacense donde la precipitación anual está entre los 500 y 1000 milímetros; condiciones similares se registran en sectores pequeños de los departamentos del Valle, Huila, Santander y Norte de Santander. La región con menor precipitación es península de La Guajira, con precipitaciones entre 500 y 1000 milímetros anuales, pero en el extremo norte se presentan volúmenes anuales menores de 500 milímetros (IDEAM-UNAL, 2018).

2.2.3.2 Factor climático.

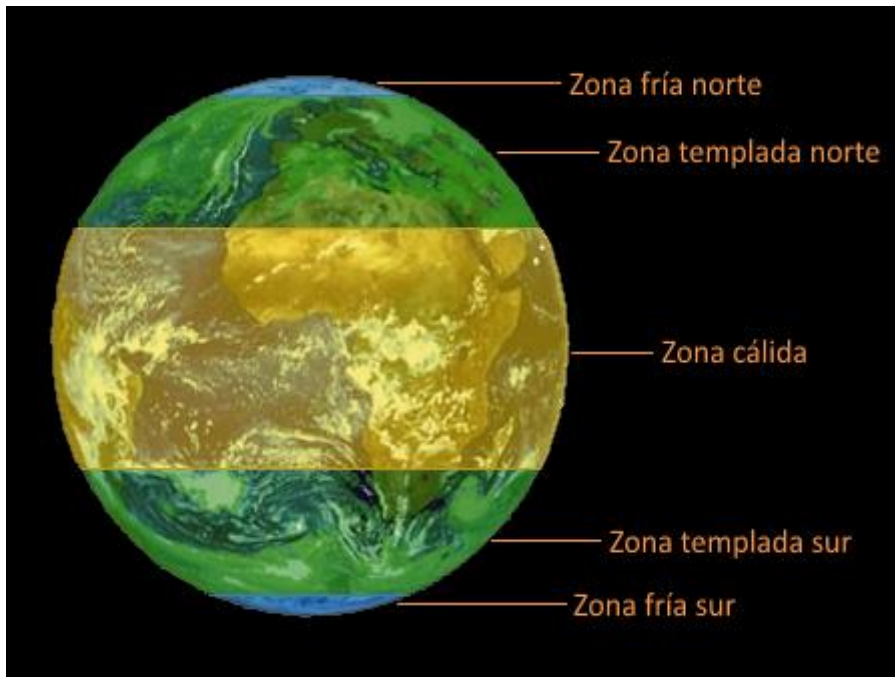
Los factores del clima son agentes como la latitud, vientos predominantes, corrientes marinas, distancia al mar, altitud y relieve, que modifican, acentúan o limitan los elementos del clima y dan lugar a los distintos tipos de climas.

2.2.3.2.1 Latitud.

Es la distancia angular que hay desde un punto en la superficie de la tierra hasta el ecuador. Se mide en grados, minutos y segundos. Cuanto más cerca se encuentre un lugar del ecuador menos variación habrá en la duración de los días y la energía solar incidirá más vertical y con más intensidad sobre él, por lo que más cálidas serán las temperaturas. Cuanto más lejos se encuentre ese punto del ecuador la energía solar le alcanzará con un ángulo menor, además durante el invierno los días serán cortos acentuando el frío. Si el punto se encuentra cerca de los polos los rayos solares le llegarán con un ángulo muy pequeño y solo durante algunos meses ya que en invierno allí no sale el sol. Esto hará que las temperaturas sean muy bajas todo el año. La latitud determina las cinco grandes franjas climáticas de la Tierra: Una zona cálida o tropical a ambos lados del ecuador entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Dos zonas templadas norte y sur, entre estos trópicos y los círculos polares ártico y antártico respectivamente. Dos zonas frías o polares en torno a los polos norte y sur. En general se puede decir que la zona tropical tiene temperaturas elevadas (excepto en las regiones de mucha altitud) y que varían poco a lo largo del año, que las zonas templadas tienen cuatro estaciones y que las zonas polares tienen siempre temperaturas muy bajas (Navarra.es, s.f.).

Figura 3.

ZONA CLIMÁTICA DE LA TIERRA



Fuente: (Navarra.es, s.f.).

2.2.3.3. Factores que intervienen en la formación de los deslizamientos.

2.2.3.3.1. *Parámetros geológicos.*

La geología superficial se refiere al material expuesto en la superficie del terreno, el cual puede corresponder a suelos o rocas, clasificados así desde el punto de vista ingenieril.

Las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) corresponden a un conjunto (homogéneo) de materiales geológicos que afloran en la superficie, que provienen del mismo origen y conservan en general las mismas características físicas y de comportamiento geo mecánico, hasta algunas decenas de metros por debajo de la superficie del terreno (SGC, 2017).

Los principales elementos geológicos a considerar son los siguientes:

- Formación geológica. Las rocas se dividen en materiales de origen ígneo-metamórfico o sedimentario, cada una poseen un comportamiento diferente, es por ello que es muy importante caracteriza la geológica de la zona (Graciano, 2015).
- Estructura y discontinuidades. “En los suelos residuales y rocas la estratificación y las discontinuidades actúan como planos de debilidad o como conductores de corrientes de agua subterránea y las características de estas pueden facilitar los movimientos” según el autor Narváez (2007 p. 61) citado por (Graciano, 2015).
- Meteorización. “La descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos” según el autor Narváez (2007 p. 61) citado por (Graciano, 2015).

2.2.3.3.2. Parámetros geomorfológicos.

En la zonificación de amenazas por movimientos en masa, según van Westen et al., (2003) citado por (SGC, 2017), la geomorfología constituye el factor más importante para el análisis de la evolución del territorio y su relación con la ocurrencia de procesos con características definidas. Existen incluso metodologías de zonificación basadas en el mapeo directo de unidades geomorfológicas, en las que la amenaza es determinada directamente por expertos en el tema o por combinaciones cualitativas con otras temáticas relacionadas.

Los rasgos geomorfológicos que condicionan eventos de remoción en masa según Popescu, (2012) citado por (Graciano, 2015), son principalmente la topografía, pendientes de las laderas, cambios fuertes de pendientes de las laderas y la extensión y altura de las laderas. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones.

La morfología está relacionada con los aspectos de la geometría del relieve e incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas del mismo, descritos mediante adjetivos descriptivos y representativos (SGC, 2012). La morfología del relieve se debe a los procesos geomorfológicos endógenos o exógenos mayores, tales como: plegamiento, vulcanismo, denudación, sedimentación fluvial torrencial, sedimentación-erosión simultánea y sedimentación fluvial tranquila por desbordamiento lateral o sedimentación fluvial por diseminación, entre otros según Villota, (1997) citado

por el (SGC, 2017).

2.2.3.3.3. Parámetros geotécnicos.

Uno de los principales parámetros geotécnicos corresponde al efecto de la degradación de la resistencia al corte, el cual representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento. Además los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno Narváez, (2007) citado por (Graciano, 2015).

2.2.3.3.4. Cobertura y uso del suelo.

Otro de los factores condicionantes importantes en la ocurrencia de movimientos en masa es el cambio en la cobertura de la tierra, ya sea por causas naturales (como los incendios, remoción de suelo, entre otras) o por causas antrópicas (deforestación, uso intensivo del suelo, entre otras). Los cambios en el uso del suelo tienen una gran influencia sobre la estabilidad de las laderas, ya que se ha visto, en las regiones con mayor dinámica poblacional, el impacto de los seres humanos en el medio ambiente contribuyendo significativamente a la iniciación y la reactivación de movimientos en masa. Se ha observado que el aumento y la conversión de los bosques secundarios a pastizales y/o las tierras de cultivo, inciden en el incremento de los movimientos superficiales y que el abandono de campos de cultivo induce a una significativa disminución de la frecuencia de deslizamientos y pérdida de suelo según el autor Reichenbachet (2014) citado por (SGC,

2017).

2.2.3.3.5. Factores detonantes.

De acuerdo con Wieczorek (1996), citado por el (SGC, 2017), los movimientos en masa pueden tener diferentes factores causales (geológicas, físicas, antrópicas) pero solo un detonante. Por definición un detonante es un estímulo externo tal como una lluvia intensa, un sismo, erupciones volcánicas, tormentas, etc., cuya respuesta casi inmediata es un movimiento en masa producto del rápido cambio en el estado de esfuerzos o disminución de la resistencia del material que conforma la ladera o talud. En algunos casos los movimientos en masa ocurren en circunstancias en que no es claro identificar cual fue el detonante, debido a que la variación de diferentes factores causales lleva a las laderas a fallar gradualmente. Los factores detonantes naturales más comunes tanto para análisis de estabilidad de taludes como para zonificación de amenazas son la lluvia y el sismo.

2.2.3.3.6. Las precipitaciones.

De acuerdo con Narváez, (2007), citado por (Graciano, 2015), “La ocurrencia de períodos lluviosos intensos produce ascensos en los niveles piezométricos y la saturación generada implica una disminución de las tensiones capilares en los materiales que constituyen el terreno, facilitando la ocurrencia de deslizamientos”.

González (2002) destacan que las lluvias como factores desencadenantes de

remociones en masa se encuentran relacionadas con su intensidad, duración y distribución. Precipitaciones de poca intensidad en periodos prolongados de tiempo y precipitaciones de gran intensidad en periodos cortos de tiempo podrían desencadenar eventos de remociones en masa en zonas donde el escenario sea favorable para ello (Graciano, 2015).

2.2.3.3.7. Los sismos.

El movimiento del terreno durante la ocurrencia de un sismo ha sido un detonante importante de movimientos en masa en diferentes ambientes geológicos. Caídas de roca, deslizamientos de suelos y deslizamientos en roca en laderas escarpadas, involucrando capas superficiales de suelo y roca descompuesta, han sido los tipos de movimientos en masa más comunes detonados por sismos históricos según el autor Wieczorek, (1996) citado por (SGC, 2017).

2.2.3.4. La lluvia como factor detonante.

Según lo descrito por el autor Corominas, (2013) citado por (SGC, 2017), la respuesta de las laderas a una lluvia con capacidad de detonar un movimiento en masa depende del posible mecanismo de falla. Altas intensidades de lluvia frecuentemente detonan movimientos superficiales y flujos de detritos debido a que la disipación de las presiones de poros positivas es muy rápida, especialmente en materiales permeables. Lluvias de baja a moderada intensidad, que se presentan por días o semanas, pueden detonar flujos de detritos y deslizamientos profundos, siendo entonces importante la lluvia

antecedente al reducir la succión del suelo e incrementar las presiones de poros positivas, especialmente en suelos de baja permeabilidad.

La CRED (2010) en Aristizábal, (2011), citado por (Graciano, 2015), presenta las estadísticas del año 2009 en el cual se presentaron 335 desastres de origen natural alrededor del mundo, que afectaron 119 millones de personas y dejaron pérdidas económicas superiores a 41.300 millones de dólares. Del total de desastres ocurridos, el 53 % corresponden a eventos de origen hidrometeorológicos que aportaron 57,3 millones de víctimas, lo cual significa un incremento del 27,4 % comparado con el año 2008. Del total de eventos hidrometeorológicos las inundaciones corresponden al 82,8 % y los movimientos en masa detonados por lluvias al 17,2 %.

2.2.3.4.1. Evaluación de la lluvia como elemento detonante de deslizamientos.

En general, los movimientos en masa más frecuentes son los deslizamientos y se cuenta con un inventario multitemporal con fecha de ocurrencia y con estaciones pluviométricas con registros diarios de precipitación. En el caso de los inventarios basados en eventos, se establece el periodo de retorno calculado a partir del número de excedencias en el periodo de registro disponible de la lluvia de 24 horas y de la lluvia antecedente representativa, aplicando la probabilidad de Poisson. Sin embargo, si se cuenta con registros de intensidad-duración se establece el periodo de retorno a partir de la respectiva curva de la estación pluviométrica (SGC, 2017).

2.2.3.4.2. Lluvia acumulada.

La ocurrencia de lluvias, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, puede producir fenómenos de acumulación de aguas subterráneas, debido a que el talud no alcanza a drenar el agua infiltrada antes de que llegue la próxima lluvia produciendo un fenómeno de acumulación progresiva y de ascenso del nivel freático (Pradenas Gonsález, 2013).

2.2.3.4.3. Lluvia del evento como factor desencadenante de los deslizamientos.

La lluvia de evento es considerada como la precipitación durante el día de la ocurrencia del deslizamiento, en esta lluvia se analiza analizan los datos de lluvia total en veinticuatro horas ya que es de fácil disponibilidad en las estaciones de Colombia (Graciano, 2015).

En cuanto a la lluvia del día evento, “previa saturación de la ladera, dada por los umbrales de lluvia acumulada, se considera importante o significativa una intensidad de por lo menos 18 mm/día” según Mayorga, (2003) citado por (Graciano, 2015).

2.2.3.5. Movimientos en masa.

2.2.3.5.1. Clasificación de los movimientos en masa.

Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto

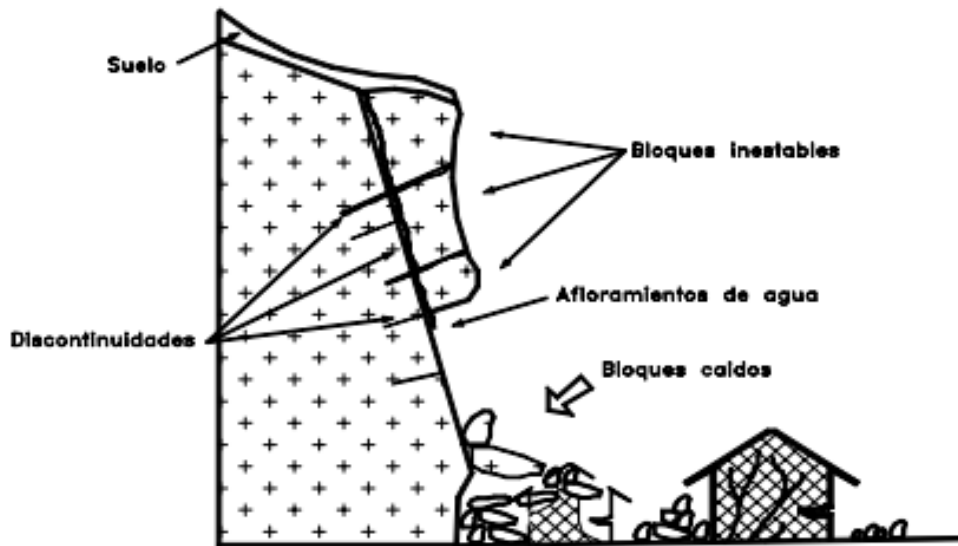
originalmente por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento (Suarez Diaz, 1998).

2.2.3.5.2. Caído.

En los caídos una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando (Suarez Diaz, 1998).

Figura 4.

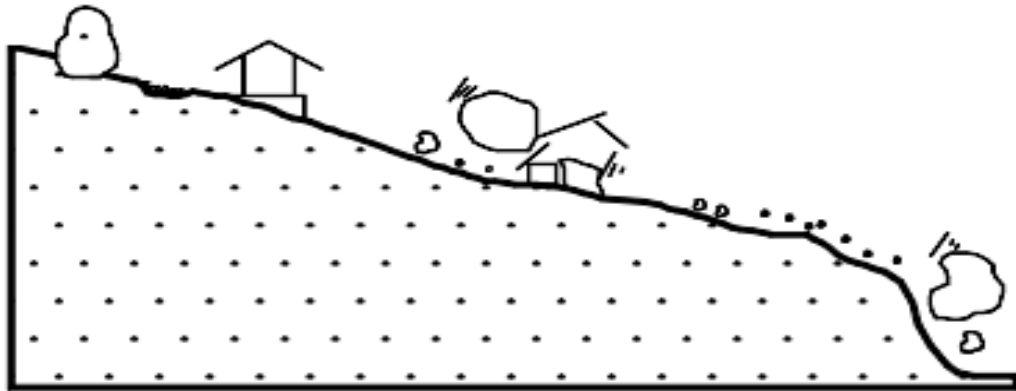
CAÍDOS DE BLOQUES POR GRAVEDAD EN ROCA FRACTURADA



Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

Figura 5.

CAÍDOS DE BLOQUES RODANDO

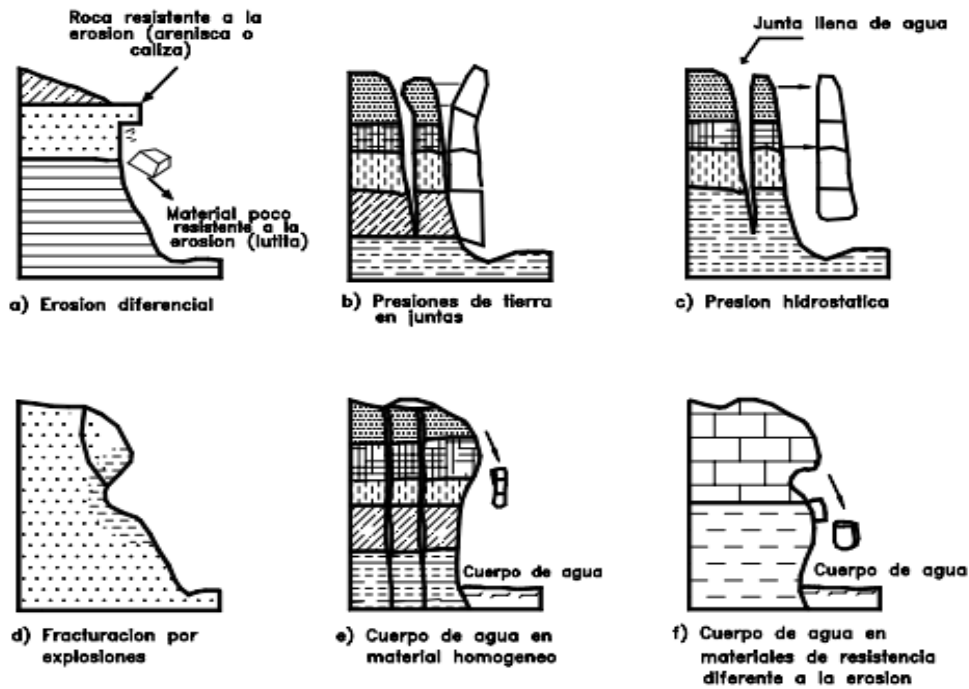


Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, ser precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material. La observación muestra que los movimientos tienden a comportarse como caídos de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar. Los “caídos de roca” corresponden a bloques de roca relativamente sana, los caídos de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y los caídos de tierra corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas (Suarez Diaz, 1998).

Figura 6.

ALGUNOS MECANISMOS DE FALLA DE CAÍDOS.



Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

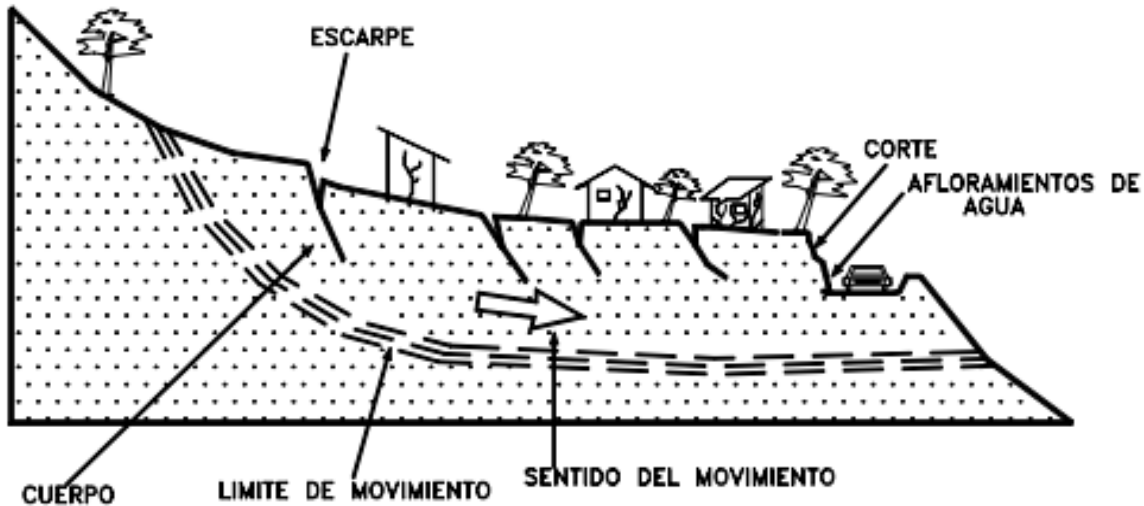
2.2.3.5.3. Deslizamientos.

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada (*Figura 7*). El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a

lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc, (Suarez Diaz, 1998).

Figura 7.

DESLIZAMIENTOS EN SUELOS BLANDOS.



Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

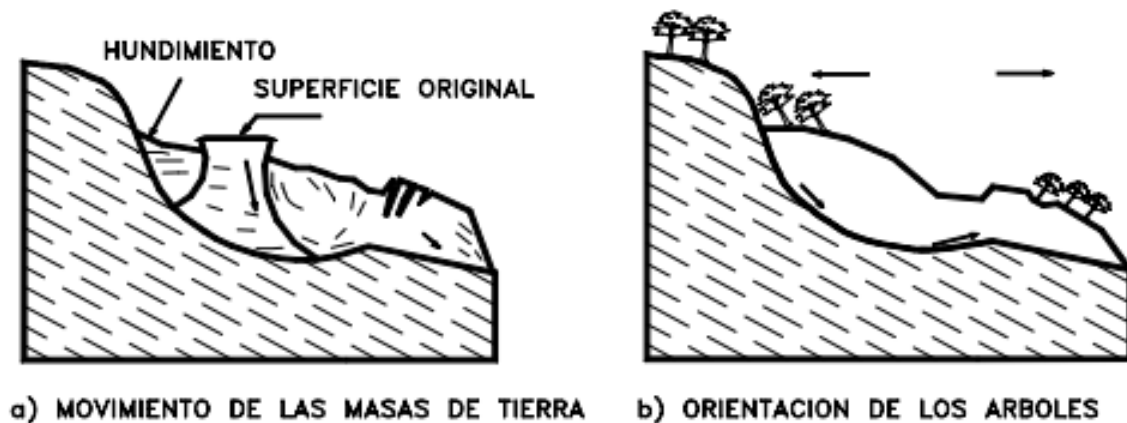
2.2.3.5.4. Deslizamiento rotacional.

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento (Figura 8.).

Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos. El movimiento aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad. En la cabeza del movimiento, el desplazamiento es aparentemente semivertical y tiene muy poca rotación, sin embargo se puede observar que generalmente, la superficie original del terreno gira en dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta. Los deslizamientos rotacionales en suelos generalmente tienen una relación D_r/L_r entre 0.15 y 0.33 según Skempton y Hutchinson (1969) citado por (Suarez Diaz, 1998).

Figura 8.

DESLIZAMIENTO ROTACIONAL TÍPICO

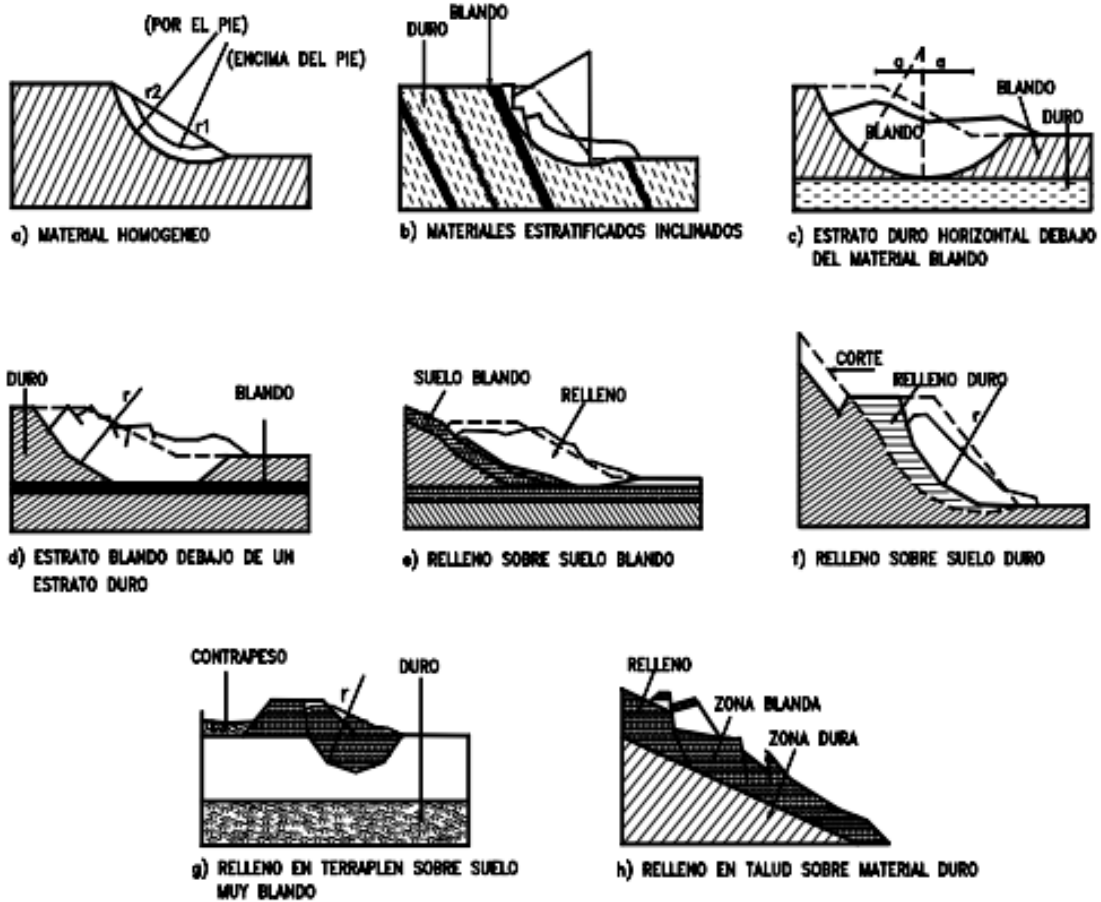


Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación. El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilidad (Figura 9.). Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y por su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura. En zonas tropicales este tipo de suelos no es común y cuando existe rotación, la superficie de falla es usualmente curva pero no circular; Sin embargo, en zonas de meteorización muy profunda y en rellenos de altura significativa algunas superficies de falla pueden asimilarse a círculos. Dentro del deslizamiento comúnmente, ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente ocurren varios deslizamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de deslizamientos rotacionales independientes (Suarez Diaz, 1998).

Figura 9.

EFFECTOS DE LA ESTRUCTURA EN LA FORMACIÓN DE DESLIZAMIENTOS A ROTACIÓN



Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

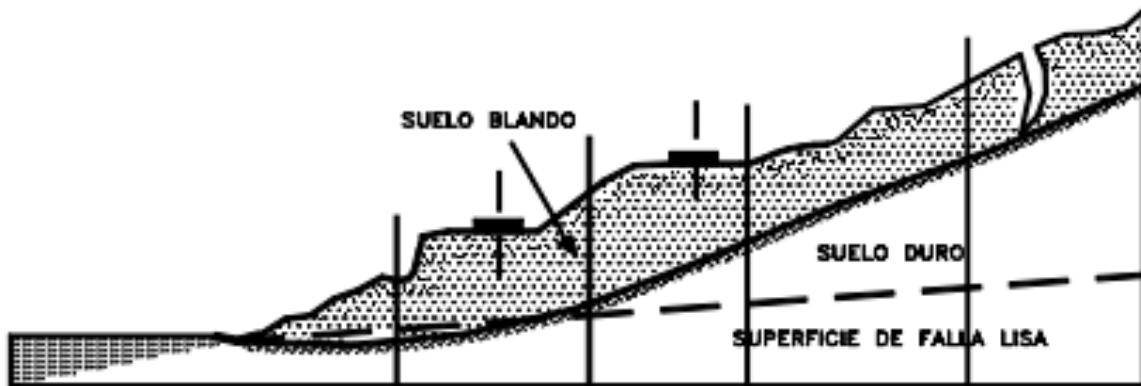
2.2.3.5.5. Deslizamiento de traslación.

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura 10).

Los movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación D_r/L_r de menos de 0.1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización. Sin embargo, un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo. Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera (Suarez Diaz, 1998).

Figura 10.

Deslizamiento de traslación en la vía Tijuana – Ensenada en México



Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

2.2.3.5.6. Flujo.

En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos (Figura 11.), así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra. Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones, a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura. La ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un

flujo. Algunos flujos pueden resultar de la alteración de suelos muy sensitivos tales como sedimentos no consolidados. Recientemente se han realizado estudios para cuantificar el nivel de lluvias que se requieren para producir flujos y es frecuente la ocurrencia de los flujos simultáneamente en sitios diferentes, dentro de una misma formación en el momento de una determinada lluvia de gran intensidad o de un evento sísmico (Suarez Diaz, 1998).

- **Flujo en roca**

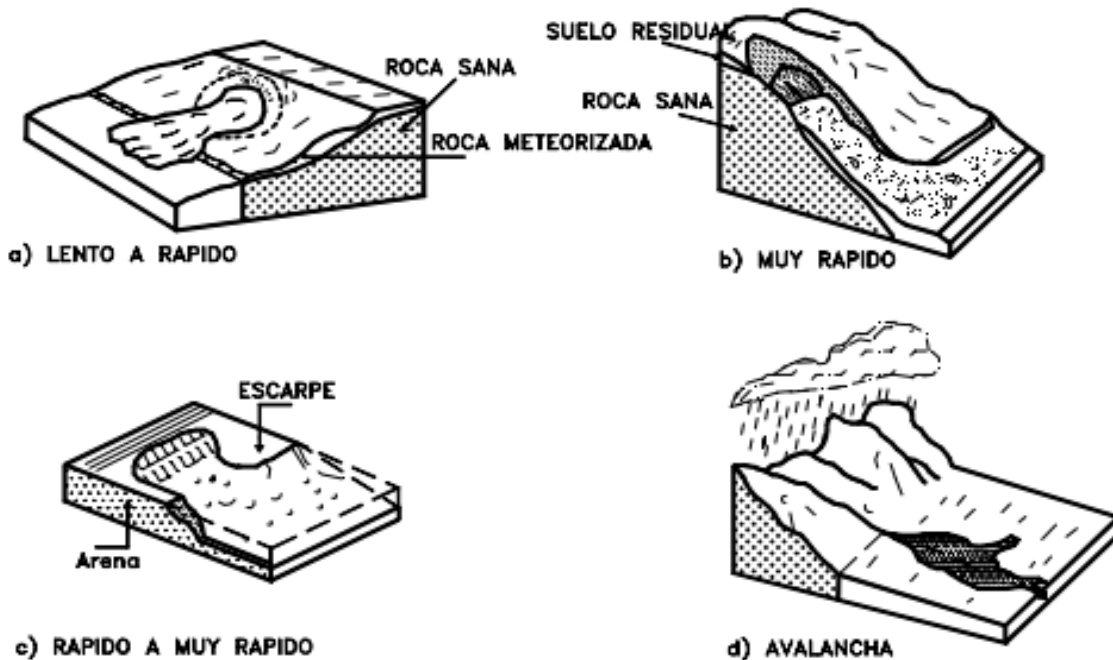
Los movimientos de flujo en roca comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Este tipo de movimiento ocurre con mucha frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación, especialmente en la cordillera de los Andes. Se observa la relación de estos flujos con perfiles de meteorización poco profundos en los cuales las fallas están generalmente, relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación, ocasionados por la filtración momentánea del agua en las primeras horas después de una lluvia fuerte. Las pendientes de estos taludes son comúnmente muy empinadas (más de 45°). Su ocurrencia es mayor en rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas y pueden estar precedidos por fenómenos de inclinación. Estos flujos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad tiende a ser rápida a muy rápida (Suarez Diaz, 1998).

- **Flujo de residuos (Detritos)**

Según Collins y Znidarcic, (1997) citado por (Suarez Diaz, 1998), dice que, por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos. Los materiales se van triturando por el mismo proceso de flujo y se puede observar una diferencia importante de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento. El movimiento de los flujos de detritos puede ser activado por las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea.

Figura 11.

FLUJOS DE DIFERENTES VELOCIDADES



Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

2.2.3.5.7. Avalanchas.

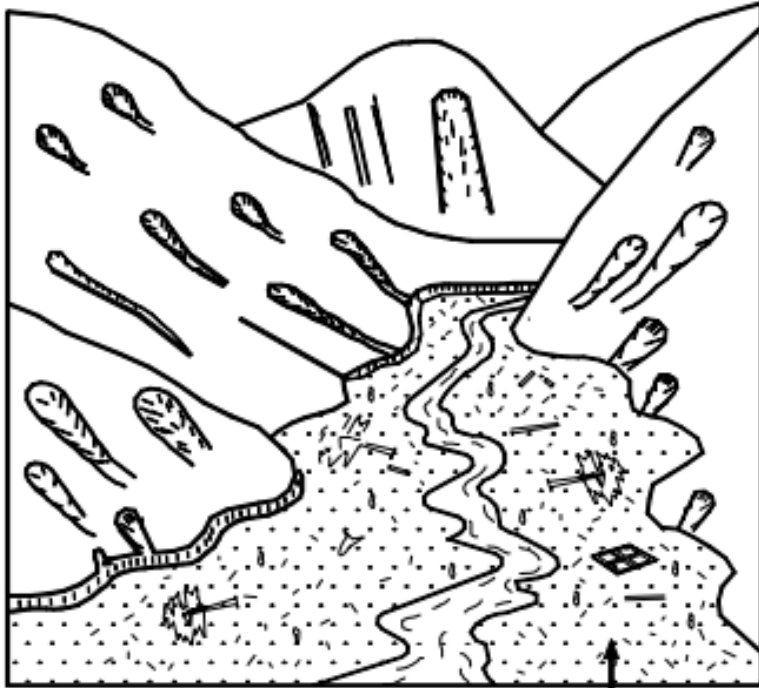
En las avalanchas la falla progresiva es muy rápida y el flujo desciende formando una especie de “ríos de roca y suelo” (Figura 12. Estos flujos comúnmente se relacionan con lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionales muy altos, deshielo de nevados o movimientos sísmicos en zonas de alta montaña y la ausencia de vegetación, aunque es un factor influyente, no es un prerequisite para que ocurran. Las avalanchas son generadas a partir de un gran aporte de materiales de uno o varios deslizamientos o flujos combinados con un volumen importante de agua, los cuales forman una masa de comportamiento de líquido viscoso que puede lograr velocidades muy altas con un gran poder destructivo y que corresponden generalmente, a fenómenos regionales dentro de una cuenca de drenaje. Las avalanchas pueden alcanzar velocidades de más de 50 metros por segundo en algunos casos. El movimiento de las avalanchas se le puede relacionar con “flujo turbulento de granos”. Este mecanismo no requiere de la presencia de una fase líquida o gaseosa y el movimiento se produce por transferencia de momentum al colisionar las partículas o bloques que se mueven.

Figura 12.

AVALANCHA EN CAUCE DE RIO POR ACUMULACIÓN DE MATERIALES

PRODUCTO DE UNA GRAN CANTIDAD DE DESLIZAMIENTOS OCURRIDOS EN EL

MOMENTO DE UN SISMO.



MATERIALES DEPOSITADOS POR LA AVALANCHA

Fuente: (Silva Sarquez & Acevedo Prada , 1998).

2.2.3 *Marco conceptual*

La **variabilidad climática** se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo relativamente cortos. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal. La Normal Climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una

serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años. A la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio se le conoce como Anomalía. La secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (BOCANEGRA, 2009).

Según el libro de (HIDROLOGIA, 2002), “se considera **Precipitación** a cualquier producto de condensación del agua atmosférica que cae sobre la superficie terrestre. Pueden distinguirse varios tipos: llovizna (0.1-0,5mm D), lluvia (D>0,5 mm), escarcha, nieve, bolitas de nieve, granizo y bolas de hielo”. El estudio de las precipitaciones es de vital importancia en la evaluación y predicción de la amenaza natural del área de estudio ya que es uno de los principales factores desencadenantes de los procesos de erosión, desbordamiento e inundaciones. Para ello, es necesaria información sobre la magnitud de las precipitaciones ocurridas en el pasado y sobre los fenómenos meteorológicos que las producen (TERRITORIALES, 2001).

La Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno (IDEAM, CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA –IDF, 2016).

Según Mélice y Reason, en 2007 El **Periodo de Retorno** de cualquier evento extremo (lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, etc.), se define como el lapso o número de años que en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento (Joel Gutiérrez Lozano*, 2011)

En general un **umbral** es el punto en el cual existe un cambio brusco, en una cualidad, propiedad o fenómeno. (Reichenbach et al., 1998) definieron el término umbral crítico de lluvia como el mínimo o máximo nivel crítico de alguna cantidad necesaria, en este caso lluvia, a partir de la cual un proceso ocurre. Normalmente, distintas zonas necesitan lluvias cuya intensidad, duración o una combinación de ellas superen un umbral característico para que generen deslizamientos (González, s.f.).

Los **movimientos en masa** son procesos por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, se desplaza ladera abajo por acción de la gravedad. Son conocidos popularmente como deslizamientos, derrumbes, procesos de remoción en masa, fallas de taludes y laderas (climatico I. d., 2021).

Deslizamiento: es un tipo de movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud. Se produce cuando una gran masa de terreno se convierte en zona inestable y desliza con respecto a una zona estable, a través de una superficie o franja de terreno pequeño espesor (educalindo).

Probabilidad espacial: la probabilidad de que un pixel localizado dentro de una

clase de susceptibilidad sea afectado por la ocurrencia de un movimiento en masa (Edgar Alexander Rodríguez Castiblanco, 2017).

Probabilidad temporal: definida en términos de la frecuencia de ocurrencia de movimientos en masa y descrita en términos de probabilidad empírica o por correlación con los valores críticos de los detonantes que pueden explicar la inestabilidad, denominados por Corominas et al., (2013) como enfoques indirectos (Edgar Alexander Rodríguez Castiblanco, 2017).

Magnitud: una medida aproximada de la intensidad del evento, en términos de áreas afectadas, volúmenes o tamaños de material (Edgar Alexander Rodríguez Castiblanco, 2017).

Lluvia acumulada: cantidad de precipitación que ha caído en un periodo de tiempo determinado (Graciano, 2015).

Lluvia crítica: es el volumen de la precipitación acumulada o el valor límite para que se presente un deslizamiento según el autor Castellanos, (1996), citado por (Graciano, 2015).

Lluvia del evento: precipitación que ha caído durante un evento de tormenta (Graciano, 2015).

Régimen de lluvia monomodal: según (UN, 2020), en Colombia solo hay una temporada lluviosa y una seca.

Régimen de lluvia bimodal: que se caracteriza por dos temporadas secas y dos lluviosas (UN, 2020).

2.2.4 Marco legal

LEY 1523 24 Abril 2012 “por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones” (COLOMBIA E. C., 2012) .

Decreto 1807 del 19 de septiembre del 2014: Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones. Delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y de las áreas con condiciones de riesgo además de la determinación de las medidas específicas para su mitigación teniendo en cuenta la denominación de los planes de ordenamiento territorial (Ministerio de Vivienda, 2014).

Decreto 1974 - 11 de septiembre de 2013: Por el cual se establece el procedimiento para la expedición y actualización del Plan Nacional de Gestión del Riesgo. Establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, por medio de programas, acciones y presupuestos las cuales se pueden ejecutar los procesos de

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, en el marco de la planificación del desarrollo nacional y territorial (REPÚBLICA, 2013).

DECRETO 2890 DE 2013 (DICIEMBRE 12) “Por el cual se crea y reglamenta la Comisión Intersectorial de Alertas Tempranas (CIAT) y se dictan otras disposiciones” (COLOMBIA, 2013).

Ley 1454 de 2011 “Por la cual se dictan normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones” (PLANEACIÓN, 2011) .

Capítulo III

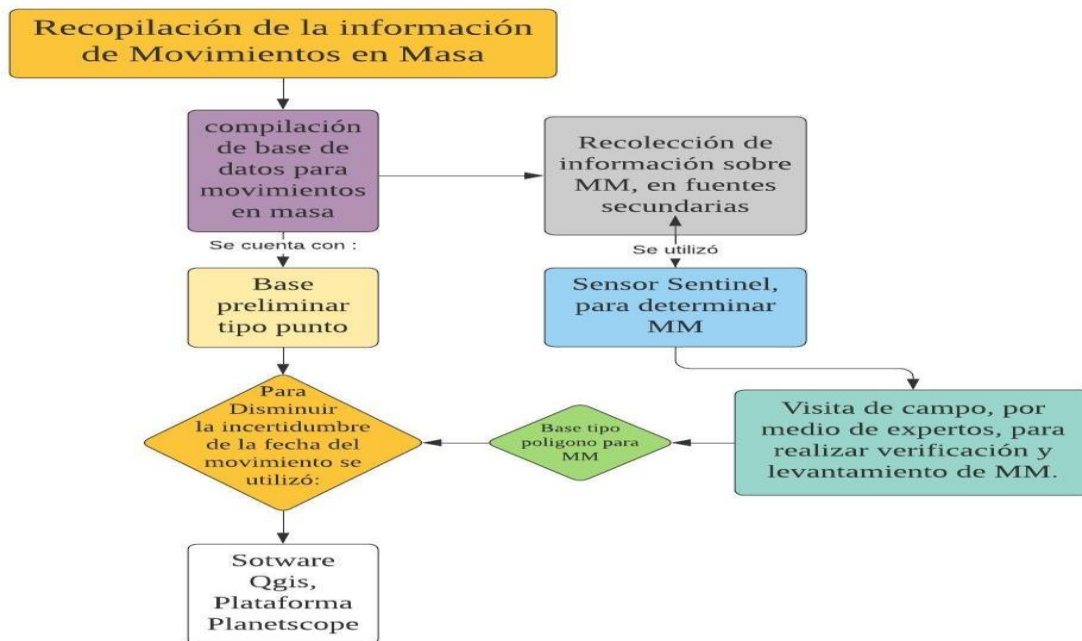
3.1 Metodología

A continuación, se especifica el camino para cumplir los objetivos trazados.

FASE 1: Compilar información climatológica del área de estudio e información histórica sobre movimientos en masa notificados.

Gráfico 1.

ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA PARA LA RECOLECCIÓN DE FECHAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN TOLEDO NORTE DE SANTANDER.



Fuente: propia, 2021.

Para este estudio como información preliminar se tiene como base el catálogo de datos tipo punto.

La compilación de información histórica secundaria sobre movimientos en masa en la zona de estudio, se realizó una búsqueda exhaustiva por medio del comité de planeación municipal, departamental, en el plan de manejo de gestión del riesgo y de desastres del municipio de Toledo 2014, en las unidades nacionales de gestión del riesgo y de desastres (UNGRD), IGAC, el instituto meteorológico IDEAM, plataforma virtual SIMMA y por medios electrónicos. A partir de la información recopilada, se elaboró un inventario de movimientos en masa, este inventario está compuesto por código SIMMA, fecha de ocurrencia del movimiento, tipo de movimiento, sitio del deslizamiento, título del documento donde se sacó la información, fecha del documento y descripción general del documento.

Se construyó el catálogo tipo polígono para movimientos en masa, por medio de diferentes sensores, el sensor Sentinel tuvo mayor exactitud el cual es un instrumento de teledetección tipo aéreo; a través de este sensor se asignó la fecha en que probablemente ocurrió el movimiento en masa, así mismo, para confirmar estos movimientos, se realizó una visita de campo por parte de un grupo de geólogos e ingenieros forestales enviados por el servicio geológico colombiano, donde se realizó el levantamiento de los deslizamientos

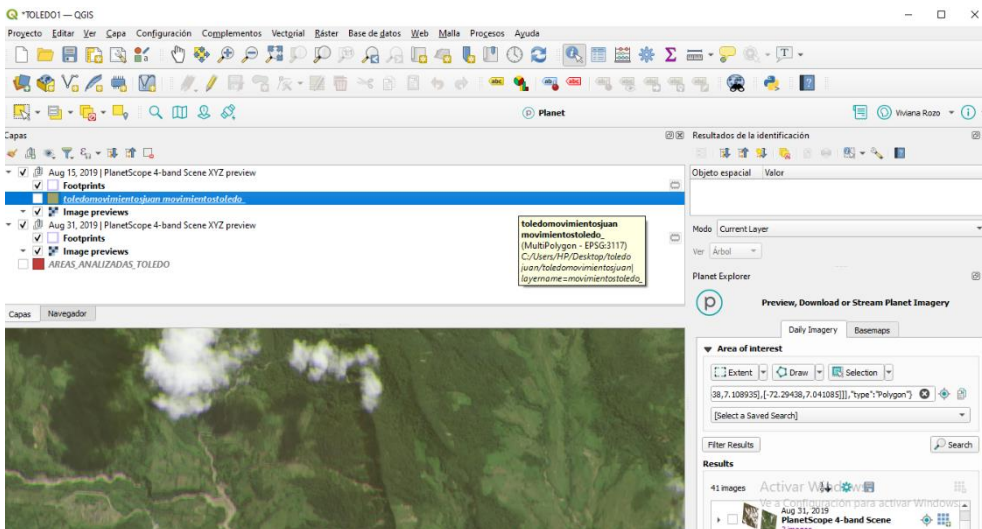
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

existentes.

Por otra parte, para eliminar la incertidumbre de las fechas observada en los catálogos tipo punto y tipo polígono de los movimientos en masa, se utilizó el software Qgis (versión 3.18.1), por medio de la plataforma PlanetScope, donde se observaron imágenes satelitales de la zona, con fecha antes y después del movimiento.

Figura 13.

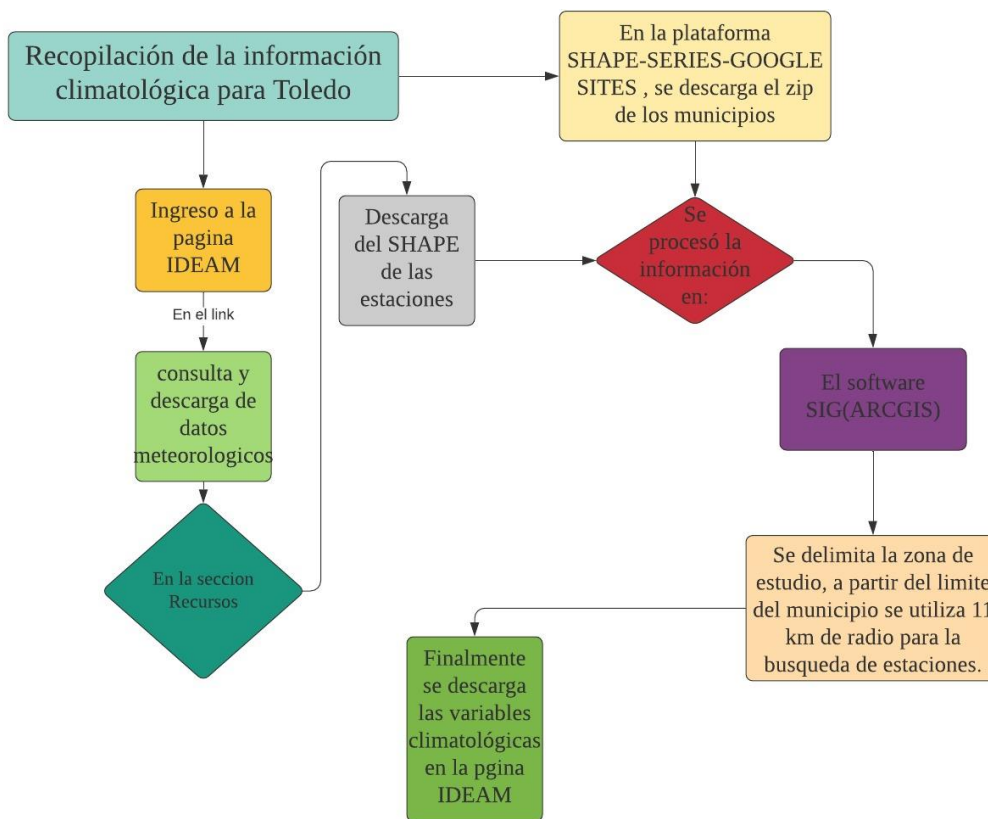
IMAGEN DEL PROGRAMA QGIS (VERSIÓN 3.18.1), TRABAJANDO LA HERRAMIENTA PLANTSCOPE EN LA OBSERVACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.



Fuente: Propia, 2021.

Gráfico 2.

DIAGRAMA METODOLÓGICO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS CLIMATOLÓGICOS



Fuente: Propia, 2021.

Por otro lado, la información climatológica se obtuvo de la página IDEAM, en el link “consulta y descarga de datos meteorológicos”, en la sección “recursos”; se descargó el

shape de estaciones climatológicas de Colombia. Consecutivamente por medio de la plataforma “SHAPE-SERIES-GOOGLE SITES” se descargó el ZIP de municipios, se procesó la información en el software SIG (ARCGIS); donde se delimitó la zona de estudio a partir del shape del bloque 03 y el de estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Se utilizó los criterios de la guía metodológica del servicio geológico colombiano en el cual se empleó como radio de búsqueda de las estaciones una distancia de 11 km a partir del límite municipal de Toledo.

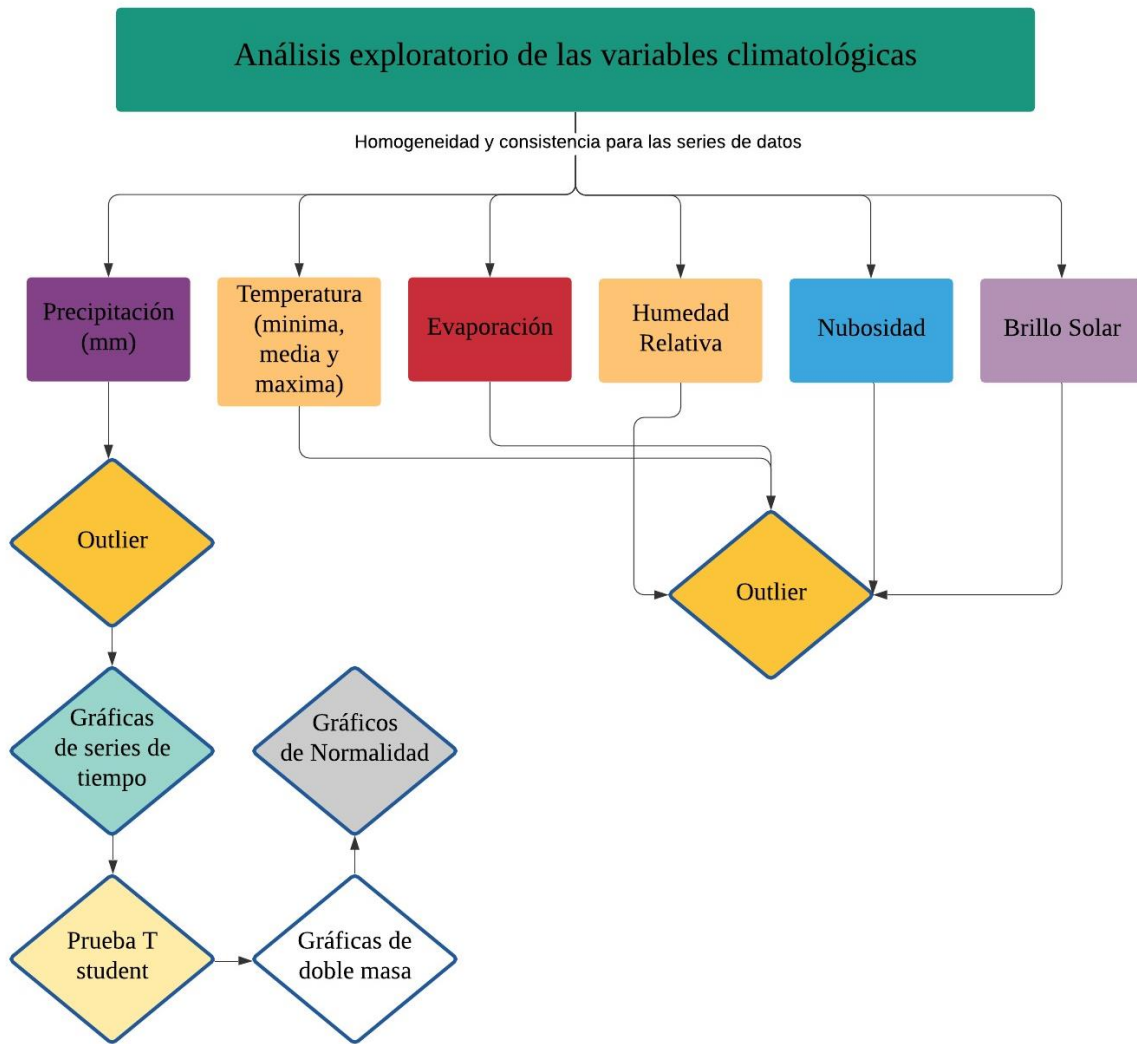
Finalmente se descargó la información de variables climatológicas como temperatura (mínima, media, máxima), precipitación diaria y sus agregados (mensuales, anuales), humedad relativa mensual, evaporación mensual, nubosidad y brillo solar; al instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. Las variables que no se pudieron descargar fueron solicitadas directamente al IDEAM.

FASE2: Emplear diferentes metodologías estadísticas para el análisis exploratorio de los datos de las variables climatológicas.

Gráfico 3.

ESQUEMA METODOLÓGICO DE LA FASE 2.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

Para la validación de las variables climatológicas se utilizó las metodologías expuestas en el Gráfico 3., a continuación se hace la descripción en orden de cada una de ellas.

En primera instancia se procedió a analizar los datos atípicos, “son puntos de datos

que se apartan significativamente de la tendencia de los datos restantes” (Council, 1981); por medio de la **metodología OUTLIER**, este método se utilizó para cada una de las variables climatológicas como: precipitación (24 horas máxima mensual), temperatura, evaporación, humedad relativa, nubosidad, brillo solar, todas ellas con nivel de agregación mensual.

“La retención, modificación, eliminación de estos valores atípicos puede afectar significativamente a los parámetros estadísticos computados a partir de los datos, especialmente en el caso de muestras pequeñas. Todos los procedimientos para tratar los valores atípicos requieren, en última instancia, un juicio que incluya consideraciones tanto matemáticas como hidrológicas” (Council, 1981).

Esta metodología consiste en la determinación de datos dudosos altos y mínimos, a continuación se muestran los criterios para clasificar los datos dudosos.

- Si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos (Council, 1981).
- Si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos (Council, 1981).
- Cuando la asimetría de la estación esta entre -0.4 y +0.4, deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos (Council, 1981).

Para datos dudosos altos se utilizó la $x_H = \bar{X} + k_N \cdot S$ **Ecuación 1** y la $x_L = \tilde{M} - k_H \cdot \tilde{S}$ **Ecuación 2** para datos dudosos bajos.

$$x_H = \bar{X} + k_N \cdot S \quad \text{Ecuación 1.}$$

- x_H = Alto umbral atípico en unidades de registro.
- \bar{X} = Logaritmo medio de los picos sistemáticos (X's), excluyendo los eventos de inundación cero, los picos por debajo de la base del medidor y los valores atípicos detectados anteriormente.
- S = la desviación estándar de X's
- k_N = Valor K del Apéndice 4 para el tamaño de la muestra N

$$x_L = \tilde{M} - k_H \cdot \tilde{S} \quad \text{Ecuación 2.}$$

x_L = bajo umbral atípico en unidades de registro

\tilde{M} = logaritmo medio históricamente ajustado

\tilde{S} = la desviación estándar de X's

k_H = Valor K del Apéndice 4 para el período utilizado para calcular M y S

Figura 14.

VALORES KN PARA LA PRUEBA DE DATOS DUDOSOS

| Tamaño de muestra n | K_n | Tamaño de muestra n | K_n | Tamaño de muestra n | K_n | Tamaño de muestra n | K_n |
|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| 10 | 2.036 | 24 | 2.467 | 38 | 2.661 | 60 | 2.837 |
| 11 | 2.088 | 25 | 2.486 | 39 | 2.671 | 65 | 2.866 |
| 12 | 2.134 | 26 | 2.502 | 40 | 2.682 | 70 | 2.893 |
| 13 | 2.175 | 27 | 2.519 | 41 | 2.692 | 75 | 2.917 |
| 14 | 2.213 | 28 | 2.534 | 42 | 2.700 | 80 | 2.940 |
| 15 | 2.247 | 29 | 2.549 | 43 | 2.710 | 85 | 2.961 |
| 16 | 2.279 | 30 | 2.563 | 44 | 2.719 | 90 | 2.981 |
| 17 | 2.309 | 31 | 2.577 | 45 | 2.727 | 95 | 3.000 |
| 18 | 2.335 | 32 | 2.591 | 46 | 2.736 | 100 | 3.017 |
| 19 | 2.361 | 33 | 2.604 | 47 | 2.744 | 110 | 3.049 |
| 20 | 2.385 | 34 | 2.616 | 48 | 2.753 | 120 | 3.078 |
| 21 | 2.408 | 35 | 2.628 | 49 | 2.760 | 130 | 3.104 |
| 22 | 2.429 | 36 | 2.639 | 50 | 2.768 | 140 | 3.129 |
| 23 | 2.448 | 37 | 2.650 | 55 | 2.804 | | |

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Fuente: "Hidrología Aplicada," Ven Te Chow

Por otra parte según (Castro & Carvajal Escobar, 2010) **las gráficas de series de tiempo** representa los datos ordenados cronológicamente en las ordenadas y el tiempo en las abscisas. Son gráficos en los cuales se pueden observar claramente las tendencias, los cambios, la irreversibilidad, y la intermitencia, entre otros. Esta metodología se utilizó para datos de precipitación con nivel de agregación diaria con el fin de hacer un análisis de

homogeneidad y consistencia de los registros. Para esta metodología se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones: tratar de identificar las causas de los valores atípicos, corregir los errores de entrada de datos o errores de medición, se consideró la eliminación de los valores de datos que están asociados con eventos anormales de una sola vez, que también se llaman causas especiales. Con base en las figuras de series de tiempo se definió la validez de algunos registros de precipitación máxima diaria (mm), a partir de los registros antecedentes y posteriores a la fecha de ocurrencia en la estación objetivo y a los registros de precipitación en las estaciones vecinas en la fecha de ocurrencia.

La **Prueba T de student** se utilizó para la homogeneidad de la serie de datos de precipitación con agregación mensual. Si se considera una serie Q_{ij} para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, del sitio j , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = n_j/2$, entonces el estadístico de prueba se define con:

$$td = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad \text{Ecuación 3.}$$

\bar{x}_1, s_1^2 = Son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1
 \bar{x}_2, s_2^2 = Son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2 El valor absoluto de td se compara con el valor de la distribución t de Student de dos colas y con $n = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel de significancia: $\alpha = 0,05$ Si y solo si el valor absoluto de td es mayor que aquel de la distribución t de Student, se concluye que la

diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia, y por lo tanto la serie Q_i se considera no homogénea (Ramírez, 2015).

Posteriormente se realizó el análisis de **curva doble masa** para precipitaciones con agregación mensual, ampliamente usada para evaluar la consistencia de las observaciones a lo largo del tiempo. Para ello, se compara la serie de estudio con una serie patrón que no presente ningún problema de homogeneidad, tendencia o cambio. Para realizar el contraste gráfico es necesario graficar en el eje de las abscisas los valores acumulados de la estación patrón y en el eje de las ordenadas los valores acumulados de la estación en estudio (Lobo, 2004). Según Smith & Campuzano, 2000; Lobo, 2004 citado en (Castro & Carvajal Escobar, 2010), si la serie en estudio no presenta cambios en la media, la gráfica debe manifestar una relación estable de proporcionalidad entre la estación patrón y la estación en estudio. Si por el contrario se observan quiebres en la pendiente de la gráfica, saltos o picos, se puede concluir que la serie presenta un cambio en la media y/o presenta puntos atípicos.

Se presenta la **prueba de normalidad (Smirnov Kolmogorov)** para confirmar o no la posible distribución normal de los datos. Según (Valencia, 2010), la prueba para una muestra es un procedimiento de "bondad de ajuste", que permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada, es decir, contrasta si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución especificada.

Esta metodología se utilizó para precipitaciones anuales máximas de 24 horas, se aplicó a las estaciones con una densidad de información de más de 20 años.

Consecutivamente se para determinar la distribución normal, se organizó los datos de menor a mayor, y a través de la relación empírica de weibull se calculó la frecuencia.

$$P = \frac{m}{n+1} \text{ Ecuación 4.}$$

- P: probabilidad empírica o frecuencia relativa acumulada
- m: orden
- N: número de observaciones

Siguiente paso se calculó la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría para la serie de datos de precipitación, consecutivamente se determinó la variable $-XmS$ Ecuación 5 y finalmente por medio de la Ecuación 6 se determinó la función acumulada.

$$z = \frac{X-Xm}{S} \text{ Ecuación 5}$$

$$F(Z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \text{ Ecuación 6}$$

Se escogió el máximo de la serie de función de acumulada y por medio del valor calculado por la $\Delta crítico = \frac{1,36}{\sqrt{n}}$ **Ecuación 7**, se condiciona si Δ crítico es mayor que el valor máximo de la serie de función acumulada la prueba si se ajusta.

$$\Delta crítico = \frac{1,36}{\sqrt{n}} \text{ Ecuación 7}$$

Para la distribución Log normal se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente para la distribución normal con la diferencia que se le aplico el logaritmo

$$\ln X - \ln X_m \text{ Ecuación 8 y } F(z) = \text{ Ecuación 9.}$$

$$Z = \frac{\ln X - \ln X_m}{s} \text{ Ecuación 8}$$

$$F(z) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(\frac{-(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx \text{ Ecuación 9}$$

Para la **Distribución Pearson Tipo III** se utilizaron los siguientes pasos

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

- Se ordenaron los datos de menor a mayor
- Se calculó la probabilidad empírica de weibull
- Parámetros Posición (X_0) Localización (X_m) y de Escala (S)
- Parámetros por el método de momentos ($X_0 = \beta\alpha - X_m$, $g = \frac{2}{\sqrt{\alpha}}$, $\beta = \frac{S_x}{\sqrt{\alpha}}$)
- Se Calcula $X - X_0$
- Se calculó la Función Acumulada $F(Y)$ a través de la $F(Y) =$

Ecuación 10.

$$F(Y) = \int_0^Y \frac{Y^{\alpha-1} e^{-Y}}{\Gamma(\alpha)} dY$$

Ecuación 10

- se condiciono si Δ crítico es mayor que el valor máximo de la serie de función acumulada la prueba se ajusta.

El mismo procedimiento se aplicó para la **Distribución Log-Pearson III**, agregando el logaritmo natural.

Posteriormente se calculó la **Distribución Gumbel** teniendo en cuenta la siguiente metodología.

- Se ordenaron los datos de menor a mayor

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

- Se calculó la probabilidad empírica de weibull
- Parámetros Posición (X_0) y de Escala (S)
- Se calculó los Parámetros de Gumbel a través de la $\mu = \frac{S}{1.283}$ **Ecuación 11** y $\beta = X_m \pm 0.45S$ **Ecuación 12**
- Se calculó la Función Acumulada F(Y) a través de la $F(Z)=$ **Ecuación 13**
- se condiciona si Δ crítico es mayor que el valor máximo de la serie de función acumulada la prueba se ajusta.

$$\mu = \frac{S}{1.283} \text{Ecuación 11}$$

$$\beta = X_m \pm 0.45S \text{Ecuación 12}$$

$$F(Z) = \frac{1}{\alpha} e^{\left[\pm \frac{X-\beta}{\alpha} - e^{\pm \frac{X-\beta}{\alpha}} \right]} \text{Ecuación 13}$$

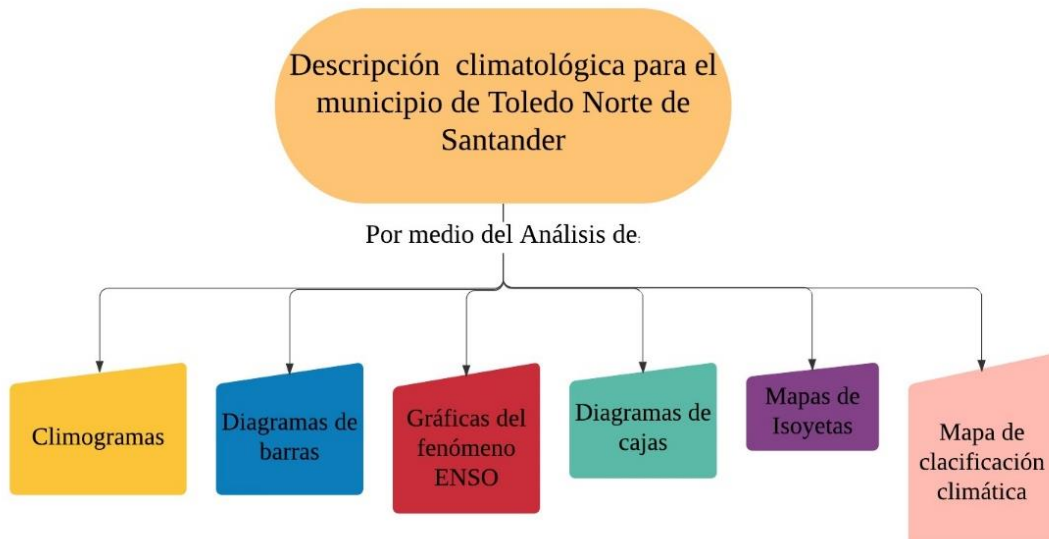
Para la **Distribución Log-Gumbel** se aplicó el mismo procedimiento mencionado en la distribución Gumbel, con la aplicación del logaritmo natural.

Finalmente se observó cuál de estas 6 distribuciones teóricas se ajusta mejor a los datos de precipitación de cada estación, se utilizó el Software Hydrognomom para observar las gráficas de cada serie y hacer la comparación entre la prueba de Smirnov kolgomorov y CHI-cuadrado.

FASE 3: Realizar una descripción a partir del análisis de las variables climatológicas en el área de estudio.

Gráfico 4.

DIAGRAMA METODOLÓGICO PARA LA FASE 3



Fuente: propia, 2021.

Se tomaron las variables climatológicas validadas anteriormente, por el cual se procedió a realizar la generación de gráficos para los diferentes niveles de agregación: mensuales, anuales y multianuales.

Climograma, Se trata de una herramienta muy utilizada en la meteorología para representar las dos variables más empleadas: precipitaciones y temperatura. Un climograma no es más que un gráfico donde se representan estas dos variables y se establecen sus valores (Portillo, s.f.). Para interpretar este tipo de grafico se procedió a mirar las curvas de la precipitación, se señaló las precipitaciones totales y la distribución a lo largo de todo el año, se observó el máximo y mínimo nivel. Inmediatamente se observó la curva de temperatura, esta nos indicó la temperatura media, la oscilación térmica anual y la distribución en todo el año, también se analizó los meses más calurosos y más fríos del año.

Un **diagrama de barras** se utiliza para representar datos cualitativos o datos cuantitativos de tipo discreto. Se representan sobre unos ejes de coordenadas, en el eje de abscisas se colocan los valores de la variable, y sobre el eje de ordenadas las frecuencias absolutas o relativas o acumuladas (Marta, 2019). En el presente estudio se utilizó para analizar la temperatura media, mínima y máxima de cada una de las estaciones en la zona de Toledo, se detalló los meses más calurosos y fríos de la serie histórica anual. También se

analizó las estaciones respecto a la altitud, en donde se observó la variabilidad de los microclimas y se analizó las precipitaciones medias mensuales multianuales en el cual se precisó el tipo de comportamiento de estas.

Los diagramas de **Caja-Bigotes** son una presentación visual que describe varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría (Estadística, 2008). Con esta metodología se detalló las medias y valores máximos y mínimos de cada mes, se utilizó para analizar las variables climatológicas como precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, nubosidad y brillo solar.

Las gráficas de **fenómeno ENSO** permitieron identificar la intensidad, tanto de la condición cálida (niño) como de la condición fría (niña), clasificándola en débil, moderada, fuerte y muy fuerte.

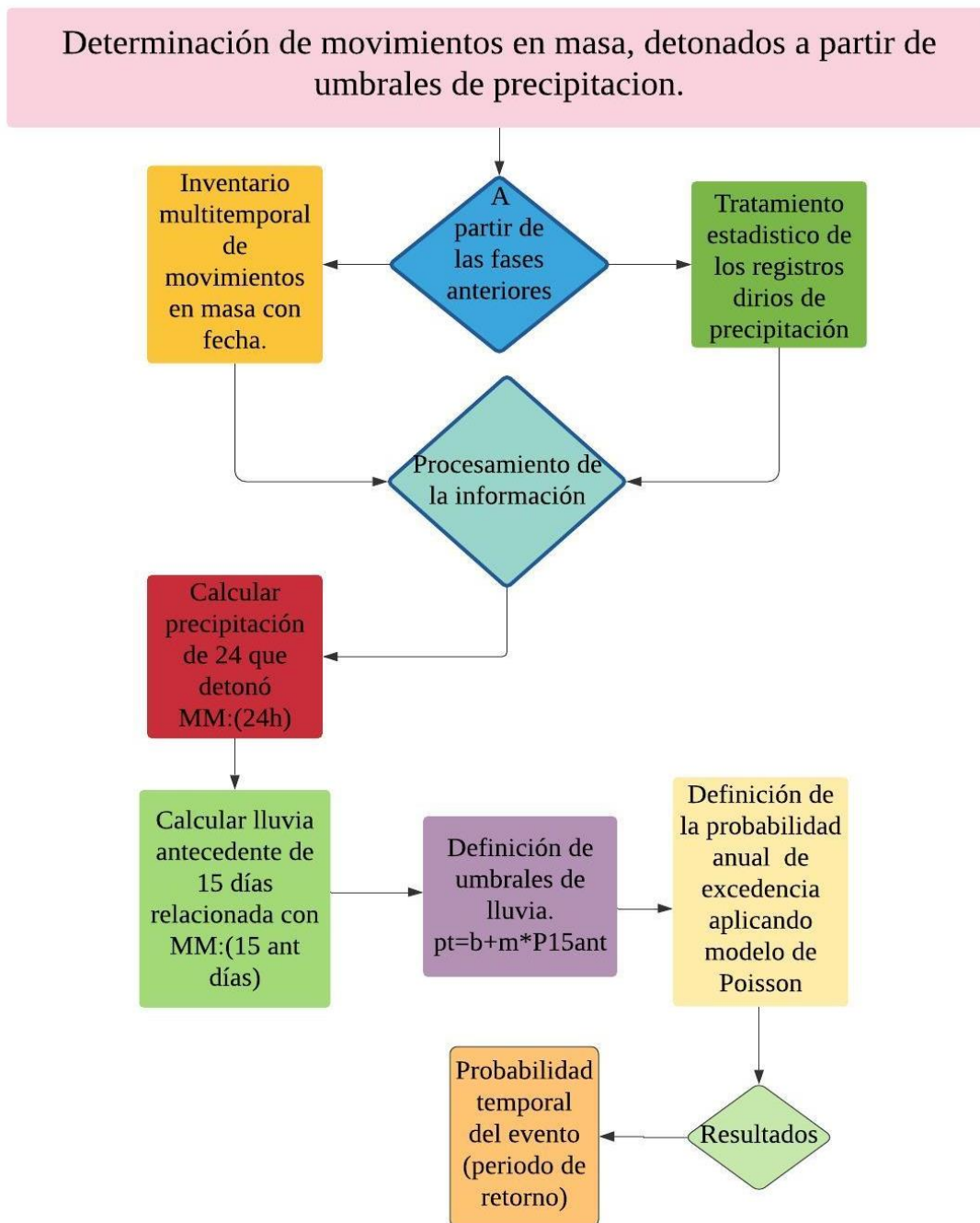
Se empleó el programa de argisc, para elaborar las **Isoyetas**. Se utilizó como base, la precipitación anual. Se manipulo el método (interpolación de la Distancia Inversa Ponderada) IDW el cual estima valores desconocidos al especificar la distancia de búsqueda, los puntos más cercanos, el ajuste de potencia. El parámetro Potencia le permite controlar la significancia de puntos conocidos en los valores interpolados basándose en la distancia desde el punto de salida (Graciano, 2015).

FASE 4: Determinar los movimientos en masa detonados a partir de los umbrales de precipitación, calculados mediante la probabilidad de Poisson para el municipio de

Toledo, Norte de Santander.

Gráfico 5.

DIAGRAMA METODOLÓGICO PARA LA FASE 4.



Fuente: propia, 2021.

Para la implementación de la fase 4, se cuenta con el inventario multitemporal de movimientos en masa y los registros de precipitación con agregación diaria, a partir de esta información se procedió a determinar la lluvia antecedente de 24 horas, 3 días, 5 días, 15 días y 1 año.

El cálculo del umbral de lluvia, a partir de un inventario multitemporal, se realiza a partir de un modelo empírico y con base en las siguientes premisas:

- Se cuenta con una base de datos que contiene la localización y fecha de movimientos en masa en un rango representativo de tiempo (Colombiano, Servicio Geológico, 2017).
- Según Moreno et al.,(2006) citado por (Colombiano, Servicio Geológico, 2017), existen estaciones con registros de precipitación diaria localizadas preferiblemente a distancias menores a 11 km de los movimientos en masa seleccionados.

Por medio del método Isoyetas se asoció el deslizamiento a la estación más cercana, teniendo en cuenta el régimen de precipitación de la cuenca o área de estudio a juicio del

hidrólogo.

Si un inventario multitemporal contiene movimientos en masa que fueron detonados en condiciones de lluvia diferentes, por tanto, se establece un umbral de lluvia que represente el conjunto de datos. Se propone establecer la lluvia antecedente de 15 días. Sin embargo, la lluvia antecedente puede variar de acuerdo con las condiciones del área de estudio, la disponibilidad de información y criterio experto; algunos autores como Guzzetti et al., (2007), citado por (Colombiano, Servicio Geológico, 2017), han utilizado diferentes número de días de lluvia antecedente (3, 15, 50 días).

A continuación se enumeran los pasos a seguir para el cálculo de la probabilidad de excedencia Gráfico 5:

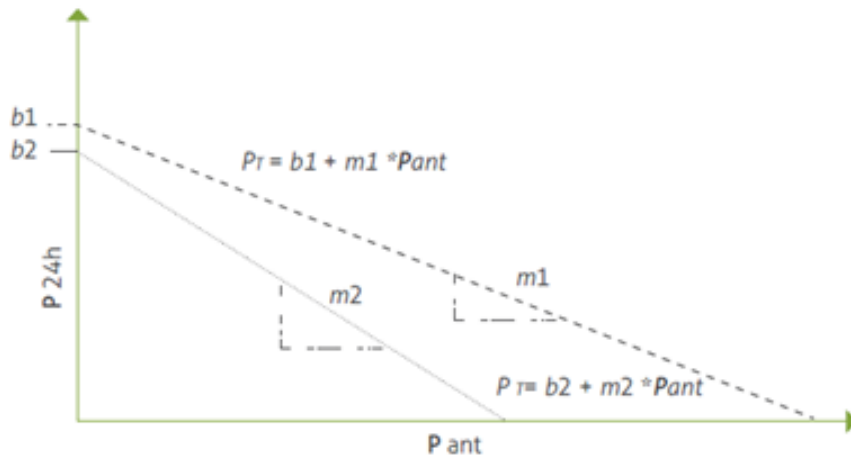
- Establecer los registros de inventario de procesos con fecha y localización conocida.
- Para cada fecha en la que se registró un movimiento en masa se calcula la lluvia antecedente de 15 días (sin incluir la precipitación del día en que ocurrió)
- Construir una gráfica en la cual el eje de las abscisas (x) representa la lluvia de los 15 días antecedentes ($P15_{ant}$) y en el eje de las ordenadas (y) la precipitación de las 24 horas ($P24h$) (ver Figura 15.).
- Si se cuenta con varias estaciones, para cada una se establece una función que represente el umbral de lluvia a partir de los cuales se detona un movimiento en masa. La representación de los umbrales de lluvia se realiza mediante la $PT = b +$

$m * Pant$ **Ecuación 14** y se puede establecer a partir de las áreas específicas de análisis o para estaciones pluviométricas definidas según el autor (Jaiswal & van Westen, 2009) citado por (Colombiano, Servicio Geológico, 2017).

$$PT = b + m * Pant \quad \text{Ecuación 14}$$

Figura 15.

FUNCIONES QUE REPRESENTAN LOS UMBRALES DE LLUVIA QUE DETONAN UN MOVIMIENTO EN MASA EN UN ÁREA ESPECÍFICA DE ANÁLISIS



Fuente: (Colombiano, Servicio Geológico, 2017).

Seguidamente para la **Probabilidad Empírica – Distribución de Poisson**, si no se cuenta con un inventario de procesos morfodinámicos representativo en que se tengan fechas conocidas de ocurrencia de los movimientos en masa, se propone calcular la probabilidad a partir del inventario multitemporal obtenido desde la identificación en sensores remotos de las ocurrencias o reactivaciones de movimientos en masa los cuales cuentan con fecha de toma (Colombiano, Servicio Geológico, 2017).

El cálculo de la probabilidad de ocurrencia de futuros procesos tipo deslizamiento según lo considerado en Crovelli (2000) citado por (Colombiano, Servicio Geológico, 2017), se puede ajustar a una distribución de probabilidad como la de Poisson, con base en las estadísticas de los eventos pasados.

De acuerdo con el modelo de Poisson la probabilidad de que se detonen uno o más deslizamientos durante un tiempo t está dada por la $P(N \geq 1; t) = 1 - (e^{-\lambda t})$ **Ecuación 15:**

$$P(N \geq 1; t) = 1 - (e^{-\lambda t}) \text{ Ecuación 15}$$

Donde:

- N es el número de deslizamientos que ocurren durante el tiempo t
- λ es el promedio de ocurrencias de deslizamientos en el mismo intervalo de tiempo, el cual se puede obtener del análisis multitemporal de movimientos en

masa.

Sin embargo, esta probabilidad está estrechamente ligada a la magnitud de los movimientos en masa y a sus diferentes tipos (Colombiano, Servicio Geológico, 2017).

Es importante aclarar que para el cálculo de probabilidad temporal asumiendo esta distribución, se debe hacer una exhaustiva revisión de toda la información de inventario de procesos morfo dinámicos disponible, en la cual se ha realizado un riguroso trabajo de análisis de información secundaria, bases de datos y especialmente interpretación visual de imágenes, abarcando un amplio periodo de análisis que permita definir intervalos de tiempo y promedios de ocurrencia con la menor incertidumbre posible (Colombiano, Servicio Geológico, 2017).

Capítulo IV

4.1 Análisis y resultados

4.1.1 Selección de las estaciones y de parámetros climatológicos con registros disponibles en el área de estudio

Las estaciones localizadas en el área de estudio están a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, tal como se relaciona en la Tabla 1. En total se encontraron 8 estaciones en la zona que conforma el municipio de Toledo norte de Santander incluyendo la que están localizadas en áreas vecinas, para estas estaciones se tuvo en cuenta un radio de 11 km a partir del límite del municipio. La localización de las estaciones se muestra en la Figura 16.

Tabla 1.

*ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS INCLUIDAS EN EL ANÁLISIS
HIDROLÓGICO Y DETONANTE LLUVIA DEL BLOQUE 3*

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| Nombre | Categoría-Tecnología | Estado | Fecha Instalación | Altitud (msnm) | Latitud | Longitud | Departamento | Municipio | Parámetro registrado |
|---|----------------------|--------|-------------------|----------------|-----------|------------|--------------------|-----------|---|
| Alcaldía de Herrán [16015130] | CP - AUT | A | 18/08/2005 | 240 | 7,5067222 | -72,485361 | Norte de Santander | Herrán | Precipitación (mm) |
| Tama Parque Nal [16015090] | CP - C | A | 15/04/1989 | 2500 | 7,4244444 | -72,442111 | Norte de Santander | Herrán | Temperatura (°C), Humedad relativa (mm), Nubosidad (octas), Precipitación (mm). |
| Labateca [37010010] | PM - C | A | 15/04/1955 | 1560 | 7,2980556 | -72,500556 | Norte de Santander | Labateca | Precipitación (mm) |
| San Bernardo [37020020] | PM - C | A | 15/10/1973 | 145 | 7,2266667 | -72,441944 | Norte de Santander | Toledo | Precipitación (mm) |
| Santa María-Abastos [37020040] | PM - C | A | 15/12/1972 | 850 | 7,0936111 | -72,2525 | Norte de Santander | Toledo | Precipitación (mm) |
| Campo Hermoso [37020030] | PM - C | A | 15/09/1958 | 1660 | 7,0988889 | -72,300278 | Norte de Santander | Toledo | Precipitación (mm) |
| Tunebia [37035010] | CO - C | A | 15/06/1972 | 370 | 7,0061111 | -72,115833 | Norte de Santander | Toledo | Temperatura (°C), Evaporación (mm), Humedad relativa (mm), Precipitación (mm) |
| Iser Pamplona [16015020] | AM - C | A | 15/04/1972 | 2340 | 7,3731111 | -72,645 | Norte de Santander | Pamplona | Temperatura (°C), Evaporación (mm), Humedad relativa (mm), Nubosidad (octas), Brillo solar, Precipitación (mm). |
| Categoría: CP - Climática Principal; PM - Pluviométrica; AM - Agrometeorológica; CO - Climática Ordinaria | | | | | | | | | |
| Tecnología: C - Convencional; AUT - Automática con Telemetría | | | | | | | | | |
| Estado: A – Activa. | | | | | | | | | |

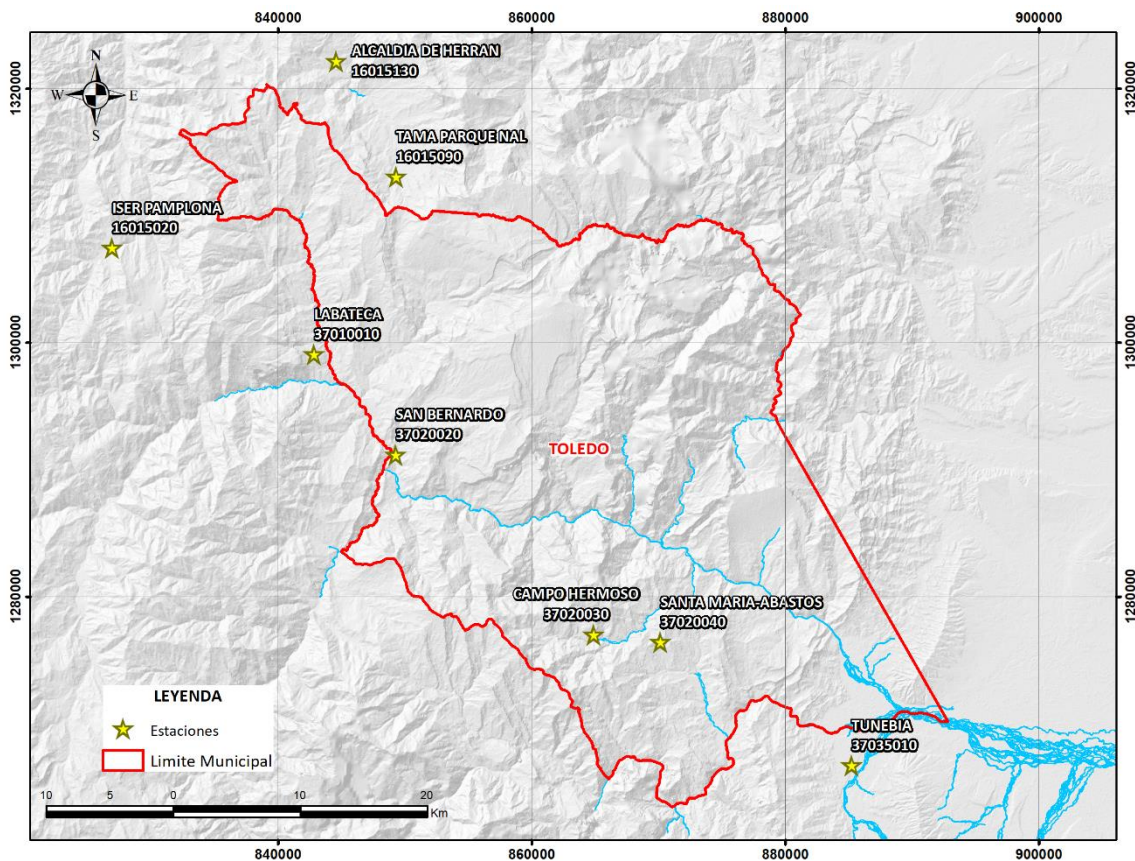
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Los análisis hidrológicos se realizaron con base en los registros de precipitación diaria de 8 estaciones a cargo del IDEAM, dentro de las cuales se cuenta con 4 estaciones pluviométricas, 2 climatológicas principales, 1 climatológicas ordinarias y 1 agrometeorológica.

Figura 16.

LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS TOLEDO NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

4.1.2 Recopilación de información bibliográfica sobre posibles movimientos en masa para el área de estudio

La revisión bibliográfica sobre posibles deslizamientos para la zona de Toledo norte de Santander, como se relaciona en la Tabla 2., salió de fuentes como, el Plan municipal para la gestión del riesgo de desastres Toledo Norte de Santander (2014-2019), de información dada por el señor Hernando Mendoza Forero en el año (1986), en la plataforma SIMMA (1998-2016), de noticias como Blu radio (2018) Y la EFM (2019), la mayoría de los deslizamientos descritos por estas fuentes, relatan que sucedieron en épocas de lluvia.

Tabla 2.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE POSIBLES MOVIMIENTOS DE MASA EN TOLEDO

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| Revisión Bibliográfica sobre movimientos en masa Toledo | | | | | | |
|--|---------------------|---|-------------------------|---|---------------------|---|
| Fuente de recopilación | Fecha del Documento | Descripción General | Posibles Deslizamientos | Fecha de posible Ocurrencia de deslizamientos | Sitio Deslizamiento | Vinculo |
| Plan Municipal Para La Gestión Del Riesgo De Desastres Toledo Norte De Santander | 2014-2019 | se describen los planes de gestión de riesgo para el municipio Toledo Norte Santander entre ellos se encuentran los movimientos en masa los cuales se han venido presentando en mayor cantidad en las épocas más lluviosas del año. | 70 | 2000-2014 | Toledo | PMGRD TOLEDO N DE S 2014-2019.pdf |
| Deslizamiento en el municipio de Toledo Norte de Santander | 1986 | Deslizamiento en Toledo Norte de Santander | 3 | 8/06/1905 | Toledo | Deslizamientos en el municipio de Toledo Norte de Santander por: HERNANDO MENDOZA FORERO Bucaramanga, noviembre de 1986 |
| Noticias | | Deslizamiento en Toledo Norte de Santander | 1 | 5/07/2016 | Toledo | http://www.nortedesantander.gov.co/Noticias-Gobernacion-Norte-de-Santander/ArticleID/4241/Lluvias-y-remocion-de-tierras-en-Toledo-activan-planes-de-entidades-de-Gestion-del-Riesgo-Municipal-Departamental-y-Nacional |
| LA FM | | Deslizamiento en Toledo Norte de Santander | 1 | 4/08/2018 | Toledo | https://www.lafm.com.co/colombia/toledo-en-norte-de-santander-decretado-en-calamidad-publica |
| Blu Radio | | Deslizamiento en Toledo Norte de Santander | 1 | 28/12/2019 | Toledo | https://www.bluradio.com/nacion/ comunicado-norte-de-santander-con-arauca-y-boyaca-por-deslizamientos |
| Plataforma SIMMA | | Deslizamiento en Toledo Norte de Santander | 27 | 1998-2016 | Toledo | http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/ |

Fuente: propia, 2021.

En total se recopilaron 103 posibles deslizamientos.

En la Tabla 3 y Tabla 4, se presentan 21 movimientos en total, todos ellos fueron seleccionados finalmente, ya que en algunos de los deslizamientos se pudo reducir la incertidumbre de la temporalidad de los movimientos, por medio de imágenes satelitales, para esta tarea se emplearon satélites como RapidEye. Se utilizaron sensores entre ellos Sentinel 2, este sensor empezó a funcionar desde el 2015, los deslizamientos del 2015 hacia

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

atrás fueron tomados en cuenta debido a la confiabilidad de algunas fuentes secundarias.

Se hizo un análisis hidrológico en última instancia para seleccionar las fechas en que posiblemente ocurrieron los deslizamientos.

Tabla 3.

EVENTOS SELECCIONADOS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO (TOLEDO NORTE DE SANTANDER).

| Movimientos en masa seleccionados para la zona NORTE-OESTE | | | | | | | |
|--|------------|----------------------------|-----------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| CODIGO SIMMA | FECHA | ESTACION ASOCIADA | LOCALIDAD | TIPO DE MOVIMIENTO 1 | TIPO DE MOVIMIENTO 2 | Sub tipo Movimiento 1 | Sub tipo Movimiento 2 |
| 44355 | 27/06/2018 | SAN BERNARDO [37020020] | Toledo | Deslizamiento | | rotacional | |
| 42726 | 8/10/2007 | LABATECA [37010010] | Toledo | Deslizamiento | | Traslacional | |
| 44955 | 23/09/2000 | SAN BERNARDO [37020020] | Toledo | Deslizamiento | | Rotacional | |
| 44314 | 8/10/1998 | SAN BERNARDO [37020020] | Toledo | Deslizamiento | | Traslacional | |
| 36756 | 14/09/2018 | LABATECA [37010010] | Toledo | Deslizamiento | | rotacional | |
| 36791 | 11/06/2016 | TAMA PARQUE NAL [16015090] | Toledo | Deslizamiento | flujo | Traslacional | Flujo de lodos |
| 29880 | 17/09/2006 | SAN BERNARDO [37020020] | Toledo | Deslizamiento | | Deslizamiento rotacional de detritos | |
| 29877 | 18/09/2006 | SAN BERNARDO [37020020] | Toledo | Deslizamiento | | Deslizamiento rotacional de rocas | |
| 29865 | 10/10/2007 | LABATECA [37010010] | Toledo | Deslizamiento | | Deslizamiento rotacional de detritos | |
| 29831 | 10/10/2007 | TAMA PARQUE NAL [16015090] | Toledo | Deslizamiento | | Deslizamiento traslacional de rocas | |
| 29866 | 25/09/2009 | SAN BERNARDO [37020020] | Toledo | Deslizamiento | flujo | Deslizamiento traslacional | Flujo de detritos |
| 36797 | 24/09/1986 | SAN BERNARDO [37020020] | Toledo | Deslizamiento | | Traslacional | |

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Tabla 4.

EVENTOS SELECCIONADOS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO (TOLEDO NORTE DE SANTANDER).

| Movimientos en masa seleccionados para la zona Sur-Este | | | | | | | |
|---|------------|--------------------------------|-----------|----------------------|----------------------|---|-----------------------|
| CODIGO SIMMA | FECHA | ESTACION ASOCIADA | LOCALIDAD | TIPO DE MOVIMIENTO 1 | TIPO DE MOVIMIENTO 2 | Sub tipo Movimiento 1 | Sub tipo Movimiento 2 |
| 33043 | 11/10/2014 | CAMPO HERMOSO [37020030] | Toledo | Deslizamiento | | Deslizamiento traslacional de detritos | |
| 36721 | 8/08/2017 | TUNEBIA [37035010] | Toledo | Deslizamiento | | Traslacional | |
| 36798 | 1/06/2019 | TUNEBIA [37035010] | Toledo | Deslizamiento | | Traslacional | |
| 43399 | 21/08/2019 | SANTA MARIA-ABASTOS [37020040] | Toledo | Flujo | | flujo de detritos | |
| 36784 | 12/06/2019 | SANTA MARIA-ABASTOS [37020040] | Toledo | Deslizamiento | | rotacional | |
| 36785 | 7/06/2019 | CAMPO HERMOSO [37020030] | Toledo | Deslizamiento | | rotacional | |
| 33056 | 12/08/2007 | CAMPO HERMOSO [37020030] | Toledo | Flujo | | flujo de detritos | |
| 33051 | 5/08/2010 | CAMPO HERMOSO [37020030] | Toledo | Deslizamiento | Flujo | Deslizamiento traslacional de detritos | Flujo de lodos |
| 33059 | 7/08/2012 | TUNEBIA [37035010] | Toledo | Deslizamiento | | Deslizamiento traslacional planar de detritos | |

Fuente: propia, 2021.

4.1.3 Análisis de Homogeneidad y consistencia de los registros diarios de precipitación

4.1.3.1 Precipitación.

Como parte del análisis estadístico de los datos de precipitación se realiza un análisis de homogeneidad y consistencia de los registros con el fin de determinar cambios o tendencias de las series, lo cual permite disminuir el grado de incertidumbre sobre la validez de los resultados obtenidos.

El análisis de homogeneidad y consistencia de las series de precipitación se presenta para diferentes niveles de agregación y empieza por Graficas de OUTLIER, gráficas de series de tiempo (para registros diarios), gráficas de doble masa y gráficas de normalidad (éstos últimos para registros anuales). Posteriormente, se presenta la prueba de normalidad (Smirnov Kolmogorov) para confirmar o no la posible distribución normal de los datos. Finalmente se presenta un análisis confirmatorio, por medio de pruebas estadísticas parámétricas y no parámétricas.

Si se observa alguna tendencia y/o falta de homogeneidad en la información se procede a ajustar las series según sea el caso.

4.1.3.1.1 *Graficas de OUTLIER para cada estación.*

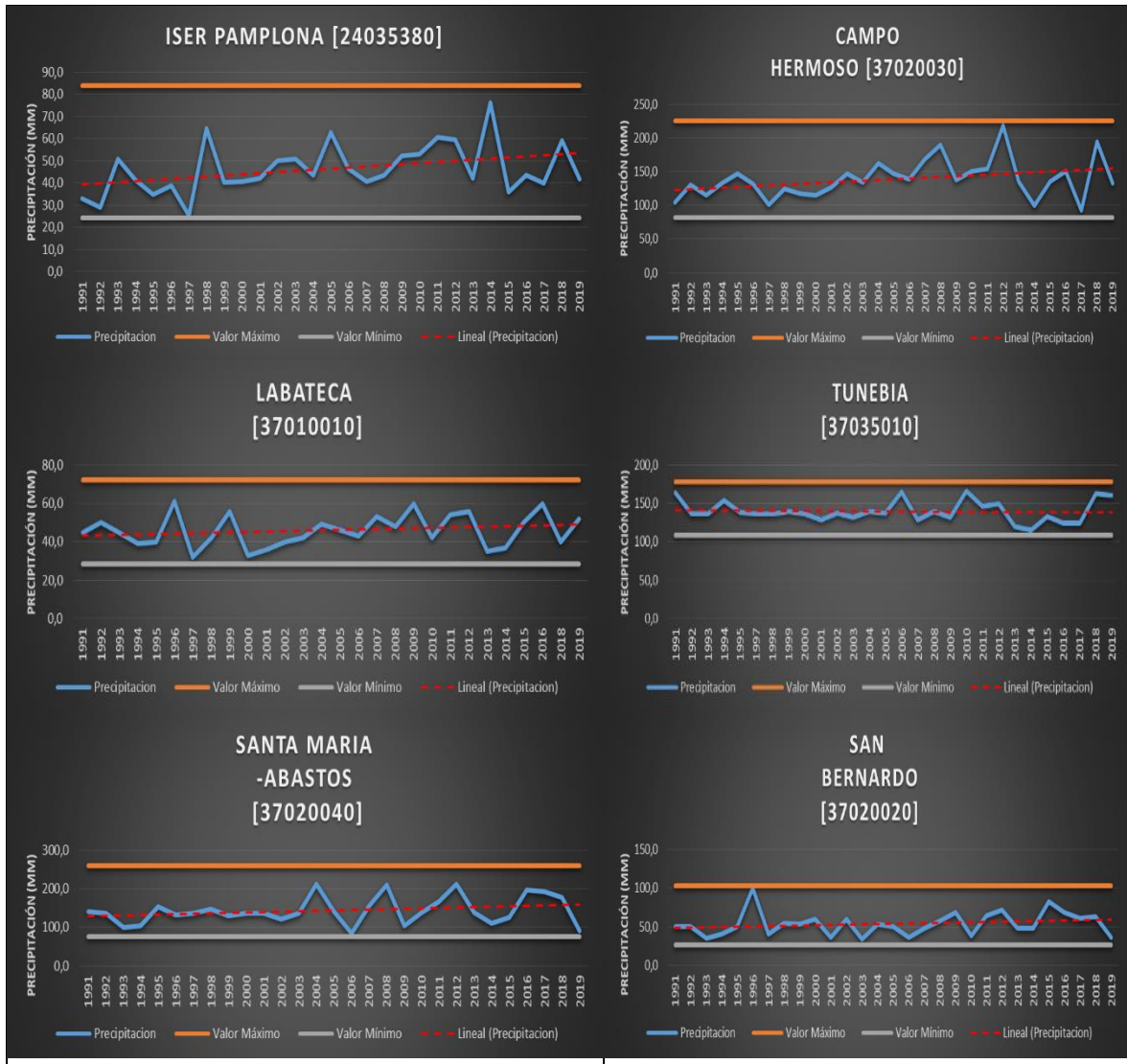
Las gráficas de OUTLIER que se muestran en la Figura 17, se elaboraron para 6 estaciones, con precipitaciones máximas de 24 horas mensual, estas estaciones cumplían con la densidad de información mínima de 20 años, se observaron datos que se salían del valor máximo, estos valores fueron señalados y tenidos en cuenta para su posterior valoración con gráficas de series de tiempo, ya que "todos los procedimientos para tratar los valores atípicos requieren, en última instancia, un juicio que incluya consideraciones tanto matemáticas como hidrológicas" (Council, 1981).

Figura 17.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

MOSAICO DE GRAFICAS DE OTLIER PARA LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN 24

HORAS MÁXIMAS MENSUAL



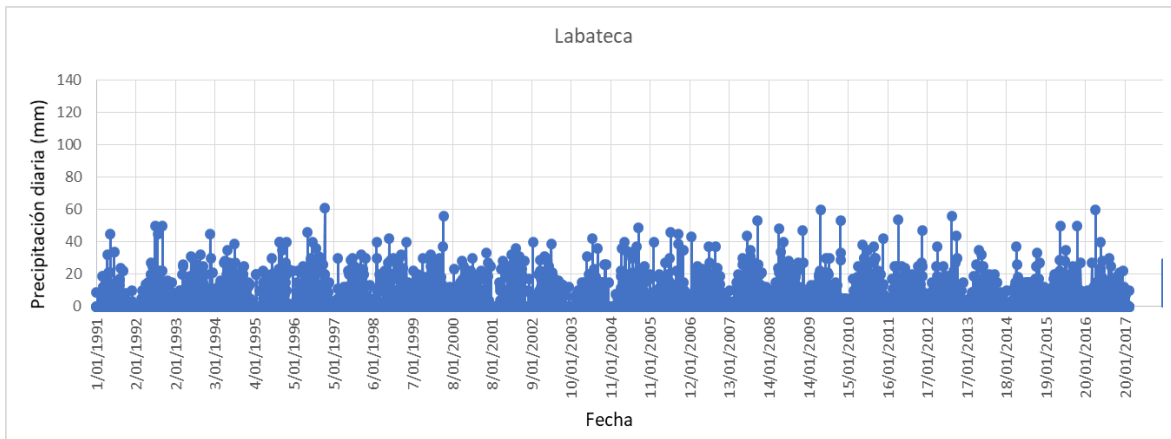
Fuente: propia, 2021.

4.1.3.1.2 Gráficas de series de tiempo.

Se elaboraron las gráficas de series de tiempo de las precipitaciones diarias para las 8 estaciones que integran el análisis. A continuación, se presentan las gráficas de series de tiempo de precipitación diaria de las estaciones Labateca y Tunebia que representan la zona norte y sur de Toledo respectivamente. Las gráficas de series de tiempo para las demás estaciones se encuentran en el ANEXO 1 – A: GRÁFICAS DE SERIES DE TIEMPO DE PRECIPITACIÓN DIARIA (mm)

Figura 18.

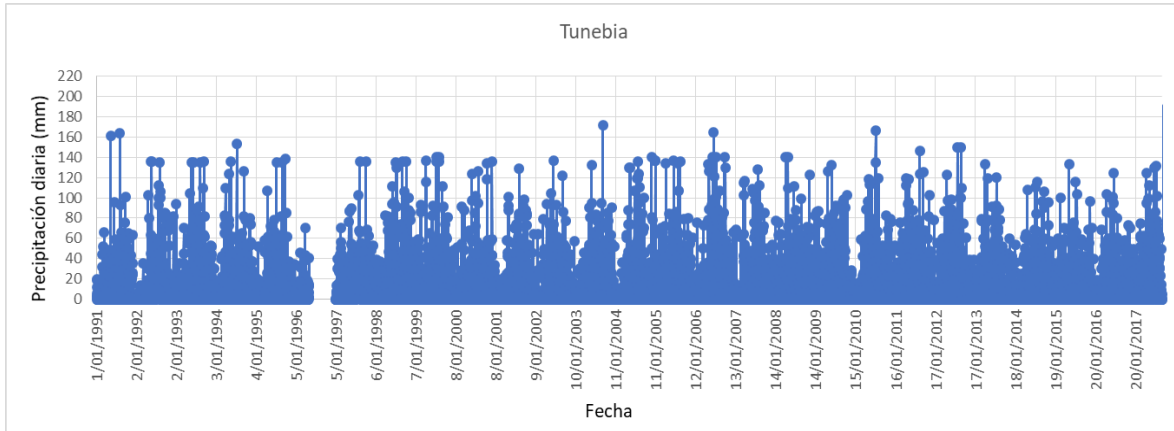
PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN LABATECA (1991-2018)



Fuente: propia, 2021.

Figura 19.

PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN TUNEBIA (1991-2018)



Fuente: propia, 2021.

Con base en las figuras de series de tiempo y la comparación de los datos obtenidos por el método de OUTLIER, se definió la validez de algunos registros de precipitación máxima diaria (mm), a partir de los registros antecedentes y posteriores a la fecha de ocurrencia en la estación objetivo y a los registros de precipitación en las estaciones vecinas en la fecha de ocurrencia.

Tabla 5.

REGISTROS CON PRECIPITACIONES MÁXIMAS QUE FUERON VALIDADOS O AJUSTADOS.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| ESTACIÓN | Fecha | Precipitación diaria (mm) | Validado | Ajustado |
|---------------------|------------|---------------------------|----------|----------|
| San Bernardo | 14/07/1996 | 100 | | X |
| | 14/08/1996 | 140 | | X |
| | 18/08/1996 | 100 | | X |
| | 15/09/1996 | 100 | x | |
| Tama Parque Nal | 17/06/2001 | | | X |
| | 19/06/2001 | 90,5 | | X |
| | 26/09/2011 | 90,5 | | X |
| | 21/04/2012 | 103,5 | x | |
| Santa María Abastos | 30/07/2004 | 211 | x | |
| | 26/09/2004 | 180 | x | |
| | 14/04/2008 | 177,2 | x | |
| | 5/05/2008 | 210 | x | |
| | 18/07/2010 | 166 | x | |
| | 28/08/2012 | 211,2 | x | |
| | 25/08/2016 | 196,5 | x | |
| | 5/08/2017 | 184,2 | x | |

Fuente: propia, 2021.

4.1.3.1.3 Prueba T Student.

Se realizó la prueba T student (prueba de hipótesis) para dos muestras suponiendo varianzas desiguales en las estaciones de Toledo como se muestra en la Tabla 6, donde se comprobó que los valores medios de las submuestras, son estadísticamente iguales con un nivel de significancia del 5%. Esto significa que estadísticamente no se debe hacer el proceso de corrección de las series aun cuando en las curvas doble masa se presenten pequeños quiebres.

Tabla 6.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

PRUEBAS T STUDENT PARA LAS ESTACIONES DE TOLEDO

| | ISER PAMPLON A [16015020] | ALCALDIA DE HERRAN - AUT [16015130] | | LABATECA [37010010] | ISER PAMPLONA [16015020] |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|--------------------------------|
| Media | 878,574426 | 631,7416667 | Media | 1030,28335 | 878,574426 |
| Varianza | 55163,3659 | 116839,0154 | Varianza | 48253,3819 | 55163,3659 |
| Observaciones | 28 | 12 | Observaciones | 27 | 28 |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | | Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 16 | | Grados de libertad | 53 | |
| Estadístico t | 2,28131609 | | Estadístico t | 2,47499435 | |
| P(T<=t) una cola | 0,0182813 | | P(T<=t) una cola | 0,00827824 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,74588368 | | Valor crítico de t (una cola) | 1,67411624 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,03656259 | | P(T<=t) dos colas | 0,01655647 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,1199053 | | Valor crítico de t (dos colas) | 2,005746 | |
| | TAMA PARQUE NAL [16015090] | ISER PAMPLONA [16015020] | | SANTA MARIA- ABASTOS [37020040] | TUNEBIA [37035010] |
| Media | 1620,58352 | 878,574426 | Media | 5199,27175 | 4992,2632 |
| Varianza | 124445,392 | 55163,36592 | Varianza | 846733,425 | 295969,48 |
| Observaciones | 20 | 28 | Observaciones | 28 | 26 |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | | Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 31 | | Grados de libertad | 44 | |
| Estadístico t | 8,19792474 | | Estadístico t | 1,01465124 | |
| P(T<=t) una cola | 1,4661E-09 | | P(T<=t) una cola | 0,15790965 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,69551878 | | Valor crítico de t (una cola) | 1,68022998 | |
| P(T<=t) dos colas | 2,9323E-09 | | P(T<=t) dos colas | 0,3158193 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,03951345 | | Valor crítico de t (dos colas) | 2,01536757 | |
| | CAMPO HERMOSO [37020030] | SANTA MARIA- ABASTOS [37020040] | | SAN BERNARDO [37020020] | LABATECA [37010010] |
| Media | 5341,63642 | 5199,271752 | Media | 1343,78678 | 1030,28335 |
| Varianza | 273766,78 | 846733,4248 | Varianza | 51987,2488 | 48253,3819 |
| Observaciones | 25 | 28 | Observaciones | 27 | 27 |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | | Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 44 | | Grados de libertad | 52 | |
| Estadístico t | 0,70145571 | | Estadístico t | 5,14520018 | |
| P(T<=t) una cola | 0,24335619 | | P(T<=t) una cola | 2,0678E-06 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,68022998 | | Valor crítico de t (una cola) | 1,67468915 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,48671238 | | P(T<=t) dos colas | 4,1357E-06 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,01536757 | | Valor crítico de t (dos colas) | 2,00664681 | |

Fuente: propia, 2021.

4.1.3.1.4 Gráficas doble masa.

Por medio de las gráficas de doble masa representadas en la Figura 20, para precipitación acumulada con nivel de agregación anual, se observa que en la mayoría de las estaciones la pendiente tiende a ser constante, es decir, que se muestra una correlación lineal con los datos de precipitación acumulados.

En las curvas de doble masa presentadas en la Figura 20 se muestran estaciones como por ejemplo Santa Maria de Abastos y Campo Hermoso donde se puede observar un pequeño quiebre en la tendencia, lo cual constituye un posible error sistemático de medición de cualquiera de las dos estaciones comparadas, seguramente al momento del cambio de los instrumentos de medición, cambio de ubicación, variación de las características del lugar o un posible error humano a la hora de la observación de los datos y toma de estos. Estas estaciones presentan coeficientes de regresión al cuadrado (R^2) mayores a 0,9 lo que indica que existe correlación entre las estaciones analizadas.

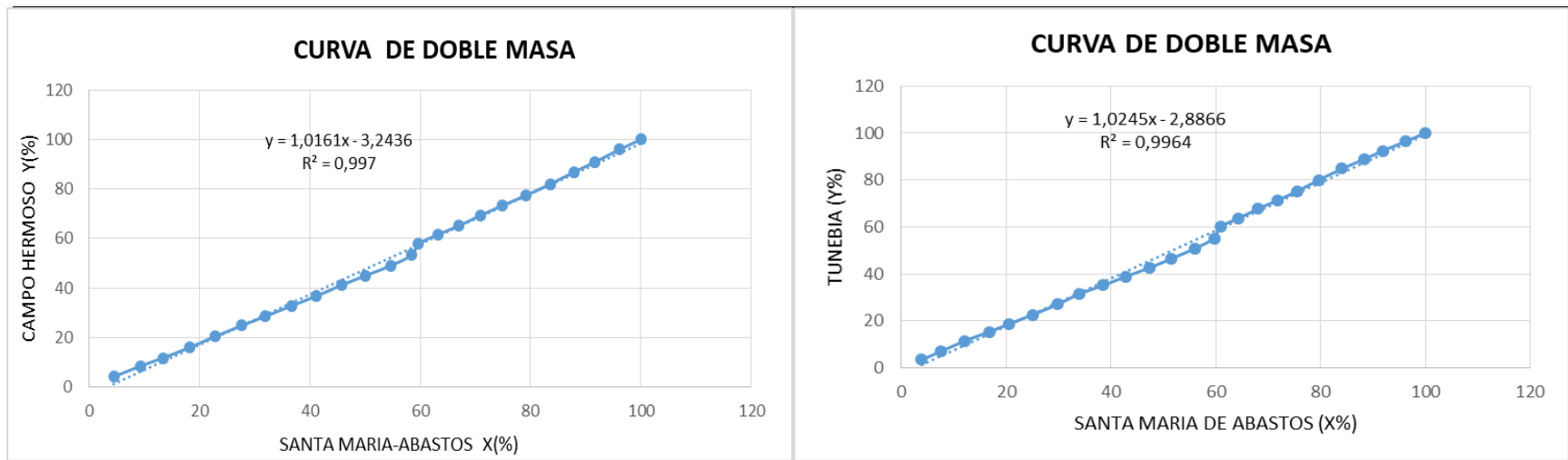
En la estación Iser pamplona y Alcaldía Herrán presenta una variación notable en su tendencia, pero existe una buena correlación debido al coeficiente de regresión (R^2), cabe resaltar que el tamaño de la muestra es pequeño con un periodo de 12 años para la estación de Alcaldía Herrán, se decidió mantener la información de esta estación debido a que es

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

pieza fundamental dentro de la investigación.

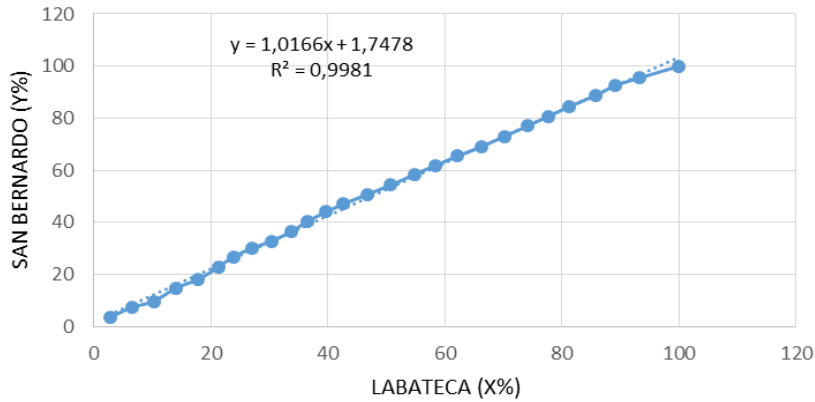
Figura 20.

MOSAICO DE LAS GRÁFICAS DE DOBLE MASA PARA PRECIPITACIONES ACUMULADAS CON NIVEL DE AGREGACIÓN ANUAL

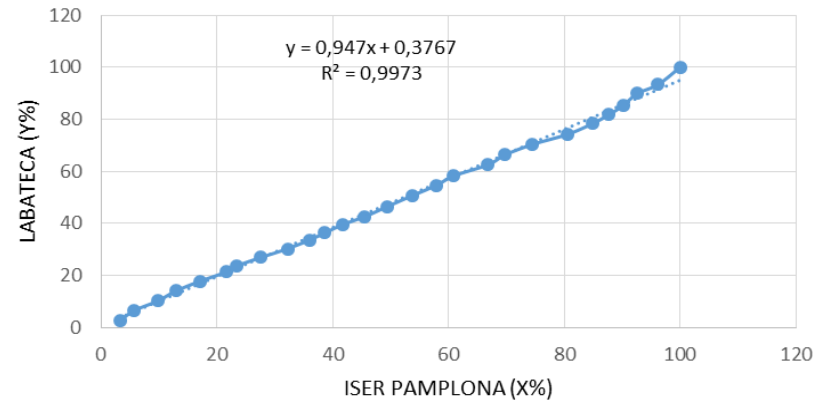


ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

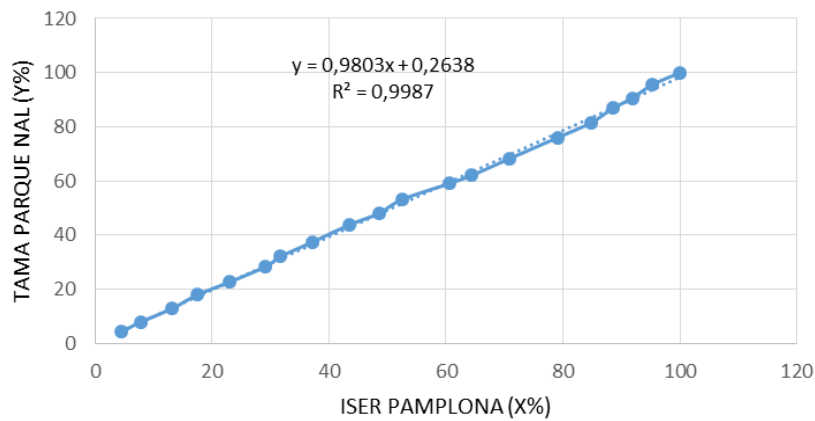
CURVA DE DOBLE MASA



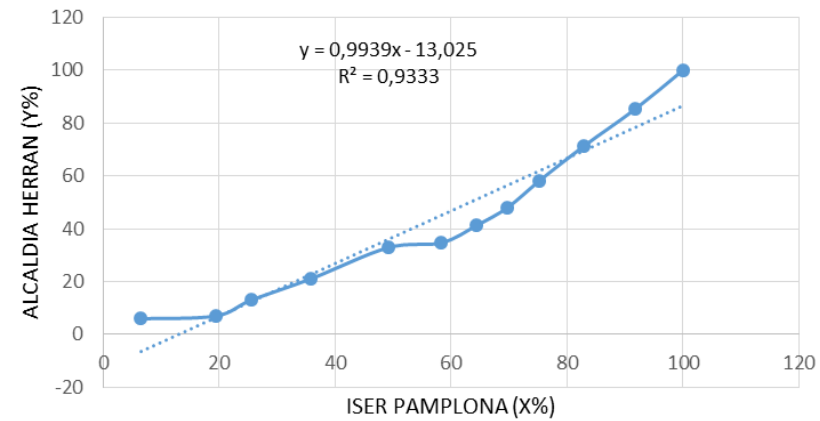
CURVA DE DOBLE MASA



CURVA DE DOBLE MASA



CURVA DE DOBLE MASA



4.1.3.1.5 *Distribuciones teóricas.*

Se realizaron las pruebas de bondad de ajuste para las estaciones relacionadas al área de estudio, a continuación se muestran en la Tabla 7, las distribuciones teóricas que mejor se ajustan a las series de datos de precipitación máxima 24 horas con nivel de agregación anual, según el test de Smirnov Kolgomorov y Chi-cuadrado.

Tabla 7.

DISTRIBUCIONES TEÓRICAS QUE MEJOR SE AJUSTAN A LAS SERIES DE PRECIPITACIÓN DE CADA ESTACIÓN

| ESTACIÓN | Pruebas de normalidad | Tipo de distribución teórica que mejor se ajusta |
|--------------------------|------------------------------|---|
| Campo Hermoso [37020030] | Smirnov-kolgomorov | Log Normal |
| | Chi2-distribución -normal | Normal |
| Labateca [37010010] | Smirnov-kolgomorov | Log pearson III |
| | Chi2-distribución -normal | Gumbel |
| Tunebia [37035010] | Smirnov-kolgomorov | Gumbel |
| | Chi2-distribución -normal | Normal |
| Iser Pamplona [16015020] | Smirnov-kolgomorov | Gumbel |
| | Chi2-distribución -normal | Gumbel |
| San Bernardo [37020020] | Smirnov-kolgomorov | Log Normal |

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| ESTACIÓN | Pruebas de normalidad | Tipo de distribución teórica que mejor se ajusta |
|---------------------------------------|---------------------------|--|
| | Chi2-distribución -normal | Normal |
| Santa María- Abastos [37020040] | Smirnov-kolgomorov | Gumbel |
| | Chi2-distribución -normal | Normal |

Fuente: propia, 2021.

- **Estación de Campo Hermoso**

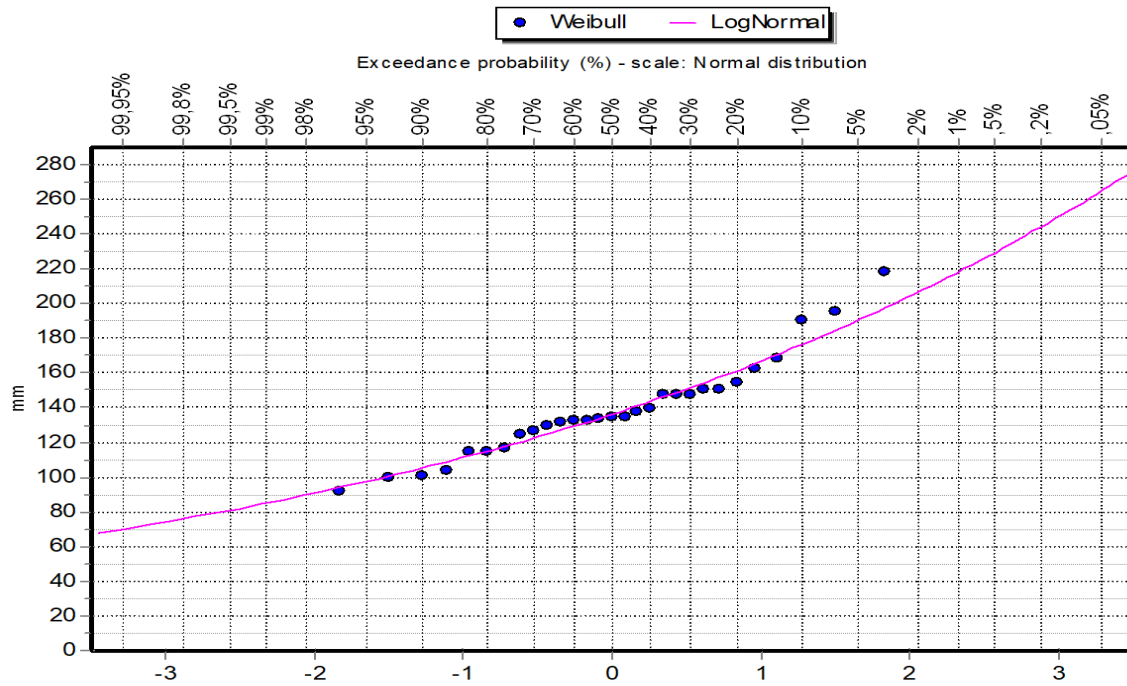
Por medio del software Hidrognomom, se hizo un test para la prueba Smirnov-Kolgomorov Kolgomorov y prueba Chi-cuadrado, en las series de precipitación de la estación de campo hermoso, por medio de la cual se definió la serie teórica que mejor se ajusta, teniendo en cuenta el porcentaje de aceptabilidad como se muestra en la

Figura 22. Según la prueba Smirnov-Kolgomorov la distribución teórica que mejor se ajusta a las series de precipitación es la distribución log normal como se muestra en la *Figura 21.*

Figura 21.

GRAFICA DE LA DISTRIBUCIÓN TEÓRICA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA SERIES DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN CAMPO HERMOSO

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

Figura 22.

TEST PARA LA PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV VS PRUEBA CHI-CUADRADO

| PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV | | | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|------------|----------------|
| Kolmogorov-Smirnov test for: All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 96,86% | 0,08363 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 95,91% | 0,08639 |
| PRUEBA CHI-CUADRADO | | | | | |
| Número de Clases | | | | 5,0 | |
| X-Square test for All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | Pearson Param. |
| Normal (L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 55,64% | 1,17241 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 33,17% | 2,2069 |

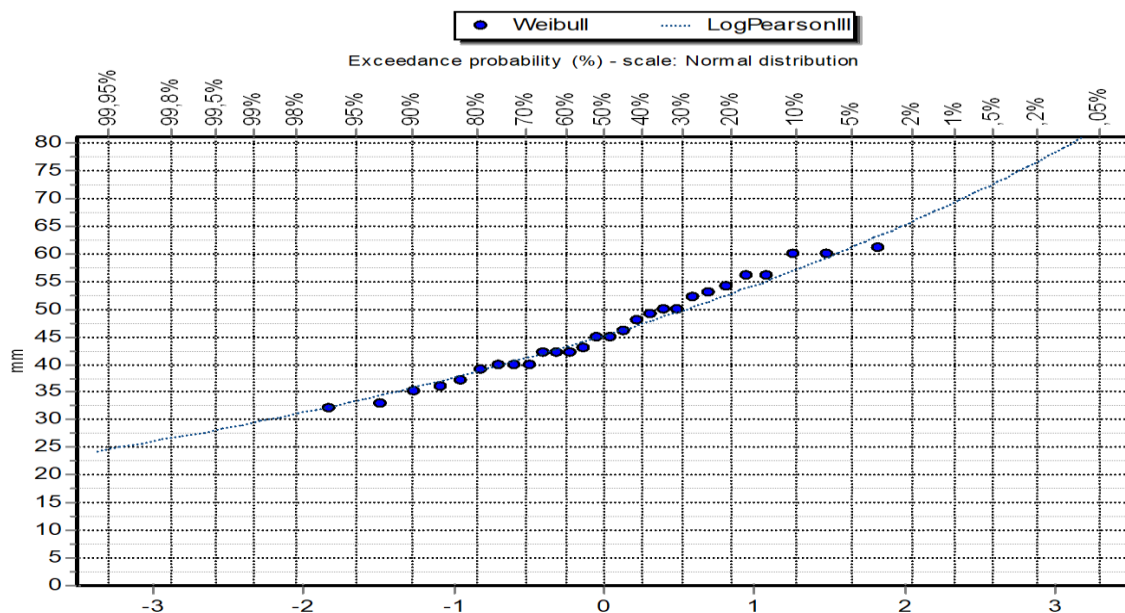
Fuente: propia, 2021.

- **Estación Labateca**

La distribución teórica que más se ajusta a la serie de datos de precipitación es la distribución log Pearson III para la estación Labateca según el test de Smirnov Kolgomorov.

Figura 23.

GRAFICA DE LA DISTRIBUCIÓN TEÓRICA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA SERIES DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN LABATECA



ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Figura 24.

TEST PARA LA PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV VS PRUEBA CHI-CUADRADO

| PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
| Pareto | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99,94% | 0,06063 |
| GEV-Min (L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99,87% | 0,06342 |
| Pareto (L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99,87% | 0,06366 |
| GEV-Max (L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99,72% | 0,06723 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99,62% | 0,06885 |

| PRUEBA CHI-CUADRADO | | | | | |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Número de Clases | | | | 5,0 | |
| X-Square test for All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained | Pearson Param. |
| EV3-Min (Weibull) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 62,86% | 0,92857 |
| GEV-Min (kappa specified) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 62,86% | 0,92857 |
| EV1-Max (Gumbel, L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 52,58% | 1,28571 |

Fuente: propia, 2021.

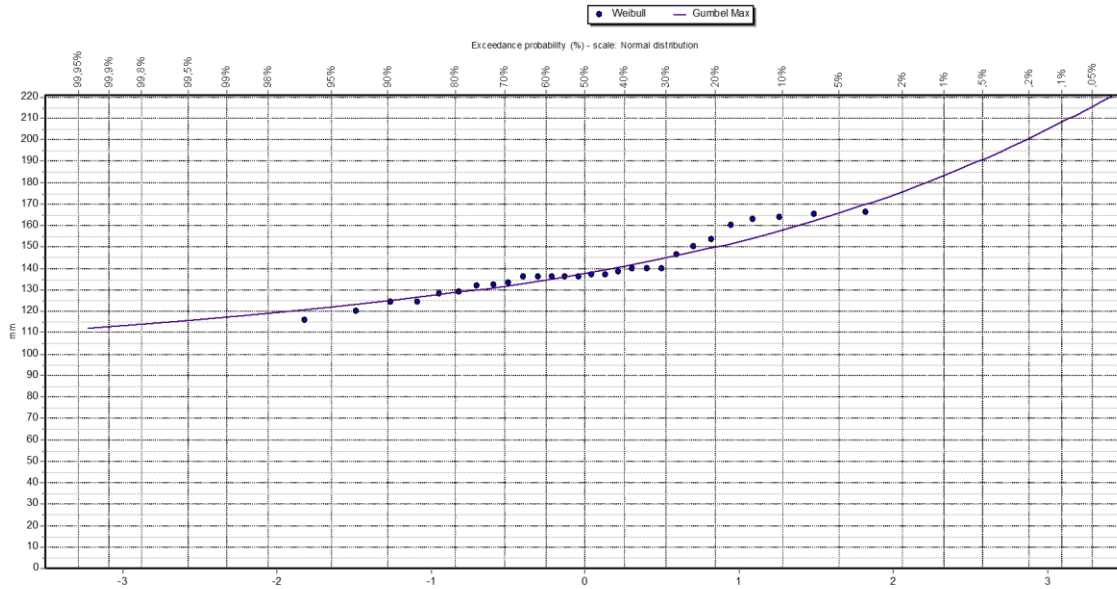
- **Estación Tunebia**

Según la Figura 25, la distribución teórica que mejor se ajusta a la serie de datos es la distribución de Gumbel con un porcentaje del 76,57% en el test de Smirnov Kolgomorov, Para la estación de Tunebia.

Figura 25.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

GRAFICA DE LA DISTRIBUCIÓN TEÓRICA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA SERIES DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN TUNEBA



Fuente: propia, 2021.

Figura 26.

TEST PARA LA PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV VS PRUEBA CHI-CUADRADO

| PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|----------------|
| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
| EV2-Max | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 81,10% | 0,11217 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 76,47% | 0,1178 |
| PRUEBA CHI-CUADRADO | | | | | |
| Número de Clases | | | | | 5,0 |
| X-Square test for All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained | Pearson Param. |
| GEV-Max (kappa specified, L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 30,77% | 2,35714 |
| GEV-Max (kappa specified) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 21,53% | 3,07143 |
| Exponential (L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 15,06% | 3,78571 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 10,54% | 4,5 |

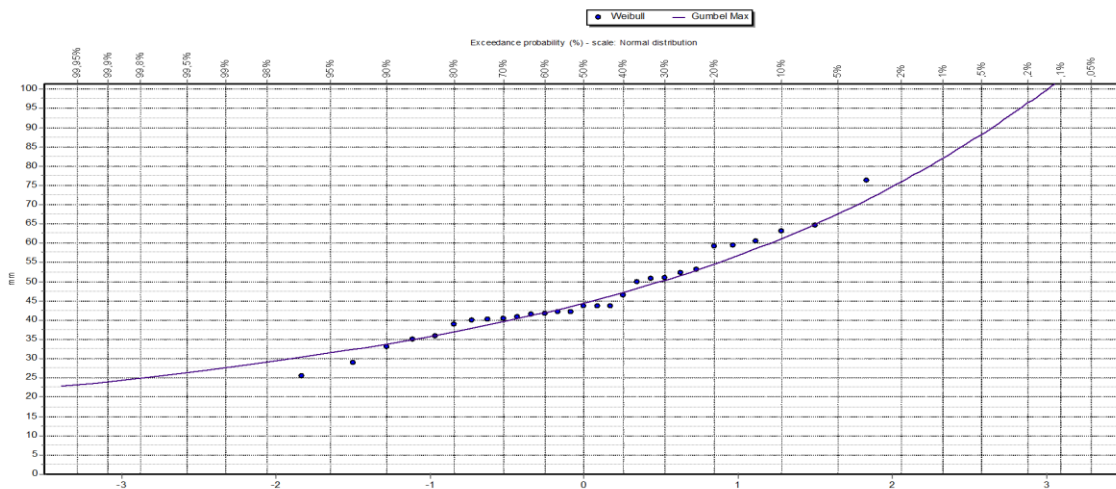
Fuente: propia, 2021.

- **Estación Iser Pamplona**

Para la estación Iser Pamplona, se determinó que la distribución teórica para la serie de datos de precipitación, es la distribución de Gumbel. Esto significa que la frecuencia empírica de la serie analizada se ajusta en un 90,63% según el test Smirnov Kolgomorov.

Figura 27.

GRAFICA DE LA DISTRIBUCIÓN TEÓRICA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA SERIES DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN ISER PAMPLONA.



Fuente: propia, 2021.

Figura 28.

TEST PARA LA PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV VS PRUEBA CHI-CUADRADO

| PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|----------------|
| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
| EV1-Max (Gumbel, L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 92,67% | 0,0936 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 90,63% | 0,09723 |
| PRUEBA CHI-CUADRADO | | | | | |
| Número de Clases | | | | 5,0 | |
| X-Square test for All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained | Pearson Param. |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 78,55% | 0,48276 |

Fuente: propia, 2021.

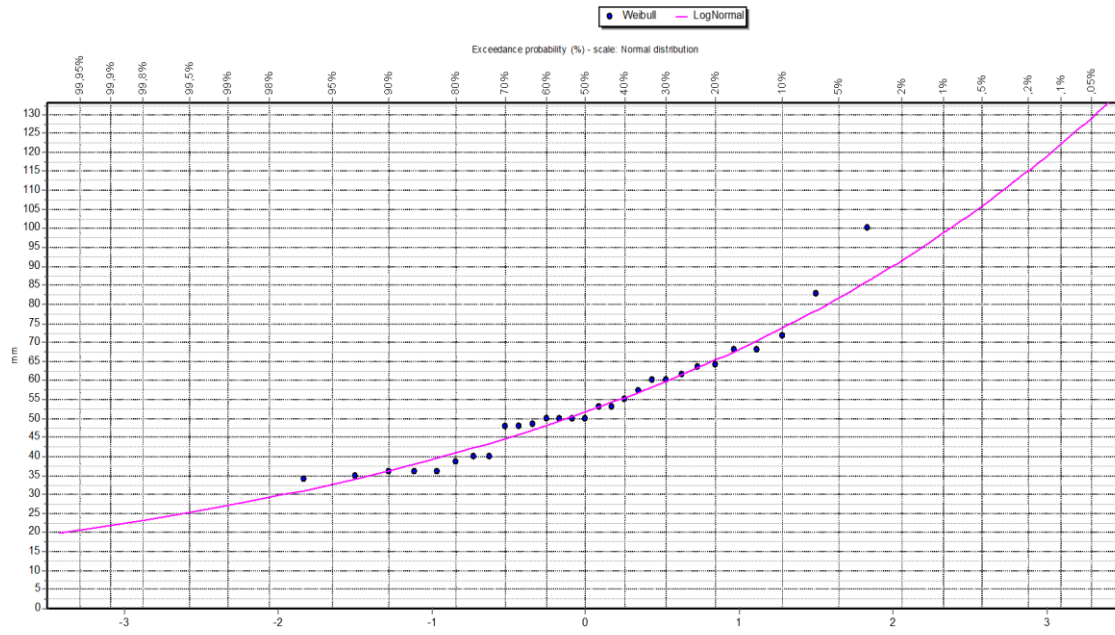
- **Estación San Bernardo**

La frecuencia empírica de la serie de precipitaciones analizadas en la estación San Bernardo, la distribución teórica que mejor se ajusta es Log Normal con un porcentaje del 91.95% según el test Smirnov Kolgomorov.

Figura 29.

Grafica de la distribución teórica que mejor se ajusta a la series de precipitación de la estación San Bernardo

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

Figura 30.

TEST PARA LA PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV VS PRUEBA CHI-CUADRADO

| PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 96,72% | 0,08406 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 91,95% | 0,09494 |

| PRUEBA CHI-CUADRADO | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|----------|----------------|
| Número de Clases | | | | | 5,0 |
| X-Square test for All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained | Pearson Param. |
| EV1-Min (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 39,41% | 1,86207 |
| EV3-Min (Weibull) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 39,41% | 1,86207 |
| EV1-Min (Gumbel, L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 39,41% | 1,86207 |
| EV3-Min (Weibull, L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 39,41% | 1,86207 |
| GEV-Min (kappa specified) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 39,41% | 1,86207 |
| GEV-Min (kappa specified, L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 39,41% | 1,86207 |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 27,92% | 2,55172 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 19,78% | 3,24138 |

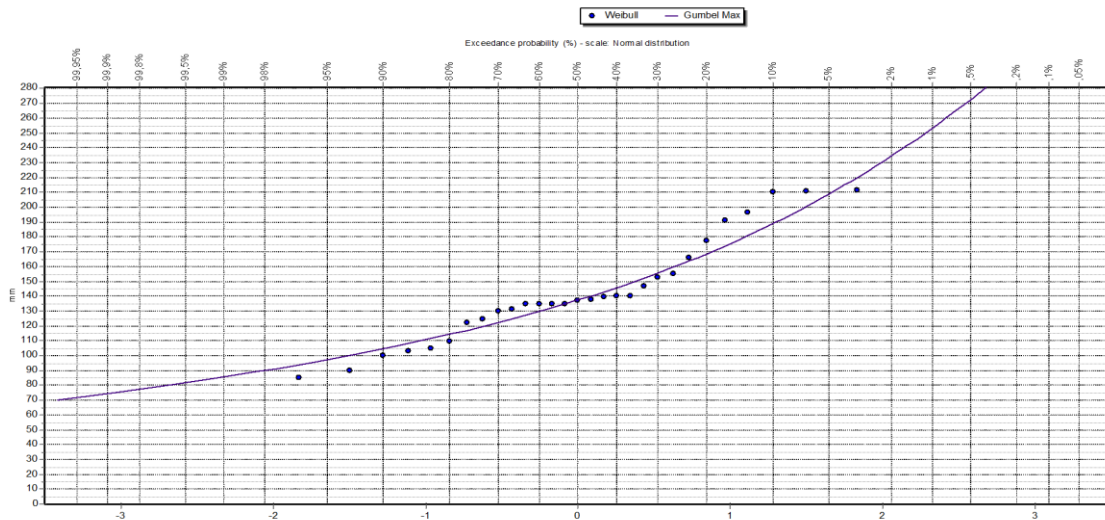
Fuente: propia, 2021.

- **Estación Santa Maria de Abastos**

La distribución teórica con mejor ajuste para la serie de precipitaciones de la estación Santa Maria de Abastos, según el test de Smirnov Kolgomorov, es la distribución de Gumbel con un 86,96% de aceptabilidad.

Figura 31.

GRAFICA DE LA DISTRIBUCIÓN TEÓRICA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA SERIES DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN SANTA MARIA DE ABASTOS.



Fuente: propia, 2021.

Figura 32.

TEST PARA LA PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV VS PRUEBA CHI-CUADRADO

| PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 86,79% | 0,10311 |

| PRUEBA CHI-CUADRADO | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|----------|----------------|
| Número de Clases | | | | | 5,0 |
| X-Square test for All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained | Pearson Param. |
| EV3-Min (Weibull) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 16,64% | 3,58621 |
| EV3-Min (Weibull, L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 16,64% | 3,58621 |
| GEV-Min (kappa specified) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 11,79% | 4,27586 |
| GEV-Min (kappa specified, L-Moments) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 11,79% | 4,27586 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | REJECT | 8,35% | 4,96552 |

Fuente: propia, 2021.

En la Figura 33, se muestran las gráficas de distribución normal según la prueba de Chi- cuadrado, para las estaciones de Toledo con una densidad de información de más de 20 años, en estas graficas se observa la frecuencia de los datos observados y los datos esperados. Los datos se ajustaron a la distribución normal con un nivel de significancia del 5% o 95% de probabilidad.

Figura 33.

MOSAICO DE GRAFICAS DE DISTRIBUCIÓN NORMAL PARA LAS ESTACIONES CON VARIABLES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS ANUAL PRUEBA CHI-CUADRADO.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



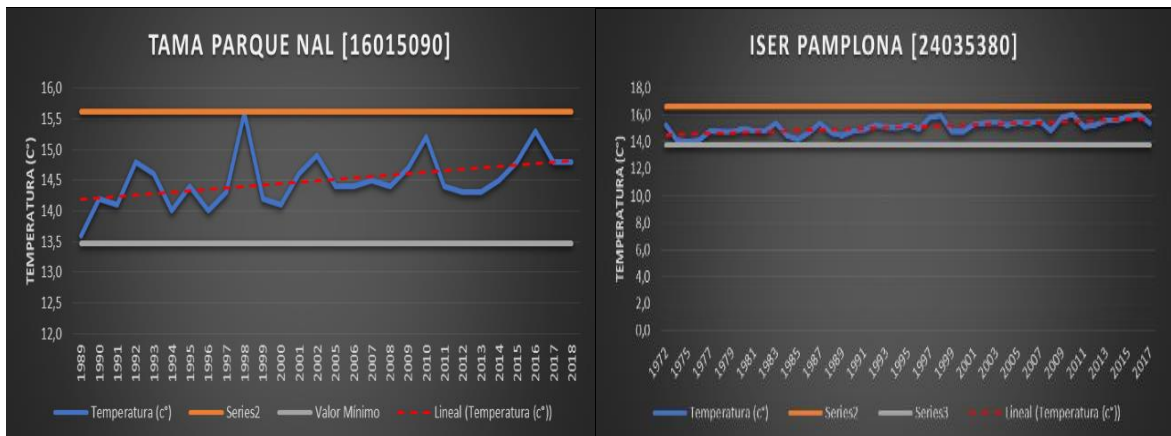
Fuente: propia, 2021.

4.1.3.2 Gráficos de OUTLIER para temperatura mensual, evaporación, nubosidad, humedad relativa y brillo solar.

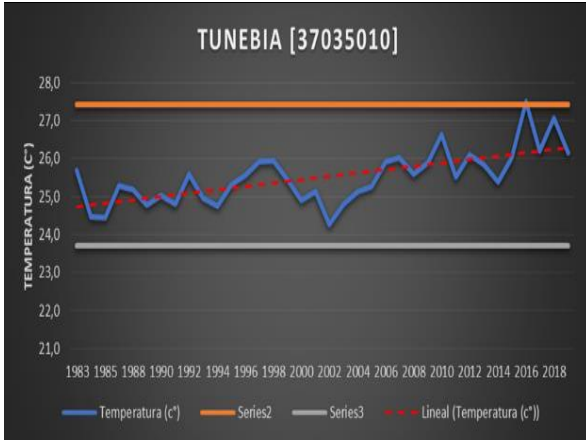
Se observa que en la Figura 34 y Figura 35, las gráficas de outlier para Temperaturas mensuales, evaporación, humedad relativa, nubosidad y brillo solar; no se observaron datos atípicos en las series de las variables.

Figura 34.

MOSAICO DE GRAFICAS DE OUTLIER DE TEMPERATURAS MENSUAL PARA LAS ESTACIONES DE TUNEBIA, ISER PAMPLONA Y TAMA PARQUE NAL.



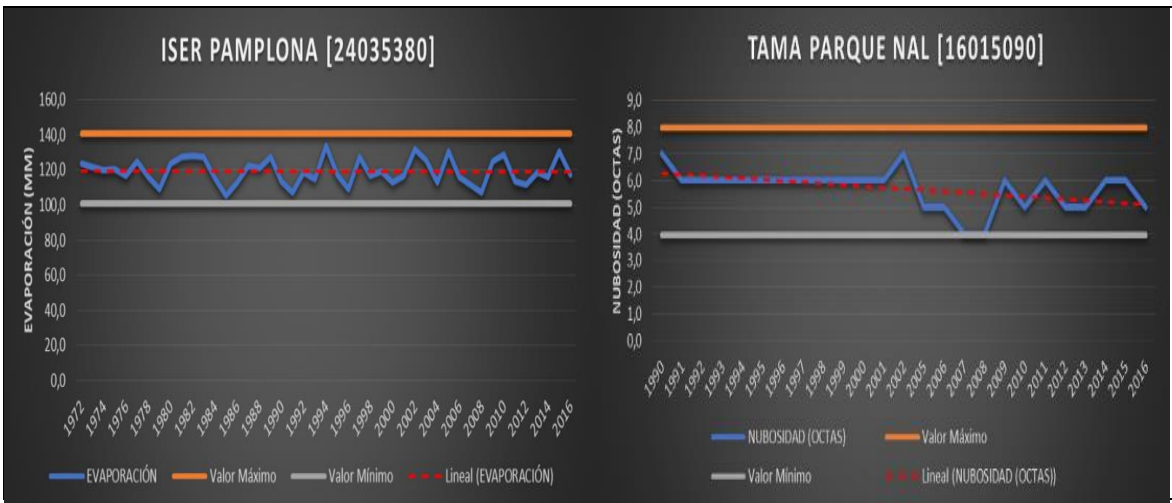
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



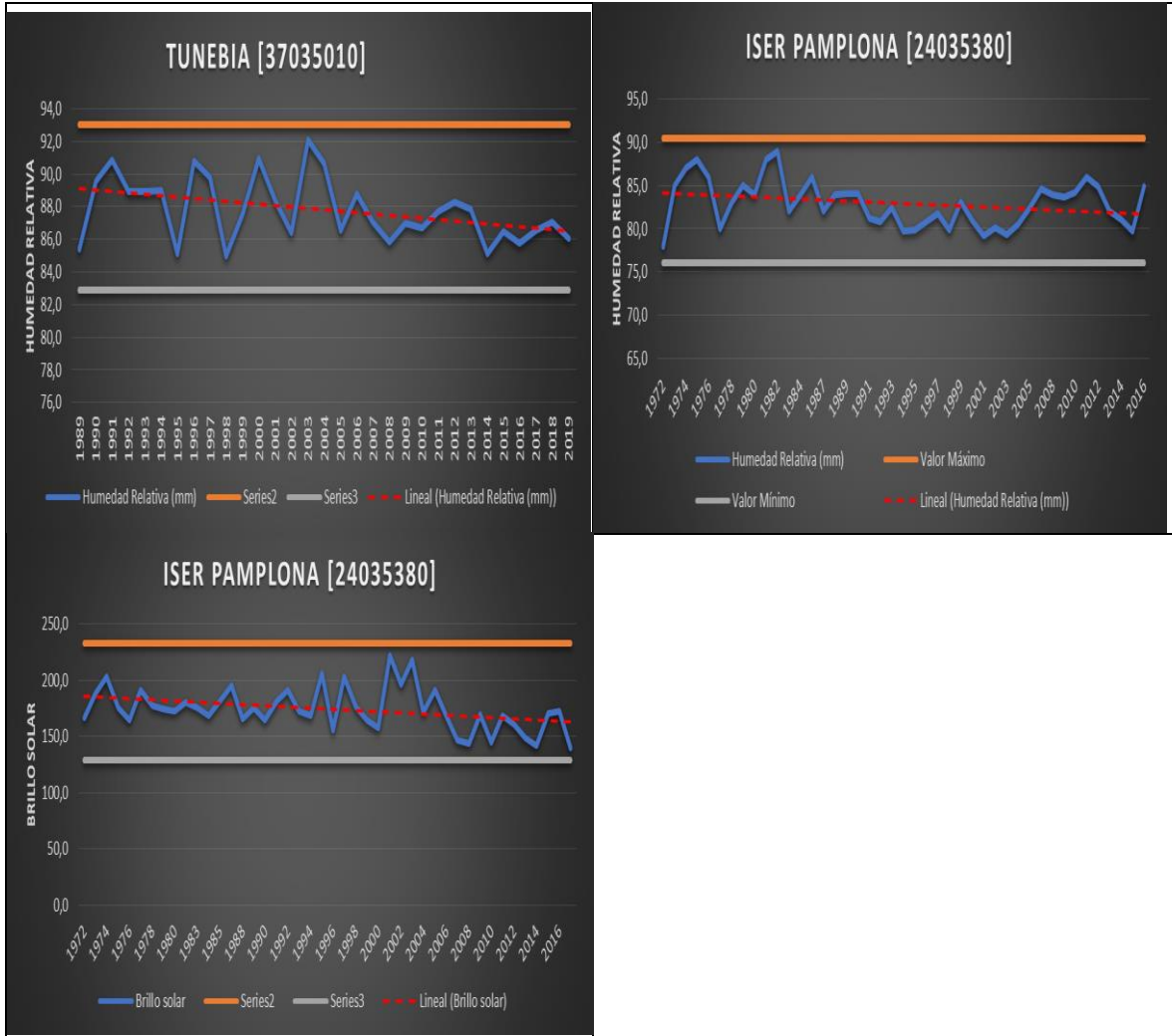
Fuente: propia, 2021

Figura 35.

GRAFICA DE OUTLIER PARA LAS VARIABLES DE EVAPORACIÓN, NUBOSIDAD, HUMEDAD RELATIVA Y BRILLO SOLAR



ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021

4.1.4 Análisis climatológico de la zona de estudio

El análisis climático se realizó con base en los parámetros a nivel mensual que se muestran en la Tabla 1.

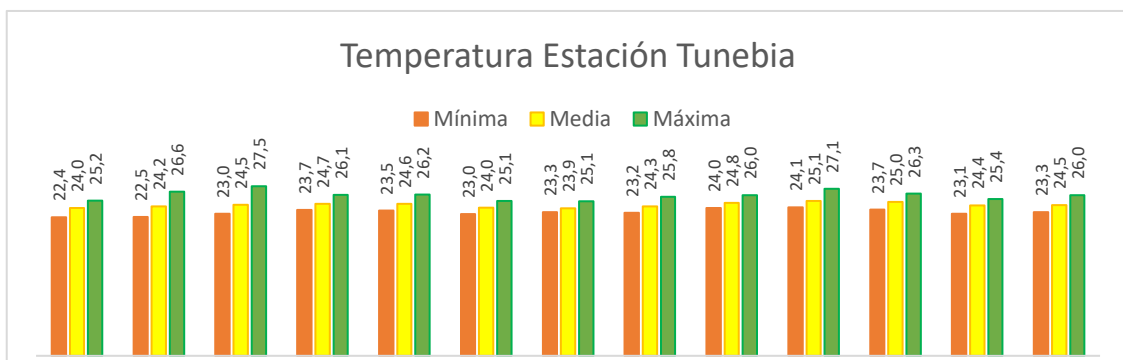
4.1.4.1 Temperatura media.

- Estación Tunebia

En el área de estudio la estación Tunebia tiene registros de Temperatura media (°C) entre los años 1983 y 2019; la estación Tunebia cuenta con registros completos entre el año 1983 y 2019, en los cuales las temperaturas medias mensuales oscilan entre 22,4°C y 27,5°C con una media anual de 24,5°C. La variación mensual se representa en la Figura 36.

Figura 36.

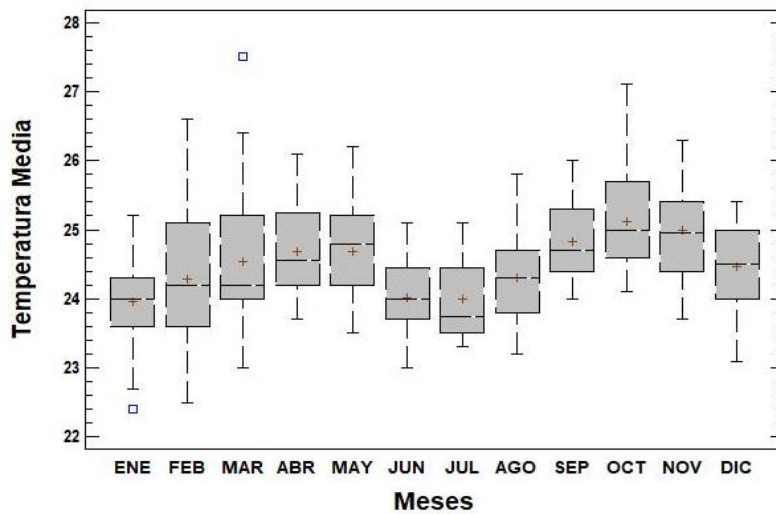
TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN TUNEBIA



Fuente: propia, 2021.

Figura 37.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN TUNEBIA.



Fuente: propia, 2021.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

La diferencia entre la temperatura máxima promedio (25,1°C) y mínima promedio (24,0°C) es solo de 1,1°C, es decir, la variabilidad del parámetro es baja; siendo enero, junio y julio los meses que representan el valor mínimo promedio y septiembre, octubre y noviembre los que representan el valor máximo promedio.

El valor máximo absoluto (27,5°C) se registró en la estación en febrero del año 2016 y el valor mínimo absoluto (22,9°C) se presentó en el mes de enero del año 1989. Debido a la tendencia de estos registros, se calcularon las temperatura medias, máximas y mínimas para periodos de 9 años: 1983-1991, 1992-2000, 2001-2009 y 2010 a 2019, las cuales se presentan en la Tabla 8, para la cual se diferenciaron los meses con valores máximos promedio de temperatura en el periodo (color anaranjado) y los valores mínimos promedio de temperatura (color azul).

Tabla 8.

RELACIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS CON REGISTROS DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS EN EL ÁREA DE TOLEDO

| Periodo | T(°C) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Promedio Anual |
|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| 1983 a 1991 | Media | 23,4 | 23,8 | 24,3 | 24,5 | 24,2 | 23,7 | 23,6 | 23,8 | 24,4 | 24,6 | 24,4 | 23,7 | 24,0 |
| | Máxima | 24,6 | 25,1 | 25,7 | 25,3 | 25,1 | 24,3 | 24,0 | 24,3 | 24,8 | 25,1 | 25,0 | 24,5 | 24,8 |
| | Mínima | 22,4 | 22,5 | 23,0 | 23,7 | 23,6 | 23,1 | 23,3 | 23,2 | 24,0 | 24,1 | 23,7 | 23,1 | 23,3 |
| 1992 a 2000 | Media | 24,1 | 24,0 | 24,3 | 24,5 | 24,7 | 24,1 | 23,6 | 24,2 | 24,8 | 25,0 | 24,9 | 24,4 | 24,4 |
| | Máxima | 25,0 | 26,0 | 25,2 | 25,6 | 25,1 | 24,6 | 24,1 | 24,8 | 25,9 | 25,8 | 25,4 | 24,9 | 25,2 |
| | Mínima | 23,4 | 23,0 | 23,7 | 23,8 | 24,0 | 23,8 | 23,3 | 23,6 | 24,4 | 24,6 | 24,3 | 23,7 | 23,8 |
| 2001 a 2009 | Media | 24,2 | 24,3 | 24,3 | 24,4 | 24,4 | 23,8 | 23,8 | 24,2 | 24,6 | 25,0 | 24,8 | 24,6 | 24,4 |
| | Máxima | 24,8 | 26,0 | 25,3 | 25,3 | 25,3 | 24,7 | 24,2 | 25,1 | 25,7 | 25,9 | 25,9 | 25,4 | 25,3 |
| | Mínima | 23,6 | 23,4 | 23,1 | 23,9 | 23,5 | 23,0 | 23,4 | 23,7 | 24,0 | 24,3 | 24,2 | 23,9 | 23,7 |

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| Periodo | T(°C) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Promedio Anual | |
|-------------|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|--|
| 2010 a 2019 | Media | 24,2 | 24,9 | 25,1 | 25,3 | 25,3 | 24,4 | 24,7 | 24,9 | 25,5 | 25,8 | 25,7 | 25,0 | 25,1 | |
| | Máxima | 25,2 | 26,6 | 27,5 | 26,1 | 26,2 | 25,1 | 25,1 | 25,8 | 26,0 | 27,1 | 26,3 | 25,4 | 26,0 | |
| | Mínima | 23,6 | 24,0 | 23,3 | 24,5 | 24,6 | 24,0 | 24,3 | 24,1 | 24,8 | 25,1 | 25,0 | 24,5 | 24,3 | |
| | | Temperatura máxima promedio para el periodo | | | | | | | | | | | | | |
| | | Temperatura mínima promedio para el periodo | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: propia, 2021.

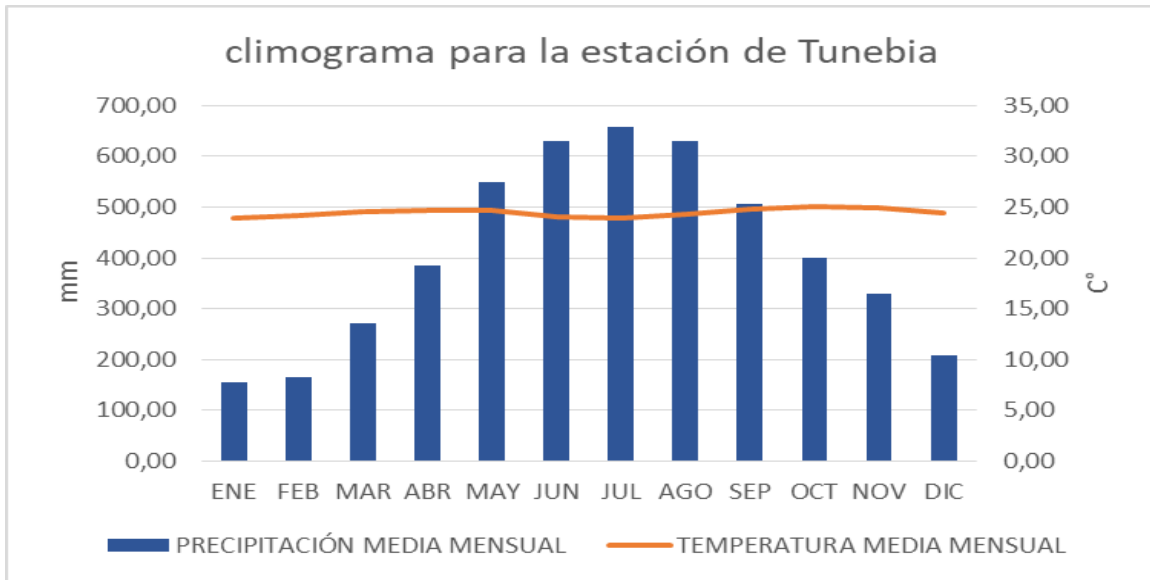
En general, los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio y agosto presentan los valores mínimos mensuales promedio de temperatura, se observa que estos valores son menores para el periodo 1983 a 1991 respecto a los periodos siguientes en los cuales este valor va en aumento, con diferencias que oscilan entre 0,3°C y 1,5°C, éste último en el mes de febrero.

Los meses de febrero, marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre presentan los valores máximos mensuales promedio de temperatura, se observa que estos valores son menores para el periodo 1983 a 1991 respecto a los periodos siguientes en los cuales este valor va en aumento, con diferencias que oscilan entre 0,8°C y 1,8°C, éste último, también en el mes de febrero.

Figura 38.

CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN DE TUNEBIA

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021

El climograma de la estación de Tunebia, tiene una temperatura media anual de 24,46 °C, con una amplitud térmica de 1,17 °C, este clima se encuentra situado en el hemisferio sur, la precipitación total es de 4882,92 mm, corresponde a una zona cálida, el tipo de clima es ecuatorial.

- **Estación Iser Pamplona**

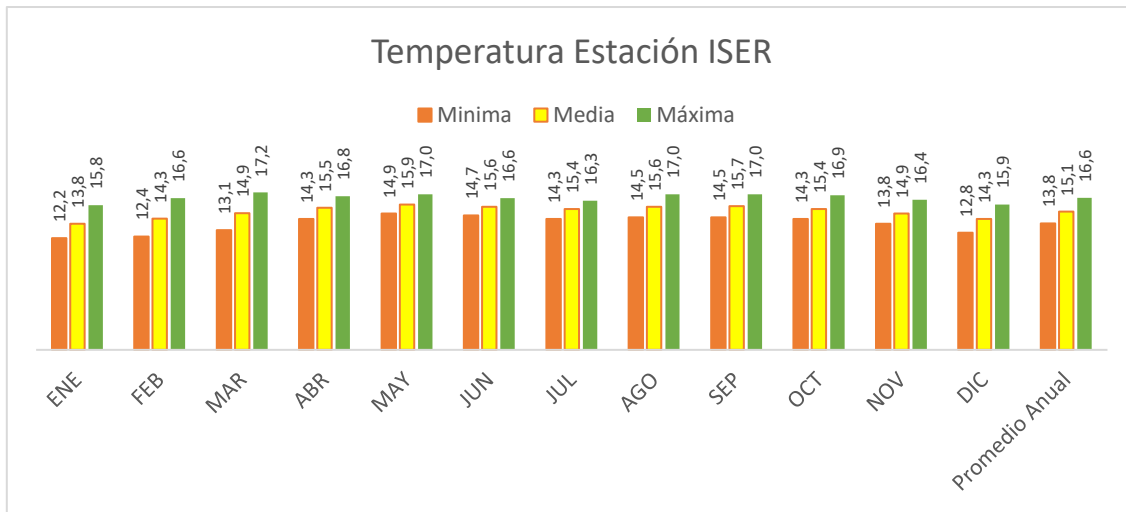
Para el área de estudio de la estación ISER, la cual cuenta con registros de Temperatura media (°C), entre los años 1972 y 2019; la estación ISER cuenta con registros completos entre el año 1972 y 2017, en los cuales las temperaturas medias mensuales

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

oscilan entre 12,20°C y 17,20°C con una media anual de 15,11°C. La variación mensual se representa en la Figura 39.

Figura 39.

TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN ISER

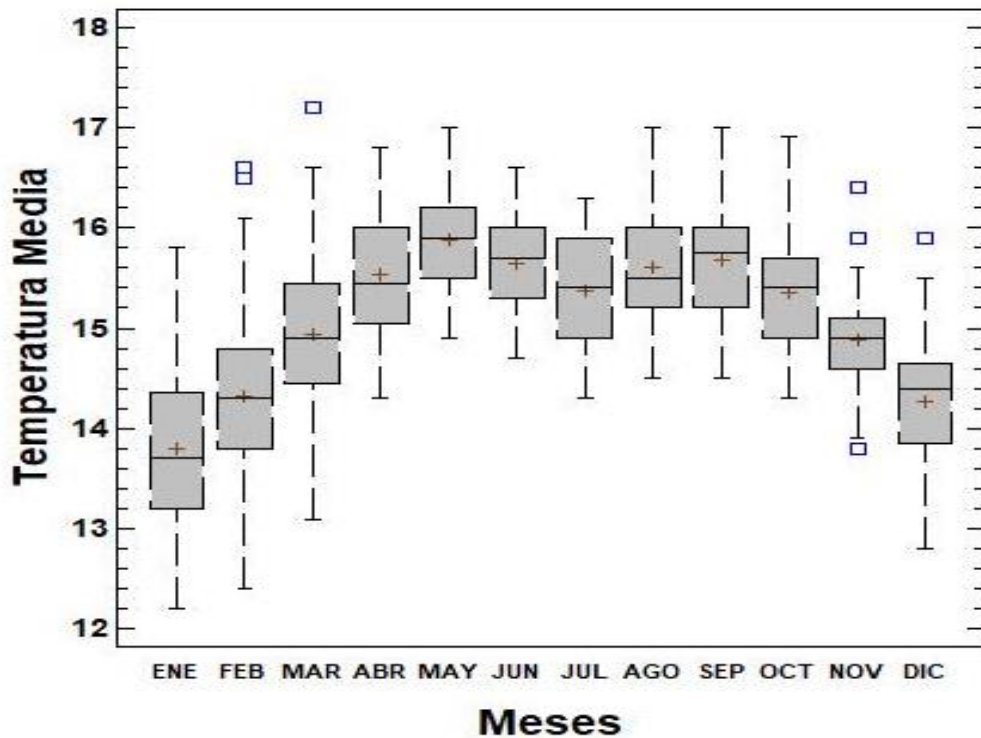


Fuente: propia, 2021.

Figura 40.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN ISER

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

La diferencia entre la temperatura máxima promedio ($15,87^{\circ}\text{C}$) y mínima promedio ($13,79^{\circ}\text{C}$) es solo de $2,08^{\circ}\text{C}$, es decir, la variabilidad del parámetro es baja; siendo enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y Diciembre los meses que representan el valor mínimo promedio y abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre los que representan el valor máximo promedio.

El valor máximo absoluto ($17,2^{\circ}\text{C}$) se registró en la estación en marzo del año 2010 y el valor mínimo absoluto ($12,20^{\circ}\text{C}$) se presentó en el mes de enero del año 1973. Debido a la tendencia de estos registros, se calcularon las temperatura medias, máximas y mínimas

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

para periodos de 12 años: 1972-1983, 1984-1995, 1996-2007 y 2008 a 2019, las cuales se presentan en la **Tabla 9**, para la cual se diferenciaron los meses con valores máximos promedio de temperatura en el periodo (color anaranjado) y los valores mínimos promedio de temperatura (color azul).

Tabla 9.

RELACIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS CON REGISTROS DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS EN EL ÁREA DE TOLEDO

| Periodo | T(°C) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DI C | Prome dio Anual |
|----------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|-----------------------|
| 1972 a 1983 | Media | 13,3 | 14,0 | 14,5 | 15,0 | 15,5 | 15,2 | 14,9 | 15,2 | 15,2 | 14,9 | 14,7 | 13 ,9 | 14,7 |
| | Máxima | 14,9 | 15,1 | 16,1 | 16,0 | 16,2 | 15,8 | 15,5 | 15,6 | 15,8 | 15,4 | 15,1 | 14 ,5 | 15,5 |
| | Mínima | 12,2 | 12,4 | 13,1 | 14,3 | 15,0 | 14,7 | 14,3 | 14,7 | 14,5 | 14,3 | 13,9 | 12 ,8 | 13,9 |
| 1984 a 1995 | Media | 13,6 | 14,0 | 14,7 | 15,5 | 15,6 | 15,5 | 15,1 | 15,3 | 15,4 | 15,1 | 14,7 | 13 ,9 | 14,9 |
| | Máxima | 14,4 | 15,1 | 15,8 | 16,4 | 16,3 | 16,2 | 15,8 | 15,9 | 16,0 | 15,5 | 15,1 | 14 ,7 | 15,6 |
| | Mínima | 12,3 | 12,8 | 13,3 | 14,7 | 14,9 | 14,9 | 14,6 | 14,5 | 14,8 | 14,7 | 13,8 | 13 ,0 | 14,0 |
| 1996 a 2007 | Media | 14,0 | 14,6 | 15,2 | 15,7 | 16,1 | 15,8 | 15,6 | 15,9 | 15,9 | 15,6 | 15,1 | 14 ,7 | 15,3 |
| | Máxima | 15,8 | 16,5 | 16,4 | 16,8 | 16,9 | 16,6 | 16,3 | 16,7 | 16,7 | 16,0 | 15,6 | 15 ,5 | 16,3 |
| | Mínima | 12,8 | 13,4 | 14,0 | 14,9 | 15,3 | 15,1 | 14,5 | 15,1 | 14,7 | 14,9 | 14,5 | 13 ,8 | 14,4 |
| 2008 a 2019 | Media | 14,3 | 14,7 | 15,4 | 16,0 | 16,3 | 16,1 | 15,9 | 16,1 | 16,2 | 15,9 | 15,2 | 14 ,7 | 15,6 |
| | Máxima | 15,2 | 16,6 | 17,2 | 16,8 | 17,0 | 16,5 | 16,1 | 17,0 | 17,0 | 16,9 | 16,4 | 15 ,9 | 16,6 |
| | Mínima | 13,3 | 13,4 | 14,0 | 14,9 | 15,4 | 15,7 | 15,4 | 15,3 | 15,6 | 15,0 | 14,6 | 13 ,2 | 14,7 |

Temperatura máxima promedio para el periodo

Temperatura mínima promedio para el periodo

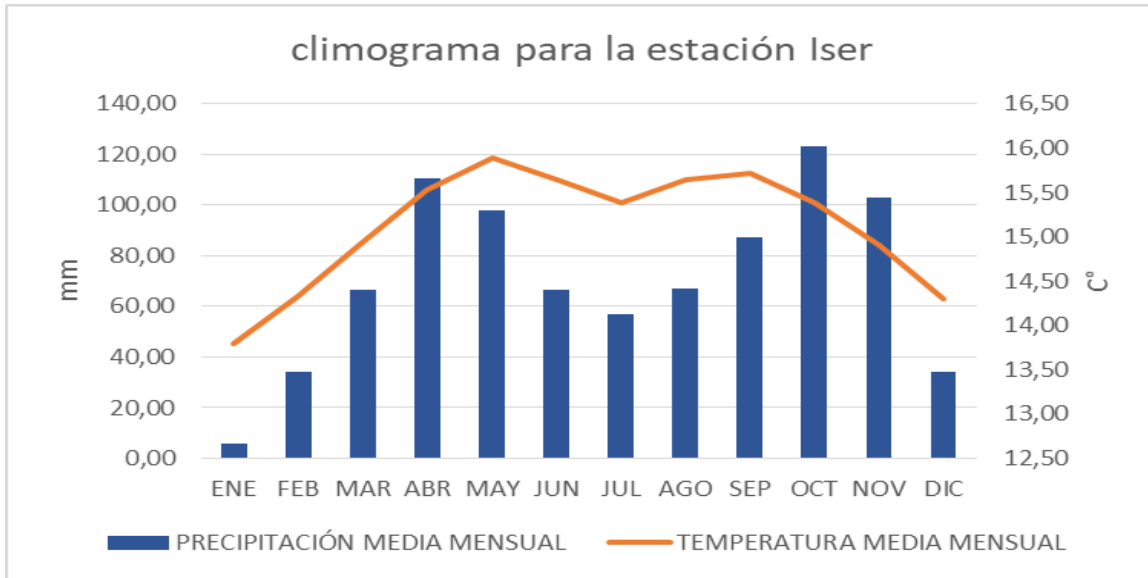
Fuente: propia, 2021.

En general, los meses de enero, febrero, marzo, noviembre, diciembre, presentan los valores mínimos mensuales promedio de temperatura, se observa que estos valores son menores para el periodo 1972 a 1983 respecto a los periodos siguientes en los cuales este valor va en aumento, con diferencias que oscilan entre $0,4^{\circ}\text{C}$ y $1,1^{\circ}\text{C}$, éste último en el mes de enero.

Los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, presentan los valores máximos mensuales promedio de temperatura, se observa que estos valores son menores para el periodo 1972 a 1983 respecto a los periodos siguientes en los cuales este valor va en aumento, con diferencias que oscilan entre $0,6^{\circ}\text{C}$ y $1,5^{\circ}\text{C}$, éste último, para los meses de febrero y septiembre.

Figura 41.

CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN ISER PAMPLONA



Fuente: propia, 2021

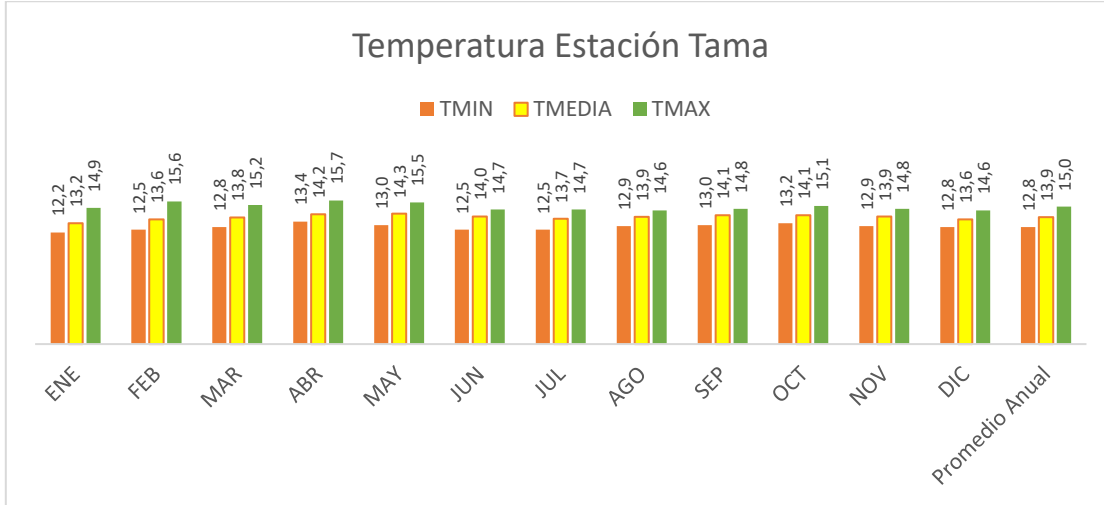
El clima de la estación Iser es oceánico, con una temperatura media de 15,12 °C, con una amplitud térmica alrededor de 2,09 °C y una precipitación total de 852,91mm. Se encuentra localizado en el hemisferio sur, con un paisaje templado.

- **Estación Tama**

Para el área de estudio de la estación Tama, la cual cuenta con registros de Temperatura media (°C), entre los años 1989 y 2019; la estación Tama cuenta con registros completos entre el año 1989 a 2002 y entre el 2006 al 2018. La variación mensual se representa en la Figura 42.

Figura 42.

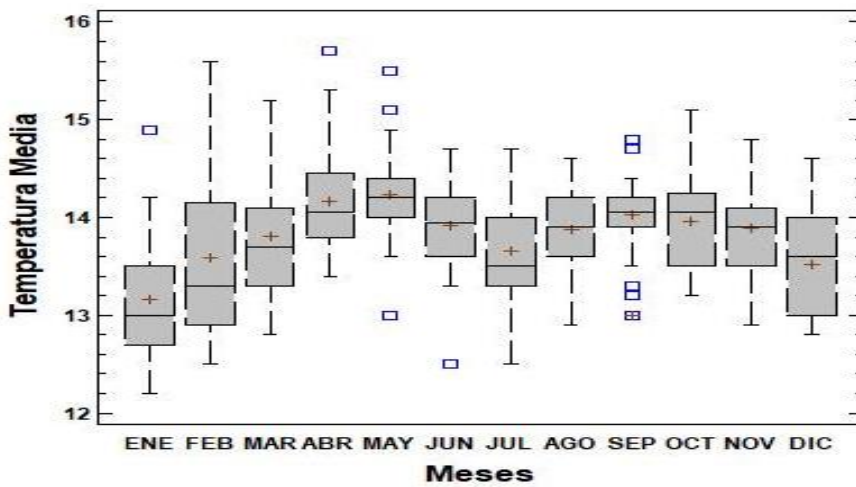
TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN TAMA



Fuente: propia, 2021.

Figura 43.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN TAMA



Fuente: propia, 2021.

La diferencia entre la temperatura máxima promedio ($14,24^{\circ}\text{C}$) y mínima promedio ($13,16^{\circ}\text{C}$) es solo de $1,08^{\circ}\text{C}$, es decir, la variabilidad del parámetro es baja; siendo enero, febrero, marzo, noviembre y Diciembre los meses que representan el valor mínimo promedio y abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, los que representan el valor máximo promedio.

El valor máximo absoluto ($15,7^{\circ}\text{C}$) se registró en la estación en Abril del año 1998 y el valor mínimo absoluto ($12,20^{\circ}\text{C}$) se presentó en el mes de enero del año 2006. Debido a la tendencia de estos registros, se calcularon las temperatura medias, máximas y mínimas para periodos de 8 años: 1989-1996, 1997-2004, 2005-2012 y 2012 a 2019, las cuales se presentan en la Tabla 10, para la cual se diferenciaron los meses con valores máximos promedio de temperatura en el periodo (color anaranjado) y los valores mínimos promedio de temperatura (color azul).

Tabla 10.

RELACIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS CON REGISTROS DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS EN EL ÁREA DE TOLEDO

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| Periodo | T(°C) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | Prome dio Anual |
|----------------|------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|
| 1989 a 1996 | Media | 12,8 | 13,0 | 13,5 | 14,0 | 13,9 | 13,5 | 13,1 | 13,4 | 13,7 | 13,5 | 13,4 | 13,0 | 13,4 |
| | Máxim a | 13,0 | 13,4 | 14,4 | 14,8 | 14,6 | 14,1 | 13,4 | 13,9 | 14,0 | 14,0 | 13,8 | 13,3 | 13,9 |
| | Mínima | 12,4 | 12,6 | 12,9 | 13,4 | 13,0 | 12,5 | 12,5 | 12,9 | 13,3 | 13,2 | 13,1 | 12,9 | 12,9 |
| 1997 a 2004 | Media | 13,2 | 13,4 | 13,8 | 14,3 | 14,4 | 13,9 | 13,5 | 13,9 | 13,9 | 13,9 | 14,2 | 13,7 | 13,8 |
| | Máxim a | 14,9 | 15,6 | 15,2 | 15,7 | 15,5 | 14,3 | 13,8 | 14,2 | 14,7 | 14,3 | 14,6 | 14,3 | 14,8 |
| | Mínima | 12,2 | 12,5 | 12,8 | 13,8 | 13,7 | 13,6 | 13,4 | 13,6 | 13,0 | 13,4 | 14,0 | 12,9 | 13,2 |
| 2005 a 2012 | Media | 13,3 | 13,9 | 13,9 | 14,1 | 14,3 | 14,1 | 14,2 | 14,2 | 14,1 | 14,3 | 14,0 | 13,8 | 14,0 |
| | Máxim a | 14,0 | 15,2 | 14,9 | 14,7 | 15,1 | 14,7 | 14,7 | 14,5 | 14,4 | 14,6 | 14,7 | 14,2 | 14,6 |
| | Mínima | 12,2 | 13,2 | 13,5 | 13,8 | 14,0 | 13,6 | 13,8 | 13,9 | 14,0 | 14,0 | 13,6 | 12,8 | 13,5 |
| 2013 a 2019 | Media | 13,5 | 14,2 | 14,1 | 14,3 | 14,5 | 14,3 | 14,1 | 14,1 | 14,5 | 14,2 | 14,0 | 13,7 | 14,1 |
| | Máxim a | 14,0 | 14,8 | 15,1 | 15,3 | 14,9 | 14,5 | 14,4 | 14,6 | 14,8 | 15,1 | 14,8 | 14,6 | 14,7 |
| | Mínima | 13,0 | 13,8 | 13,1 | 13,8 | 13,9 | 13,8 | 13,5 | 13,7 | 14,0 | 14,0 | 12,9 | 13,4 | 13,6 |
| | | Temperatura máxima promedio para el periodo | | | | | | | | | | | | |
| | | Temperatura mínima promedio para el periodo | | | | | | | | | | | | |

Fuente: propia, 2021.

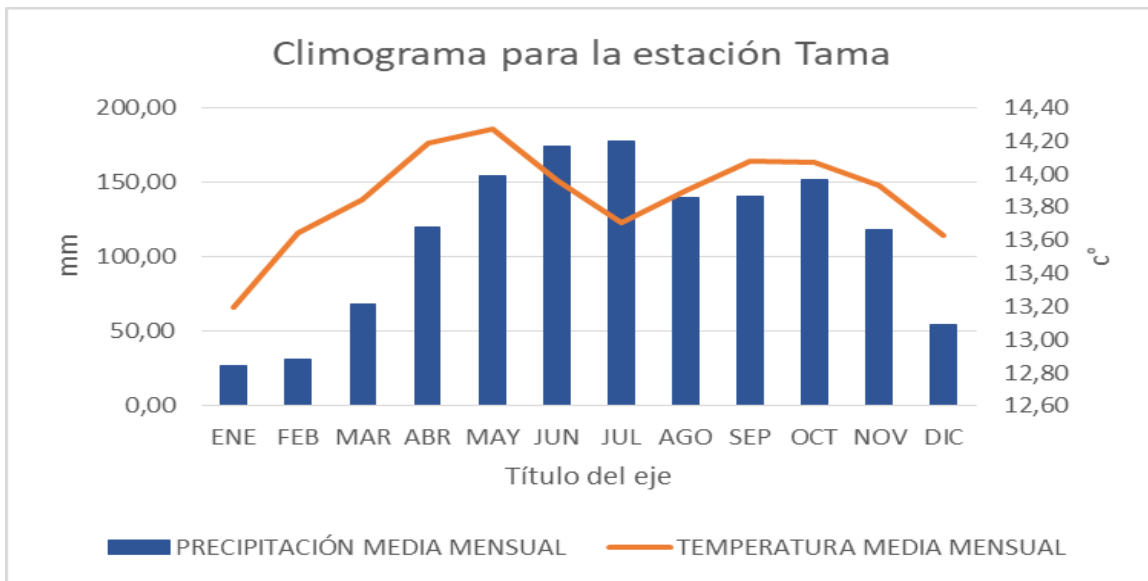
En general, los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre, noviembre, diciembre, presentan los valores mínimos mensuales promedio de temperatura, se observa que estos valores son menores para el periodo 1989 a 1996 respecto a los periodos siguientes en los cuales este valor va en aumento, con diferencias que oscilan entre 0,2°C y 1,2°C, éste último en el mes de febrero.

Los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre presentan los valores máximos mensuales promedio de temperatura, se observa que estos valores son menores para el periodo 1989 a 1996 respecto a los periodos siguientes en los cuales este valor va en aumento, con diferencias que oscilan entre 0,3°C y

1,4°C, éste último, también para el mes de febrero.

Figura 44.

Climograma para la estación Tama



Fuente: propia, 2021

La estación Tama presenta un clima oceánico, se encuentra localizado en el hemisferio sur, en una zona templada, posee una temperatura media de 13,87 °C y una amplitud térmica de 1,07, la precipitación total es de 1356,66 mm.

4.1.4.2 Evaporación.

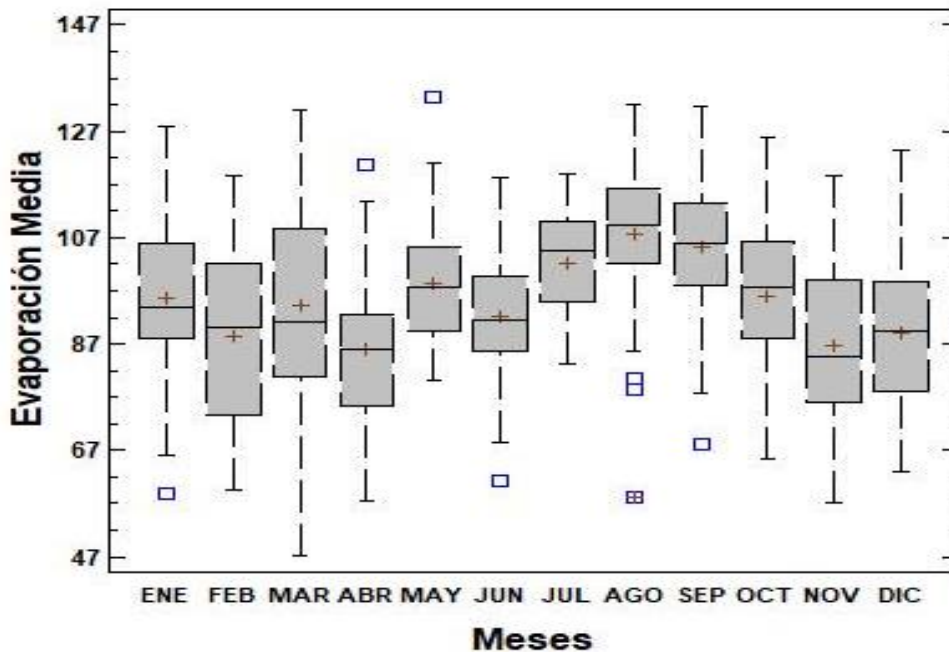
En el área de estudio las estaciones Tunebia e ISER cuenta con registros mensuales de Evaporación (mm) entre los años 1972 y 2017, sin embargo, en la estación Tunebia falta el 40% de los datos mensuales de evaporación, por tanto, no cuenta con un registro confiable.

La estación ISER tiene un 7,5% de datos faltantes, los cuales se completaron con base en promedios aritméticos. La variación mensual se representa en la

Figura 45. La evaporación promedio anual es 1139,7 mm.

Figura 45.

EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL (MM) EN LA ESTACIÓN ISER



Fuente: propia, 2021.

Los valores de evaporación promedio mensual (mm) son más altos entre los meses de agosto y septiembre con valores que oscilan entre 107 mm y 105 mm.

Los valores máximos absolutos de evaporación se presentaron los meses de mayo, agosto y septiembre, mientras que los mínimos se presentaron en los meses de marzo y noviembre.

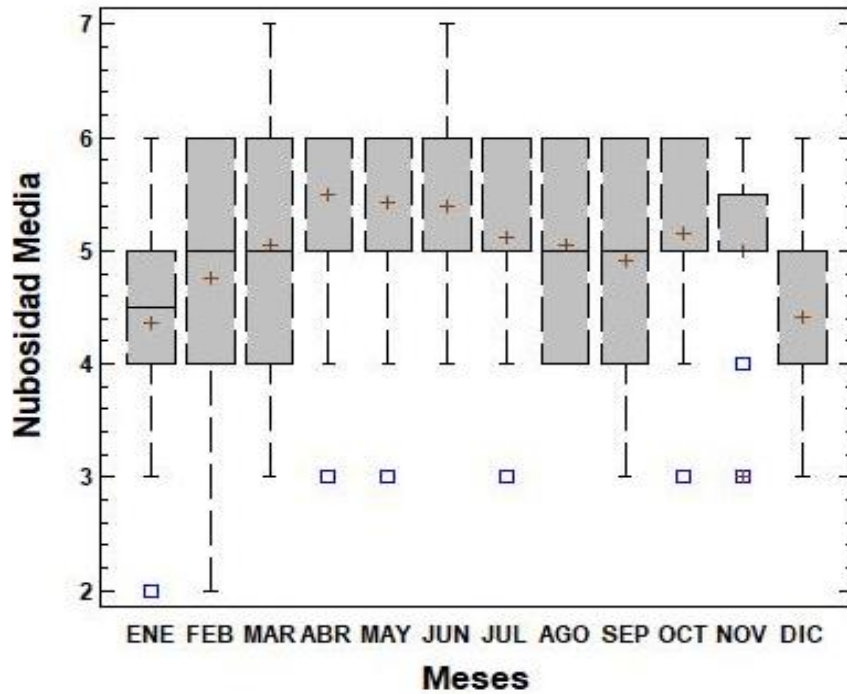
4.1.4.3 Nubosidad.

En el área de estudio las estaciones ISER cuenta con registros mensuales de nubosidad (octas) entre los años 1972 y 2017, la estación Tama cuenta con registros de 1990 y 2017 sin embargo, en la estación ISER falta el 40% de los datos mensuales de Nubosidad, por tanto, no cuenta con un registro confiable.

La estación Tama tiene un 28% de datos faltantes, los cuales se completaron con base en promedios aritméticos. La variación mensual se representa en la Figura 46. La Nubosidad promedio anual es 5,01 Octas.

Figura 46.

NUBOSIDAD MENSUAL (MM) EN LA ESTACIÓN TAMA



Fuente: propia, 2021.

Los valores de Nubosidad promedio mensual (octas) son más altos entre los meses de abril, mayo y junio con valores que oscilan entre 5,5 octas y 5,39 octas.

Los valores máximos absolutos de nubosidad se presentaron los meses de marzo y junio, mientras que los mínimos se presentaron en los meses de enero y febrero.

4.1.4.4 Humedad Relativa.

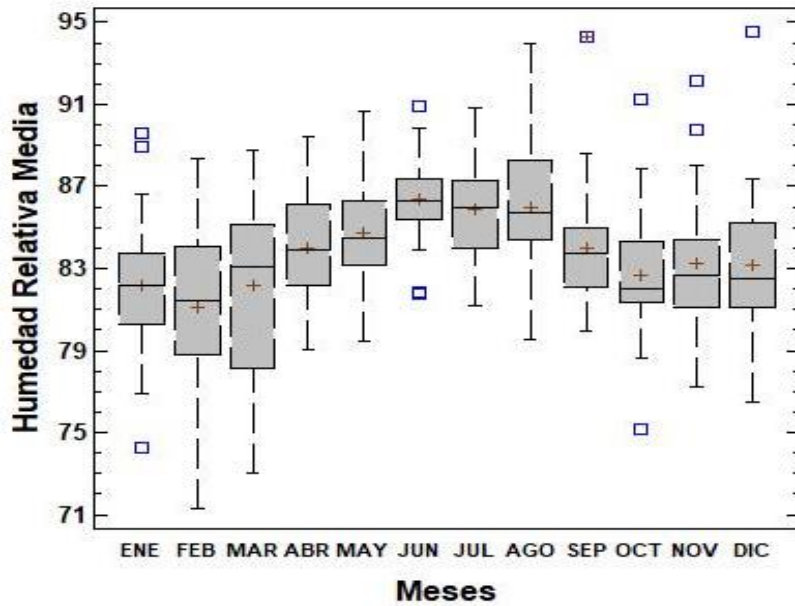
En el área de estudio las estaciones Tunebia cuenta con registros mensuales de humedad relativa (mm) entre los años 1989 y 2019; la estación ISER cuenta con registros mensuales de Humedad relativa (mm) entre los años 1972 y 2019, la estación Tama cuenta con registros de 1989 y 2019 sin embargo falta el 32% de los datos mensuales de humedad relativa, por tanto, no cuenta con un registro confiable.

La estación Tunebia tiene un 13% de datos faltantes, la estación ISER tiene un 12,5% de datos faltantes; los cuales se completaron con base en promedios aritméticos. La variación mensual de la estación Tunebia se representa en la Figura 47. La humedad relativa promedio anual es de 83,79 (mm). La variación mensual de la estación ISER se representa en la Figura 48. La humedad relativa promedio anual es de 75,74(mm).

Figura 47.

HUMEDAD RELATIVA MENSUAL (MM) EN LA ESTACIÓN TUNEBIA

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

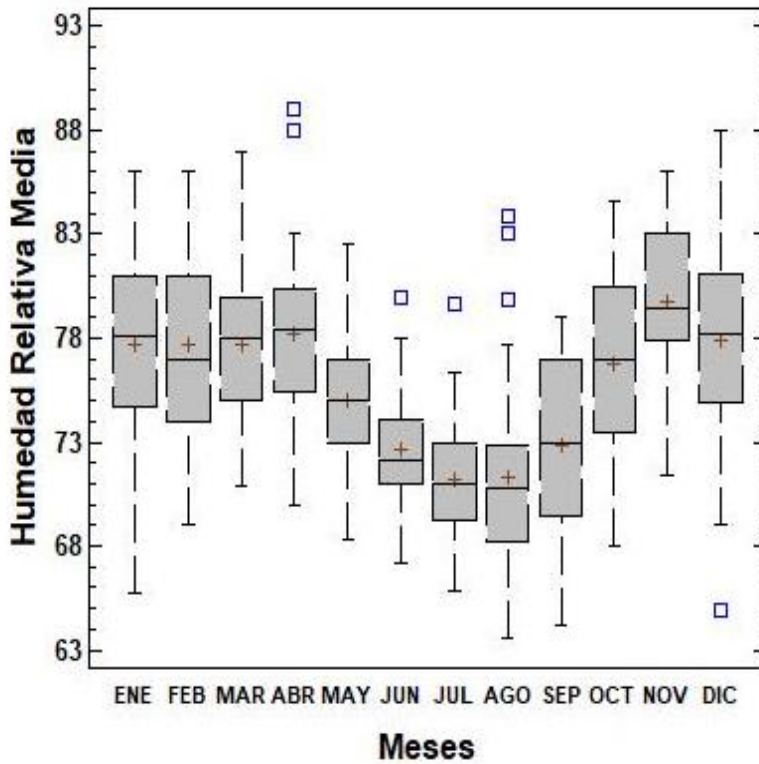
Los valores de humedad relativa promedio mensual (mm) son más altos entre los meses junio, Agosto y julio con valores que oscilan entre 86,35 (mm) y 85,86 (mm).

Los valores máximos absolutos de humedad relativa se presentaron los meses de Agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, mientras que los mínimos se presentaron en los meses de enero, febrero y marzo.

Figura 48.

HUMEDAD RELATIVA MENSUAL (MM) EN LA ESTACIÓN ISER

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

Los valores de humedad relativa promedio mensual (mm) son más altos entre los meses noviembre, enero, marzo, abril, con valores que oscilan entre 79,8 (mm) y 77,72 (mm).

Los valores máximos absolutos de humedad relativa se presentaron los meses de Marzo y noviembre, mientras que los mínimos se presentaron en los meses de agosto y septiembre.

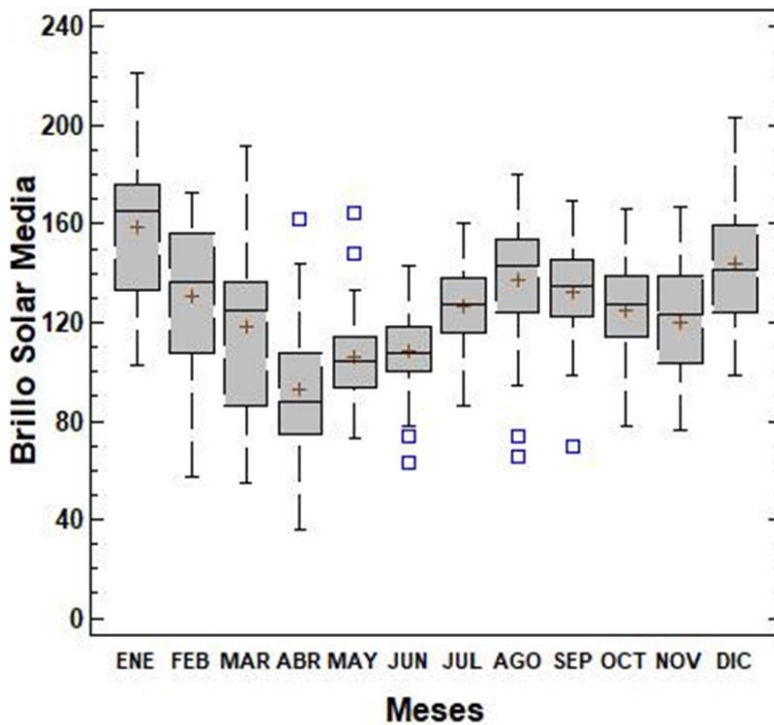
4.1.4.5 Brillo solar.

En el área de estudio la estación ISER cuenta con registros mensuales de brillo solar entre los años 1972 y 2017.

La estación ISER tiene un 11% de datos faltante, los cuales se completaron con base en promedios aritméticos. La variación mensual de la estación ISER se representa en la Figura 49. El brillo solar promedio anual es de 125,1 h/mes.

Figura 49.

BRILLO SOLAR MENSUAL EN LA ESTACIÓN ISER



Fuente: propia, 2021.

Los valores de brillo solar promedio mensual (h/mes) son más altos para los meses de enero y diciembre, con valores que oscilan entre 158,6 (h/mes) y 143,5 (h/mes).

Los valores máximos absolutos de brillo solar se presentaron los meses de enero, marzo y diciembre, mientras que los mínimos se presentaron en los meses de febrero, marzo, abril y junio.

4.1.4.6 Precipitación media anual multianual.

La precipitación media anual se evaluó para el lapso de 1991 a 2018, lo que se representa en la Tabla 11 y Figura 50,

Figura 51.

Tabla 11.

PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL

| | ALCALDIA DE HERRAN - AUT [16015130] | ISER PAMPLONA [16015020] | TAMA PARQUE NAL [16015090] | LABATECA [37010010] | SAN BERNARDO [37020020] | CAMPO HERMOSO [37020030] | SANTA MARIA-ABASTOS [37020040] | TUNEBIA [37035010] |
|------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1991 | | 788,1 | 1381,0 | 774 | 1284,0 | | 5072,6 | 4284,3 |

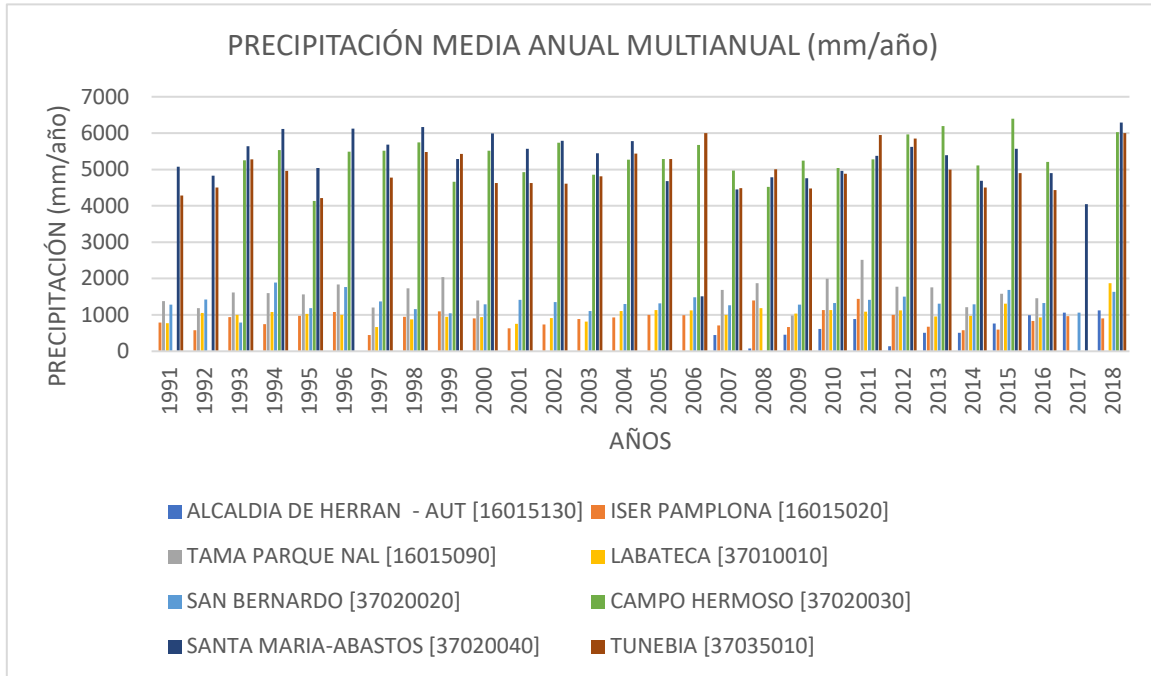
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| | ALCALDIA DE HERRAN - AUT [16015130] | ISER PAMPLONA [16015020] | TAMA PARQUE NAL [16015090] | LABATECA [37010010] | SAN BERNARDO [37020020] | CAMPO HERMOSO [37020030] | SANTA MARIA-ABASTOS [37020040] | TUNEBIA [37035010] |
|-----------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1992 | | 580,0 | 1185,3 | 1058,0 | 1423,0 | | 4826,3 | 4505,3 |
| 1993 | | 941,9 | 1617,9 | 998,0 | 790,8 | 5256,0 | 5637,7 | 5278,4 |
| 1994 | | 746,1 | 1603,2 | 1084,0 | 1889,0 | 5538,0 | 6111,0 | 4963,6 |
| 1995 | | 976,6 | 1563,0 | 1029,0 | 1182,0 | 4131,0 | 5045,0 | 4211,7 |
| 1996 | | 1082,2 | 1840,7 | 1000,0 | 1766,0 | 5491,0 | 6125,0 | |
| 1997 | | 445,8 | 1202,9 | 663,0 | 1371,0 | 5520,0 | 5680,0 | 4772,5 |
| 1998 | | 951,2 | 1727,5 | 875,0 | 1160,0 | 5742,0 | 6165,0 | 5481,0 |
| 1999 | | 1098,3 | 2041,6 | 945,0 | 1048,0 | 4659,0 | 5286,0 | 5428,5 |
| 2000 | | 900,8 | 1398,5 | 935,0 | 1291,6 | 5513,0 | 5992,0 | 4629,7 |
| 2001 | | 630,4 | | 752,0 | 1414,3 | 4922,5 | 5572,0 | 4626,7 |
| 2002 | | 736,5 | | 912,6 | 1350,0 | 5735,0 | 5788,3 | 4610,9 |
| 2003 | | 888,4 | | 817,0 | 1106,0 | 4860,0 | 5450,0 | 4808,3 |
| 2004 | | 928,9 | | 1108,7 | 1303,0 | 5268,0 | 5784,0 | 5440,9 |
| 2005 | | 998,5 | | 1136,0 | 1320,4 | 5288,0 | 4682,8 | 5284,5 |
| 2006 | | 995,2 | | 1122,0 | 1486,0 | 5672,0 | 1510,3 | 6000,3 |
| 2007 | 448,2 | 713,2 | 1687,8 | 1005,0 | 1265,9 | 4970,5 | 4450,5 | 4490,5 |
| 2008 | 80,8 | 1399,0 | 1876,1 | 1185,0 | | 4520,0 | 4781,4 | 5005,9 |
| 2009 | 454,3 | 670,4 | 985,0 | 1037,0 | 1284,8 | 5246,7 | 4758,7 | 4473,9 |
| 2010 | 617,8 | 1132,5 | 1996,5 | 1130,0 | 1325,6 | 5040,0 | 4964,7 | 4881,1 |
| 2011 | 887,5 | 1443,7 | 2515,7 | 1089,8 | 1411,5 | 5278,2 | 5379,2 | 5945,7 |
| 2012 | 138,2 | 1001,4 | 1776,6 | 1128,3 | 1499,4 | 5964,0 | 5624,1 | 5846,9 |
| 2013 | 505,0 | 671,2 | 1757,1 | 955,0 | 1312,4 | 6190,0 | 5389,7 | 4995,4 |
| 2014 | 506,3 | 577,4 | 1213,6 | 971,0 | 1290,3 | 5107,0 | 4688,5 | 4505,1 |
| 2015 | 763,8 | 593,8 | 1584,5 | 1307,0 | 1683,3 | 6392,0 | 5571,1 | 4896,5 |
| 2016 | 992,6 | 835,2 | 1457,1 | 932,0 | 1324,7 | 5210,0 | 4902,8 | 4433,0 |
| 2017 | 1061,7 | 967,1 | | | 1060,3 | | 4049,2 | |
| 2018 | 1124,7 | 906,2 | | 1868,3 | 1638,9 | 6027,0 | 6291,8 | 5998,4 |
| Medi a | 631,7 | 878,6 | 1620,6 | 1030,3 | 1343,8 | 5341,6 | 5199,3 | 4992,3 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 50.

PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL

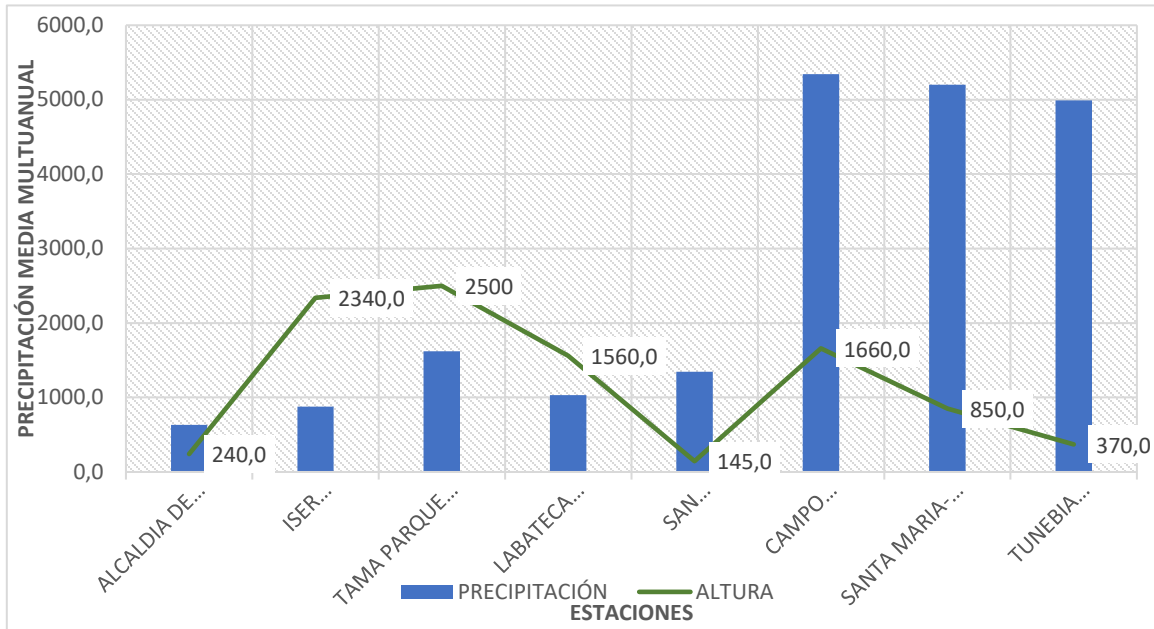


Fuente: propia, 2021.

Figura 51.

PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL VS ELEVACIÓN

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

La

Figura 51, nos muestra que las estaciones Iser y Labateca, por otro lado campo hermoso, santa María y Tunebia, también las estaciones de Sanbernardo y Tama parque, las cuales están a distinta elevación sobre el nivel del mar tienen precipitaciones medias muy similares. Lo anterior indica que en la zona se presentan diferentes microclimas bastantes variables que corresponden a la ubicación geográfica y no a la elevación sobre el nivel del mar.

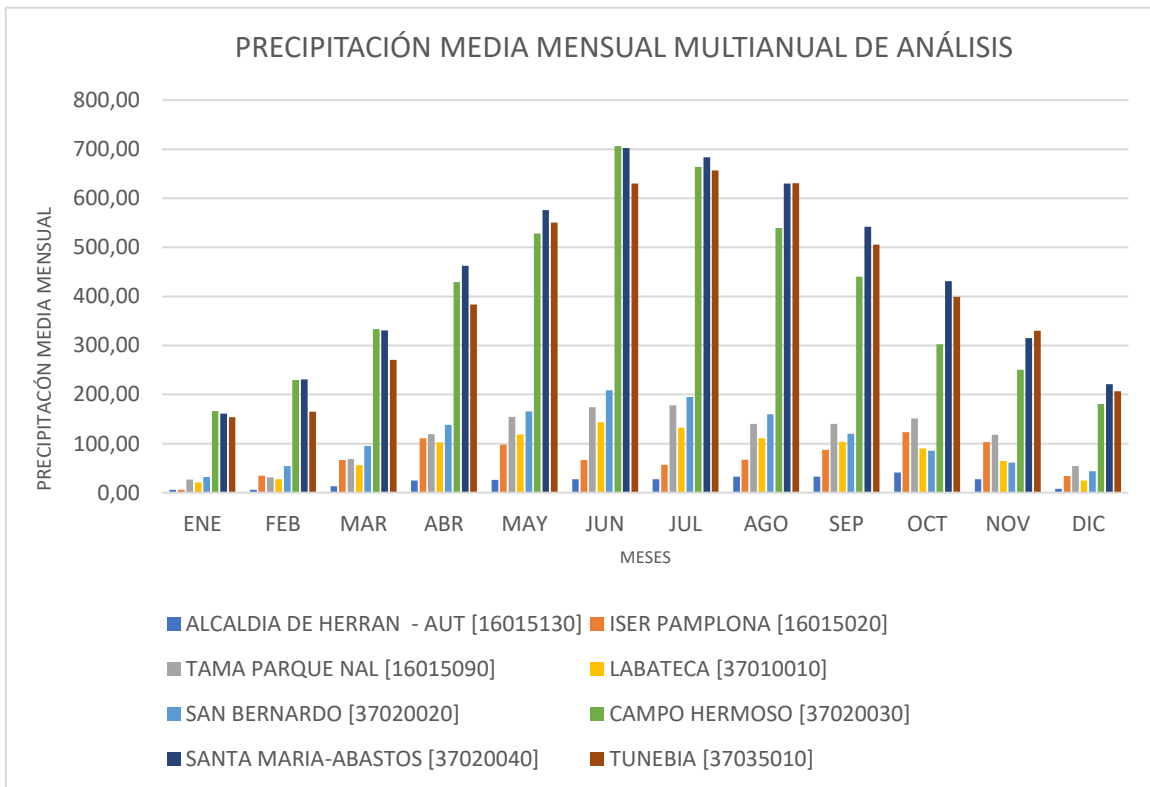
4.1.4.7 Valores de precipitación media mensual.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

La precipitación media mensual Figura 52, permite observar como es el comportamiento de la lluvia a lo largo del año para las estaciones de análisis, cuyo comportamiento es de tipo Monomodal, el cual se caracteriza por tener un periodo intenso de lluvias los meses de mayo, junio, julio y agosto; mientras que los meses de marzo, octubre y noviembre son mese de transición y los mese con menores lluvias son enero, febrero y diciembre.

Figura 52.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL



Fuente: propia, 2021.

Se calcularon los valores de precipitación media mensual para las 8 estaciones hidrometeorológicas analizadas de las cuales se presentan los estadísticos básicos.

A continuación, se analiza el comportamiento mensual de la precipitación de las estaciones Labateca, y Tunebia que representan la zona norte, sur de Toledo.

El promedio, el valor mínimo, el valor máximo, la mediana y los percentiles 25 y 75 de las precipitaciones mensuales registradas entre los años 1991 y 2018 en la estación de Labateca se muestran en la Tabla 12.

Estación Labateca

Tabla 12.

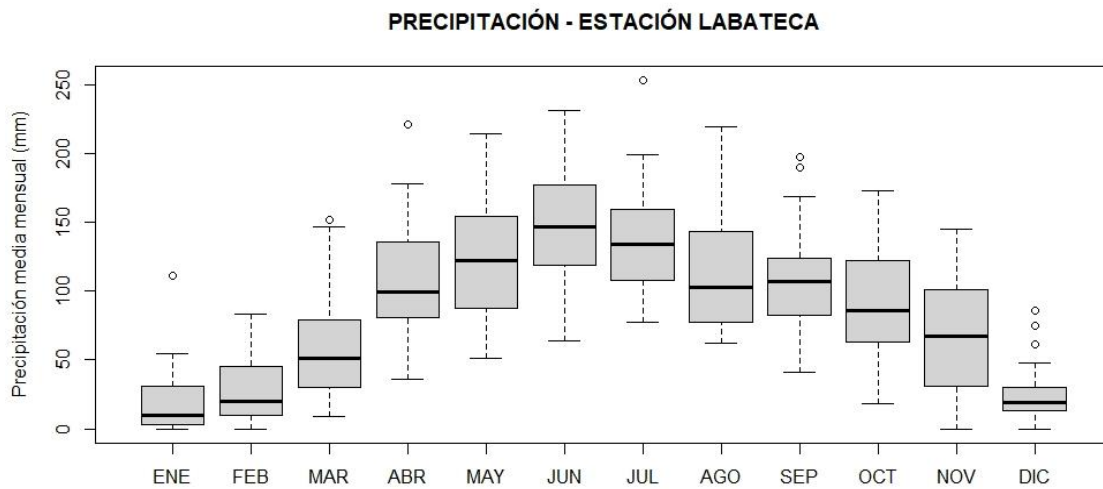
ESTADÍSTICA ESTACIÓN LABATECA

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Mínimo | 0,0 | 0,0 | 9,0 | 36,0 | 51,0 | 64,0 | 77,0 | 62,0 | 41,0 | 18,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1°Cuartil | 3,0 | 10,0 | 30,5 | 81,0 | 87,5 | 118,5 | 107,5 | 77,5 | 82,5 | 63,1 | 31,0 | 13,0 |
| Mediana | 10,0 | 20,0 | 51,0 | 99,0 | 122,0 | 147,0 | 134,0 | 103,0 | 107,0 | 86,0 | 67,0 | 19,0 |
| Media | 20,8 | 27,2 | 57,9 | 106,1 | 123,3 | 148,8 | 137,2 | 114,9 | 107,7 | 93,3 | 67,2 | 25,8 |
| 3°Cuartil | 30,5 | 44,8 | 79,0 | 135,5 | 154,5 | 177,0 | 159,0 | 143,0 | 123,5 | 122,5 | 101,0 | 30,0 |
| Máxima | 111,0 | 83,0 | 152,0 | 221,3 | 214,0 | 231,0 | 253,0 | 219,0 | 197,0 | 173,0 | 145,0 | 86,0 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 53.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN LABATECA



Fuente: propia, 2021.

La estación Labateca, posee valores máximos absolutos para el mes de julio 253 mm y junio con 231 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de junio con un valor de 147 mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 118,5 mm y el tercer cuartil con un valor de 177 mm siendo

el 75% de la precipitación.

Estación Tunebia

Tabla 13.

ESTADÍSTICA ESTACIÓN TUNEBIA

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Mínimo | 2,6 | 4,40 | 57,0 | 116,5 | 261,7 | 406,0 | 351,5 | 401,5 | 270,1 | 154,2 | 110,6 | 29,6 |
| 1°Cuartil | 51,4 | 67,0 | 164,4 | 289,6 | 439,8 | 587,1 | 594,6 | 506,4 | 408,5 | 283,4 | 242,3 | 145,4 |
| Mediana | 123,6 | 112,2 | 232,2 | 375,5 | 572,0 | 666,5 | 664,8 | 601,8 | 485,0 | 383,8 | 329,4 | 208,5 |
| Media | 154,1 | 165,0 | 270,6 | 383,6 | 570,6 | 653,4 | 681,4 | 654,0 | 528,1 | 414,0 | 342,4 | 214,4 |
| 3°Cuartil | 201,8 | 205,4 | 345,5 | 479,3 | 724,3 | 707,7 | 736,5 | 808,5 | 630,8 | 520,9 | 453,4 | 276,6 |
| Máxima | 458,0 | 617,0 | 562,8 | 646,3 | 843,0 | 1202,7 | 1023,7 | 1050,4 | 1005,4 | 782,1 | 552,2 | 420,4 |

Fuente: propia, 2021.

La estación Tunebia, posee valores máximos absolutos para el mes de Junio 1202,7 mm y agosto con 1050,4 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de junio con un valor de 66,5mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 587,1 mm y el tercer cuartil con un valor de 707,7 mm siendo el 75% de la precipitación.

El análisis de las demás estaciones se encuentra en el ANEXO 1 – B:

DIAGRAMAS DE CAJA Y ESTADÍSTICAS DE PRECIPITACIONES MENSUALES

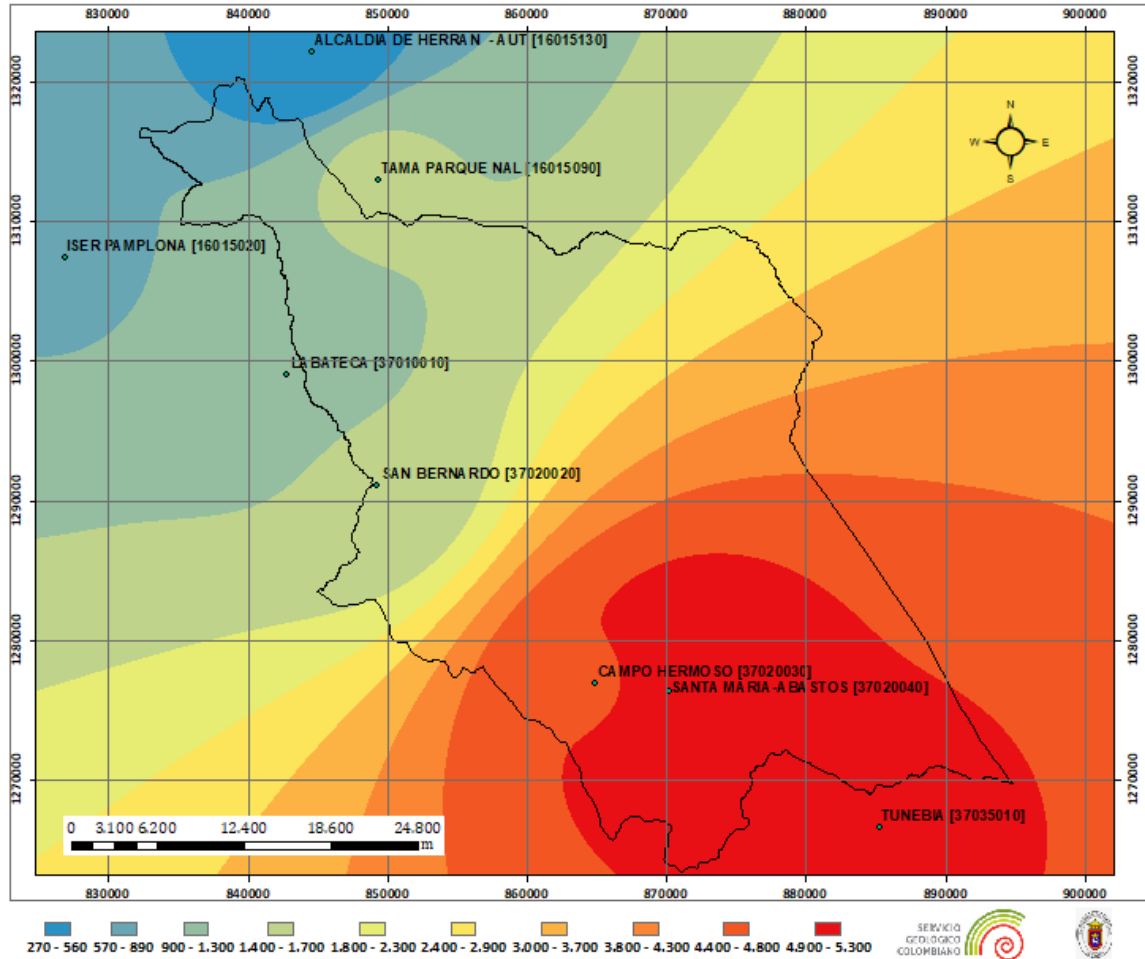
4.1.4.8 Isoyetas de precipitación acumuladas anual.

La distribución espacial de la precipitación anual se presenta mediante Isoyetas. Figura 54, la cual muestra los distintos rangos clasificación de precipitación, la mayor precipitación se presenta hacia el SUR de la zona de estudio con valores en un rango de 5300 mm a 3500 mm, la región intermedia se presenta en la parte central con valores entre un rango de 3400 mm a 1900 mm y las menores precipitaciones se presentan al sur oeste del área de estudio con valores entre un rango de 1800 mm a 370 mm.

Figura 54.

ISOYETAS DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

4.1.4.9 Isoyetas de precipitación máxima 24 horas.

La distribución espacial de precipitación máxima en 24 horas se realiza mediante la Isoyeta, donde se localiza los valores máximos de 24 horas registrados para cada una de las estaciones, lo cual se observa en la Tabla 14 y

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Figura 55.

Tabla 14.

PRECIPITACIÓN MÁXIMA - 24 HORAS

| AÑO | ALCALDIA DE HERRAN - AUT [16015130] | ISER PAMPLONA [16015020] | TAMA PARQUE NAL [16015090] | LABATECA [37010010] | SAN BERNARDO [37020020] | CAMPO HERMOSO [37020030] | SANTA MARIA-ABASTOS [37020040] | TUNEBIA [37035010] |
|------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1991 | | 33 | 40 | 45 | 50 | | 140 | 163,8 |
| 1992 | | 29 | 51,3 | 50 | 50 | | 135 | 136 |
| 1993 | | 51 | 44,1 | 45 | 35 | 115 | 100 | 136 |
| 1994 | | 41,4 | 69 | 39 | 40 | 133 | 103 | 153,5 |
| 1995 | | 35 | 47,1 | 40 | 50 | 147 | 153 | 138,2 |
| 1996 | | 39 | 45,2 | 61 | 100 | 132 | 131 | |
| 1997 | | 25,5 | 46,2 | 32 | 40 | 101 | 135 | 136 |
| 1998 | | 64,6 | 58,2 | 42 | 55 | 125 | 147 | 136 |
| 1999 | | 40,3 | 67 | 56 | 53 | 117 | 130 | 140 |
| 2000 | | 40,8 | 44,9 | 33 | 60 | 115 | 137 | 136 |
| 2001 | | 42,1 | | 36 | 36 | 127 | 135 | 129 |
| 2002 | | 50 | | 40 | 60 | 147 | 122 | 137 |
| 2003 | | 50,8 | | 42 | 34 | 134 | 135 | 172 |
| 2004 | | 43,7 | | 49 | 53 | 162 | 211 | 140 |

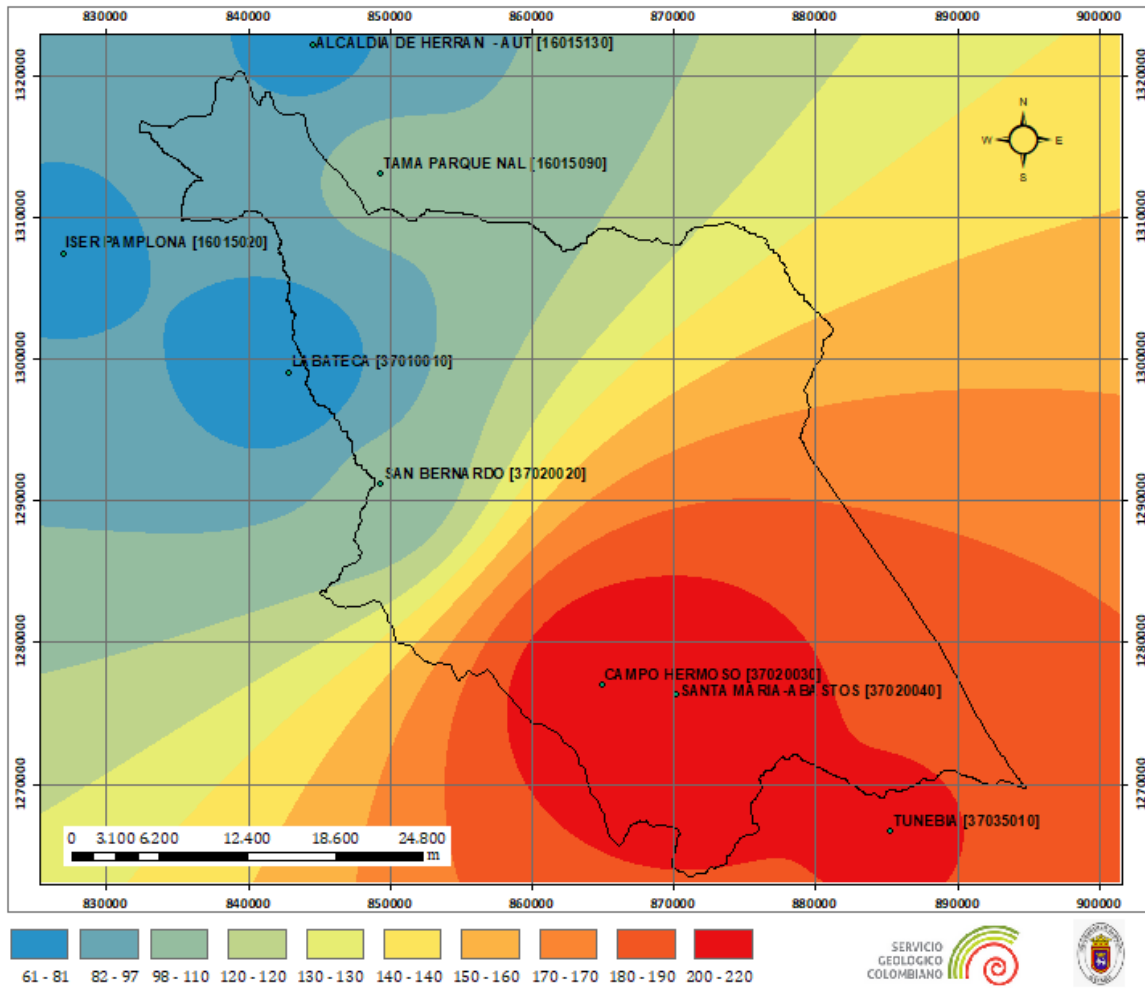
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| AÑO | ALCALDIA DE HERRAN - AUT [16015130] | ISER PAMPLONA [16015020] | TAMA PARQUE NAL [16015090] | LABATECA [37010010] | SAN BERNARDO [37020020] | CAMPO HERMOSO [37020030] | SANTA MARIA-ABASTOS [37020040] | TUNEBIA [37035010] |
|------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 4 | | | | | | | | |
| 2005 | | 63 | | 46 | 50 | 147 | 140 | 137 |
| 2006 | | 46,4 | | 43 | 36 | 139 | 85 | 165 |
| 2007 | 48,3 | 40,5 | 50 | 53 | 48 | 168 | 155 | 128 |
| 2008 | 10,5 | 43,7 | 50,3 | 48 | | 190 | 210 | 140 |
| 2009 | 60,4 | 52,3 | 37,6 | 60 | 68 | 137 | 104,6 | 132,2 |
| 2010 | 59,5 | 53,2 | 50,5 | 42 | 38,7 | 150 | 139,3 | 166 |
| 2011 | 42,4 | 60,5 | 44,5 | 54 | 64 | 154 | 166 | 146,5 |
| 2012 | 14,8 | 59,5 | 103,5 | 56 | 71,7 | 218 | 211,2 | 150 |
| 2013 | 53,9 | 42,2 | 57 | 35 | 48,5 | 135 | 137,8 | 132,9 |
| 2014 | 24,8 | 76,2 | 34,6 | 37 | 48 | 100 | 109,8 | 115,6 |
| 2015 | 35,3 | 35,8 | 55 | 50 | 82,8 | 135 | 124,5 | 133,3 |
| 2016 | 41,4 | 43,7 | 48 | 60 | 68,2 | 150 | 196,5 | 124,1 |
| 2017 | 41,6 | 39,9 | | | 61,4 | | 191,2 | |
| 2018 | 74,2 | 59,2 | | 40 | 63,5 | 195 | 177,5 | 196,5 |
| MAX | 74,2 | 76,2 | 103,5 | 61 | 100 | 218 | 211,2 | 196,5 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 55.

ISOYETAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS



Fuente: propia, 2021.

La Isoyeta de precipitación máxima en 24 horas permite observar la tendencia general que tiene la lluvia dentro del área de estudio. Esta tendencia, para la mayor parte del área estudiada, tiene valores entre 91 y 110 mm/24h, las precipitaciones máximas de la zona se presentan en el área del SUR en las estaciones de Campo Hermoso y Santa Maria

abastos con valores de 220mm, y la estación Labateca y Iser presentan los valores menores de precipitación máximas 24 horas de la zona de estudio en un rango de 62mm y 90 mm.

4.1.4.10 Condición ENSO (El Niño-Oscilación del Sur)- Precipitación

Media.

El índice oceánico niño (ONI), permite identificar la intensidad, tanto de la condición calida (niño) como de la condición fría (niña), clasificándola en débil, moderada, fuerte y muy fuerte, esta clasificación se obtiene a partir de la Tabla 15, para cada año.

Tabla 15.

FECHAS PARA FENÓMENO ENSO

| EL NIÑO | | | | LA NIÑA | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Débil | Moderado | Fuerte | Muy fuerte | Débil | Moderado | Fuerte |
| 1989-1990 | 1990-1991 | 1991-1992 | 1997-1998 | 1992-1993 | 1995-1996 | 1989 |
| 1993-1994 | 1992-1993 | 1994-1995 | 2015-2016 | 1996-1997 | 2000-2001 | 1998-1999 |
| 2011-2012 | 2003-2004 | 2001-2002 | | 2000-2001 | 2005-2006 | 1999-2000 |
| 2013-2014 | 2004-2005 | 2009-2010 | | 2002-2003 | 2008-2009 | 2007-2008 |
| 2016-2017 | 2006-2007 | | | 2012-2013 | 2016-2017 | 2010-2011 |
| | 2014-2015 | | | 2013-2014 | 2017-2018 | |
| | 2018- | | | | | |

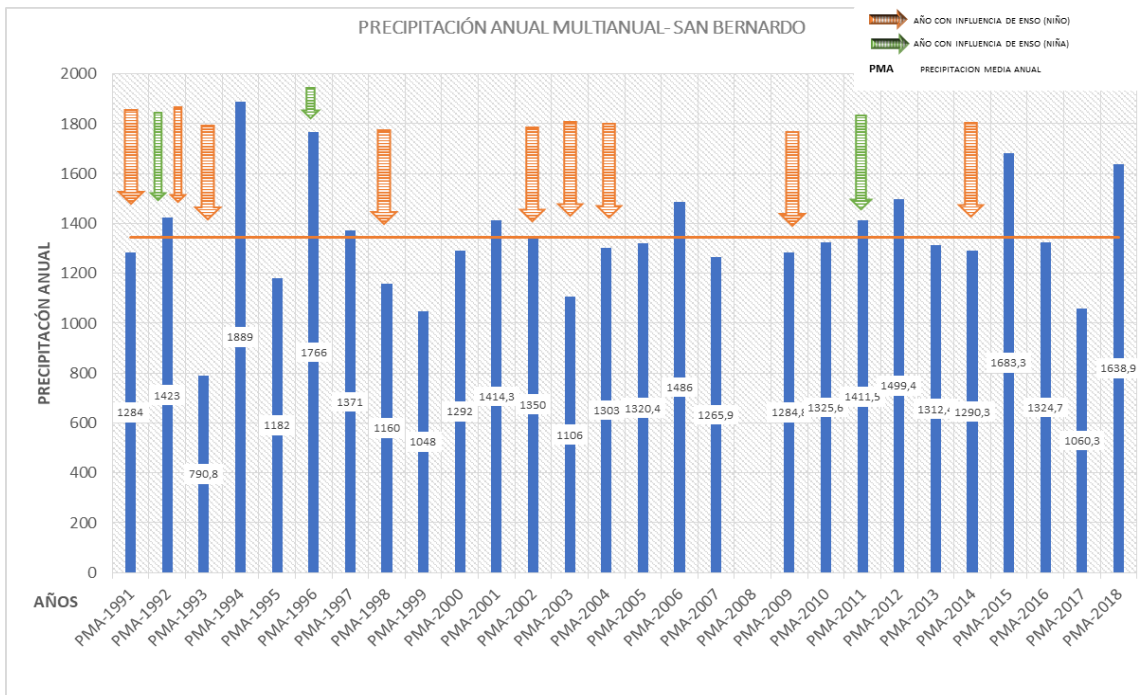
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

| EL NIÑO | | | LA NIÑA | | |
|---------|------|--|---------|--|--|
| | 2019 | | | | |

Fuente: propia, 2021.

Figura 56.

PRECIPITACIÓN VS ENSO ESTACIÓN SAN BERNARDO



Fuente: propia, 2021.

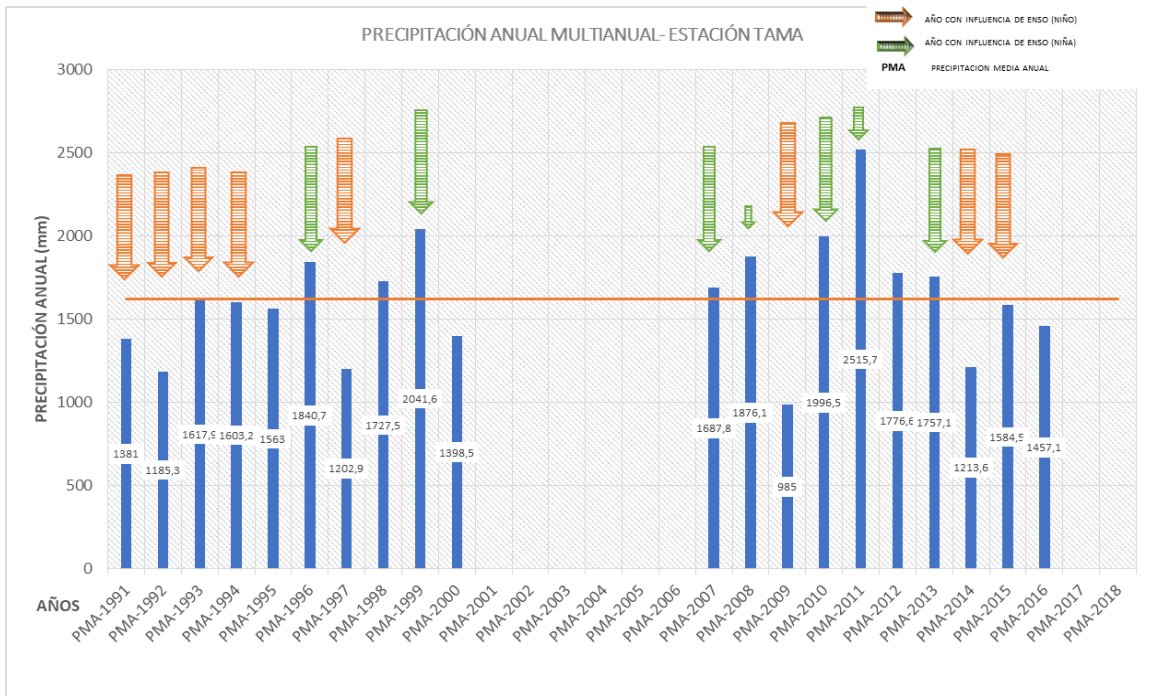
Los registros de precipitación media anual multianual, de la estación de San Bernardo responden a las condiciones niña y niño, los más representativos son los años:

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

1991 niño moderado, 1992 niño moderado, 1993 niño moderado, 1998 niño muy fuerte, 2002 niño fuerte, 2003 niño moderado, 2004 niño moderado, 2009 niño fuerte, 2014 niño moderado; esta condición presenta una disminución considerable respecto de la media 1343,8 mm/año. Se tiene los años representativos en condición niña son 1992 débil, 1996 moderado, 2011 fuerte, valores que estuvieron por encima de la media.

Figura 57.

PRECIPITACIÓN VS ENSO ESTACIÓN TAMA



Fuente: propia, 2021.

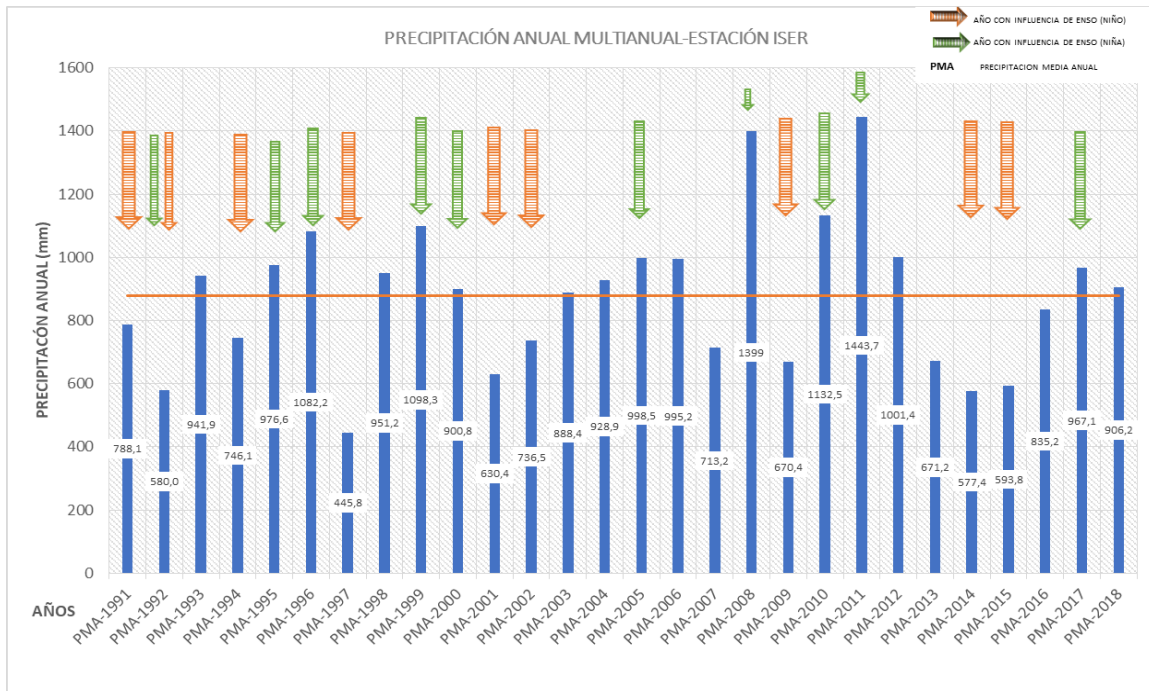
Los registros de precipitación media anual multianual, de la estación de Tama

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

responden a las condiciones niña y niño, los más representativos son los años: 1991 niño moderado, 1992 niño moderado, 1993 niño moderado, 1997 niño muy fuerte, 2009 niño fuerte, 2014 niño moderado, 2015 niño muy fuerte; esta condición presenta una disminución considerable respecto de la media 1620,6 mm/año. Se tiene los años representativos en condición niña son 1996 moderado, 1999 fuerte, 2007 fuerte, 2008 moderado, 2010 fuerte, 2011 fuerte, 2013 débil, valores que estuvieron por encima de la media.

Figura 58.

PRECIPITACIÓN VS ENSO ESTACIÓN ISER PAMPLONA



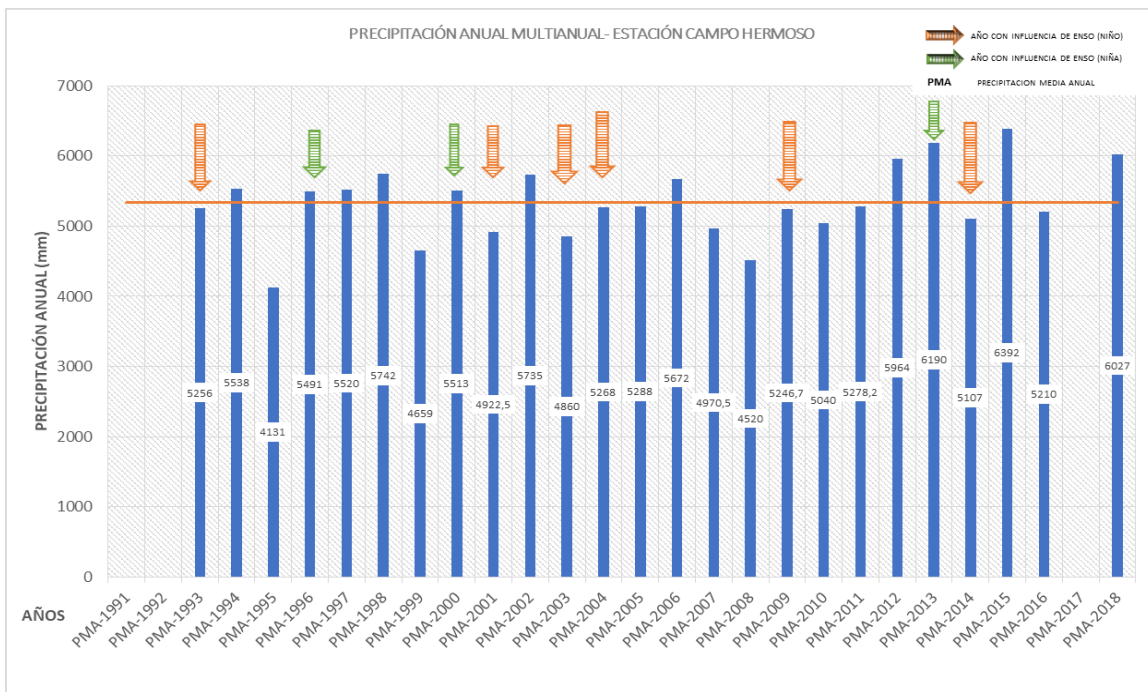
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Los registros de precipitación media anual multianual, de la estación de Iser responden a las condiciones niña y niño, los más representativos son los años: 1991 niño moderado, 1992 niño moderado, 1994 niño fuerte, 1997 niño muy fuerte, 2001 niño fuerte, 2002 niño fuerte, 2009 niño fuerte, 2014 niño moderado, 2015 niño muy fuerte; esta condición presenta una disminución considerable respecto de la media 878,6 mm/año. Se tiene los años representativos en condición niña son 1995 moderado, 1996 moderado, 1999 fuerte, 2000 débil, 2005 moderado, 2008 moderado, 2010 fuerte, 2011 fuerte, 2017 moderado, valores que estuvieron por encima de la media.

Figura 59.

PRECIPITACIÓN VS ENSO ESTACIÓN CAMPO HERMOSO



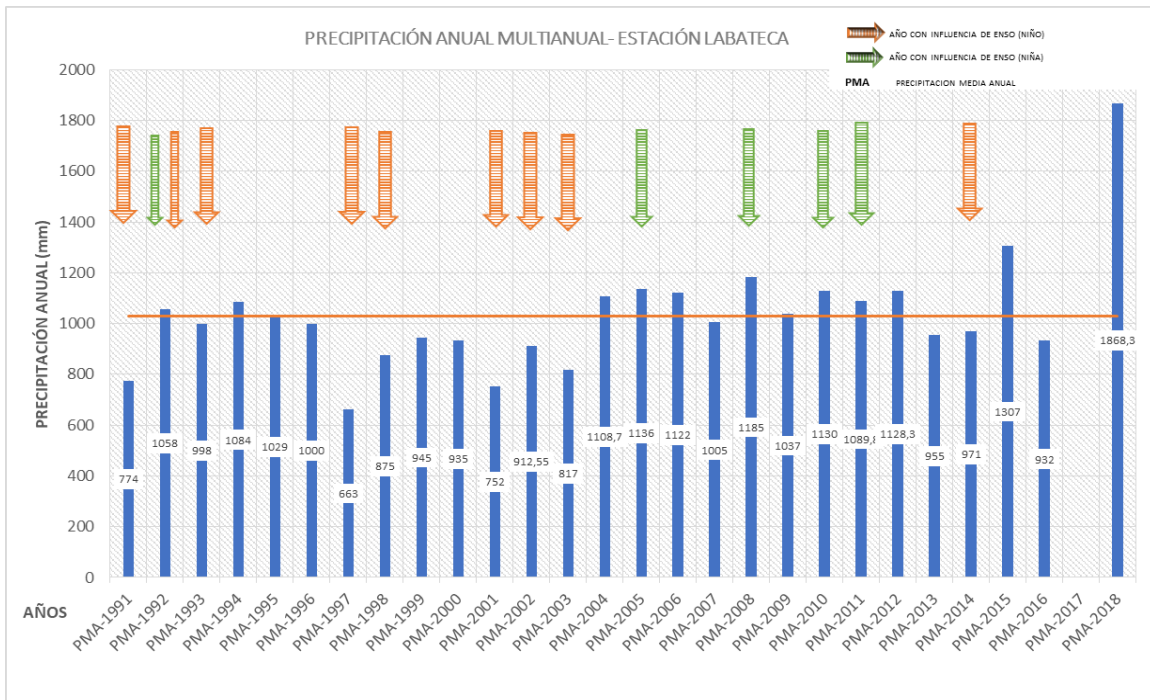
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Los registros de precipitación media anual multianual, de la estación de Campo Hermoso responden a las condiciones niña y niño, los más representativos son los años: 1993 niño moderado, 2001 niño fuerte, 2003 niño moderado, 2004 niño moderado, 2009 niño fuerte, 2014 niño moderado; esta condición presenta una disminución considerable respecto de la media 5341,6 mm/año. Se tiene los años representativos en condición niña son 1996 moderado, 2013 débil, valores que estuvieron por encima de la media.

Figura 60.

PRECIPITACIÓN VS ENSO ESTACIÓN LABATECA



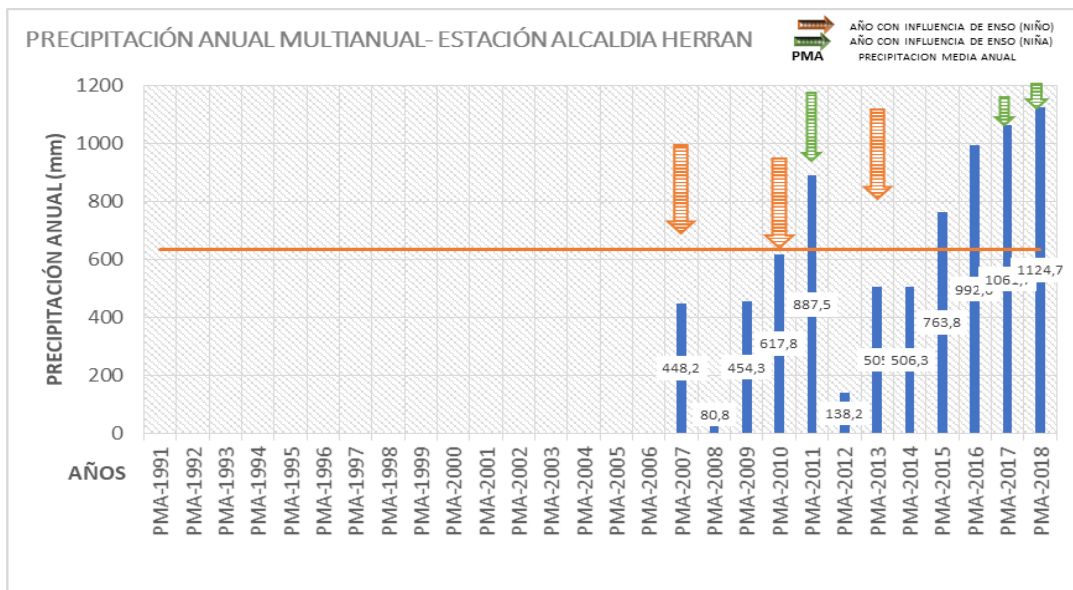
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Los registros de precipitación media anual multianual, de la estación de Labateca responden a las condiciones niña y niño, los más representativos son los años: 1991 niño moderado, 1993 niño débil, 1997 niño muy fuerte, 1998 niño muy fuerte, 2001 niño fuerte, 2002 niño fuerte, 2003 niño moderado, 2014 niño moderado; esta condición presenta una disminución considerable respecto de la media 1030,3 mm/año. Se tiene los años representativos en condición niña son 1992 débil, 2005 moderado, 2008 moderado, 2010 fuerte, 2011 fuerte, valores que estuvieron por encima de la media.

Figura 61.

PRECIPITACIÓN VS ENSO ESTACIÓN ALCALDÍA HERRÁN



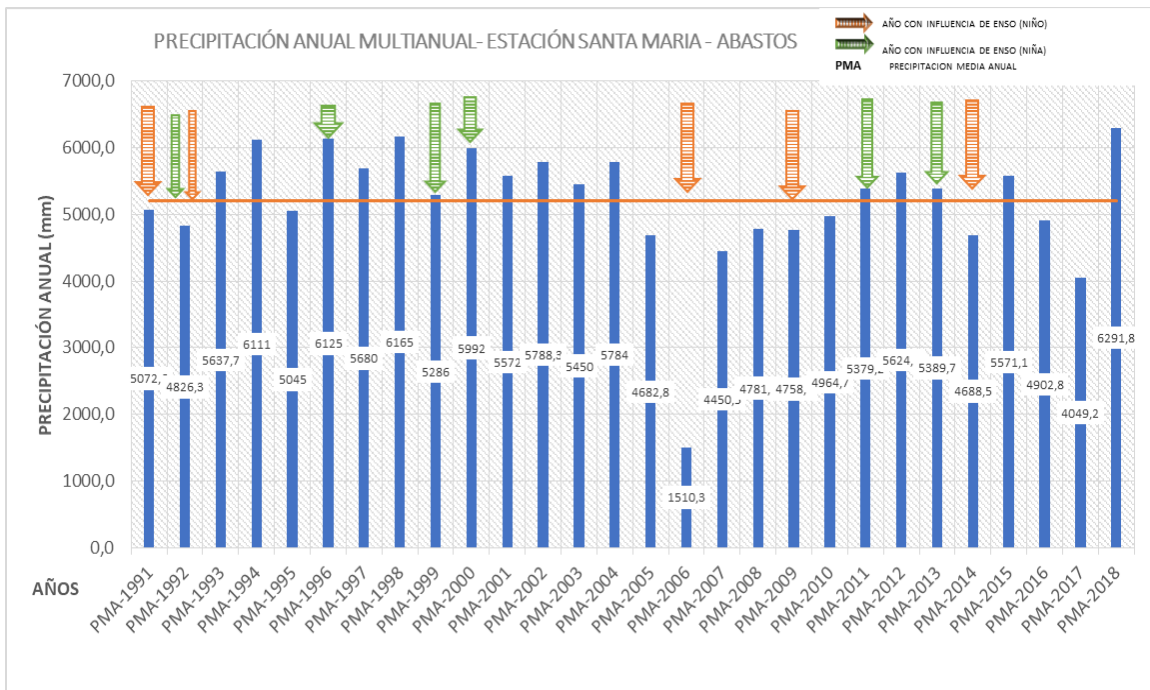
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Los registros de precipitación media anual multianual, de la estación de Alcaldía Herrán responden a las condiciones niña y niño, los más representativos son los años: 2007 niño moderado, 2010 niño fuerte, 2013 niño débil; esta condición presenta una disminución considerable respecto de la media 631,7 mm/año. Se tiene los años representativos en condición niña son 2011 fuerte, 2017 moderado, 2018 moderado, valores que estuvieron por encima de la media.

Figura 62.

PRECIPITACIÓN VS ENSO ESTACIÓN SANTA MARIA-ABASTOS

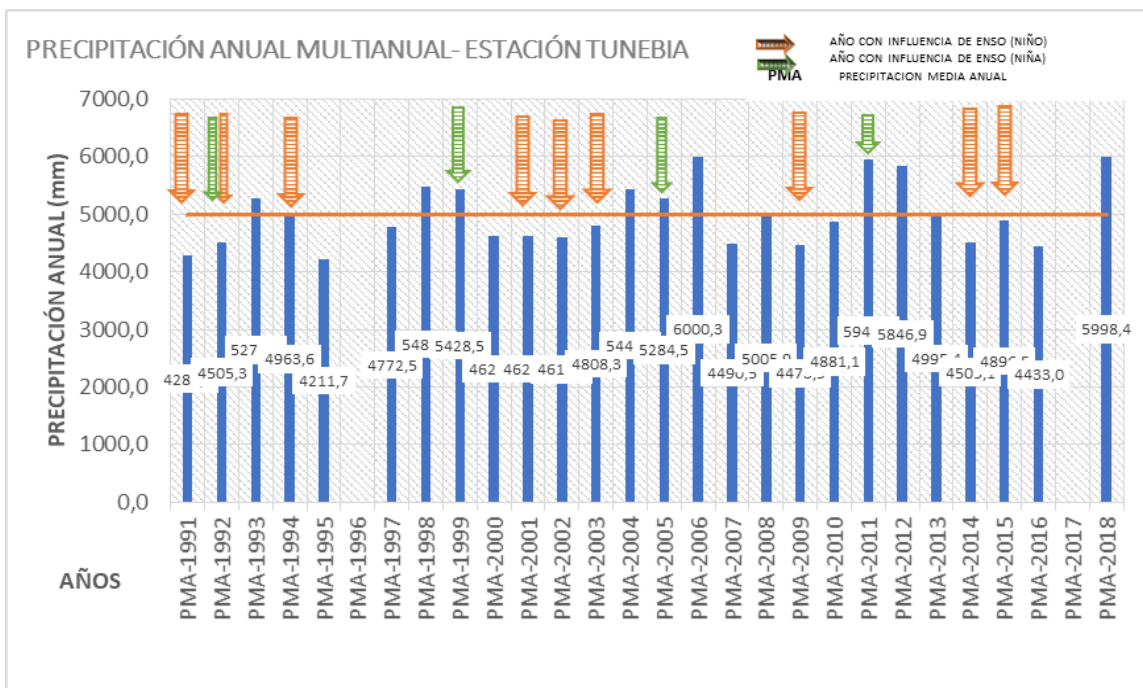


Fuente: propia, 2021.

Los registros de precipitación media anual multianual, de la estación de Santa Maria-Abastos responden a las condiciones niña y niño, los más representativos son los años: 1991 niño moderado, 1992 niño moderado, 2006 niño moderado, 2009 niño fuerte, 2014 niño moderado; esta condición presenta una disminución considerable respecto de la media 5199,3 mm/año. Se tiene los años representativos en condición niña son 1996 moderado, 1999 fuerte, 2000 débil, 2011 fuerte, 2013 débil, valores que estuvieron por encima de la media.

Figura 63.

PRECIPITACIÓN VS ENSO ESTACIÓN TUNEBIA



ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Los registros de precipitación media anual multianual, de la estación de Tunebia responden a las condiciones niña y niño, los más representativos son los años: 1991 niño moderado, 1992 niño moderado, 1994 niño fuerte, 2001 niño fuerte, 2002 niño fuerte, 2003 niño moderado, 2009 niño fuerte, 2014 niño moderado, 2015 niño muy fuerte; esta condición presenta una disminución considerable respecto de la media 4992,3 mm/año. Se tiene los años representativos en condición niña son 1999 fuerte, 2005 moderado, 2011 fuerte, valores que estuvieron por encima de la media.

Tabla 16.

FECHAS DE LA INCIDENCIA DEL NIÑO PARA LA ZONA DE TOLEDO NORTE DE SANTANDER

| AÑOS | NIÑO | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1997 | 1998 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2006 | 2007 | 2009 | 2010 | 2013 | 2014 | 2015 |
| ALCALDIA DE HERRAN - AUT [16015130] | | | | | | | | | | | | X | | X | X | | |
| ISER PAMPLONA [16015020] | X | X | | X | X | | X | X | | | | | X | | | X | X |
| TAMA PARQUE NAL [16015090] | X | X | X | X | X | | | | | | | | X | | | X | X |
| LABATECA [37010010] | X | | X | | X | X | X | X | X | | | | | | | X | |
| SAN BERNARDO [37020020] | X | | X | | | X | | X | X | X | | | X | | | X | |
| CAMPO HERMOSO [37020030] | | | X | | | | X | | X | X | | | X | | | X | |
| SANTA MARIA- ABASTOS [37020040] | X | X | | | | | | | | | X | | X | | | X | |
| TUNEBIA [37035010] | X | X | | X | | | X | X | X | | | | X | | | X | X |

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Tabla 17.

FECHAS DE LA INCIDENCIA DE LA NIÑA PARA LA ZONA DE TOLEDO NORTE DE SANTANDER

| años | NIÑA | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1992 | 1995 | 1996 | 1999 | 2000 | 2005 | 2007 | 2008 | 2010 | 2011 | 2013 | 2017 |
| ALCALDIA DE HERRAN - AUT [16015130] | | | | | | | | | | X | | X |
| ISER PAMPLONA [16015020] | | X | X | X | X | X | | X | X | X | | X |
| TAMA PARQUE NAL [16015090] | | | X | X | | | X | X | X | X | X | |
| LABATECA [37010010] | X | | | | | X | | X | X | X | | |
| SAN BERNARDO [37020020] | X | | X | | | | | | | X | | |
| CAMPO HERMOSO [37020030] | | | X | | X | | | | | | X | |
| SANTA MARIA-ABASTOS [37020040] | | | X | X | X | | | | | X | X | |
| TUNEBIA [37035010] | | | | X | | X | | | | X | | |

Fuente: propia, 2021.

La identificación del comportamiento de la precipitación media vs ENSO para cada una de las estaciones permite establecer de manera regional que, los años 1991, 2009, 2014 en el territorio de Toledo se presentó el fenómeno del niño; para los años 1996, 2011, se presentó en todo el territorio de Toledo la incidencia del fenómeno la niña.

4.1.5 Análisis de la precipitación como factor causante de los movimientos en masa

Con el inventario escogido de deslizamientos los cuales se muestran en la **Tabla 3** y **Tabla 4**, se observa que la densidad de la información es muy poca y la mayor cantidad de las fechas donde ocurrieron estos movimientos fueron en un periodo menor a 10 años, por lo que se impide la aplicación de la metodología de probabilidad de Poisson, debido a que para esta técnica se necesita una buena densidad de información de deslizamientos de más de 30 años.

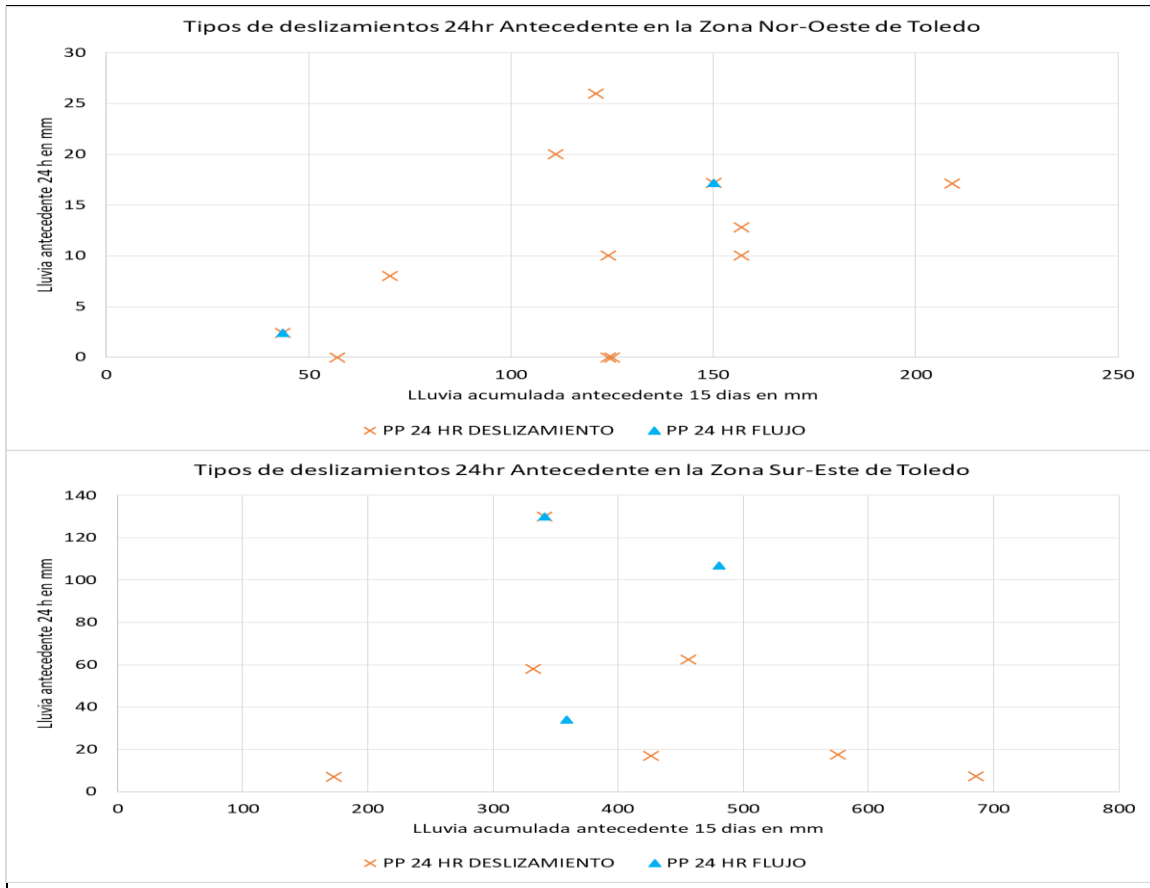
Por tal motivo se analizó la precipitación como factor causante de los movimientos en masa, caracterizando las veredas donde inciden estos fenómenos, por lo cual se determinó los meses en que se presentan la mayor probabilidad de que se pueda detonar un movimiento debido a las lluvias y un análisis de las veredas con mayor afectación.

Desde la Figura 64 hasta la

Figura 68, presentan las posibles combinaciones de lluvia acumulada de 24 horas, 3, 5, 15 días y 1 año versus la lluvia acumulada antecedente 15 días, evaluadas para la zona Sur-Este y Nor-Oeste de Toledo Norte de Santander. La lluvia de corto plazo (LA), representa la cantidad de lluvia caída en los días anteriores a la ocurrencia del evento en esta se incluye la lluvia de 24 horas del día de ocurrencia, la lluvia acumulada antecedente (LLA), corresponde a la lluvia que cayó en los días anteriores a la lluvia de corto plazo.

Figura 64.

LLUVIA ANTECEDENTE DE 24H VS LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE DE 15 DÍAS MM PARA LA ZONA NOR-OESTE Y SUR- ESTE DE TOLEDO.

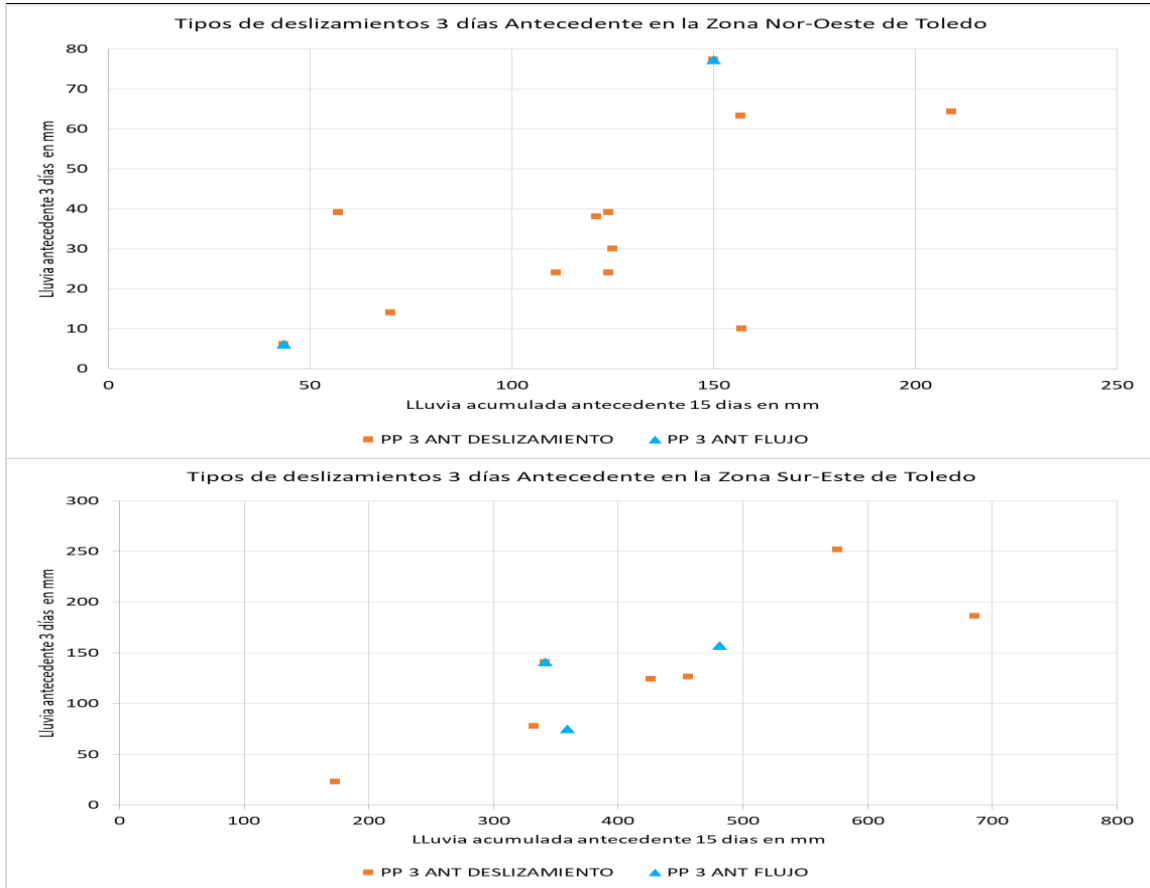


Fuente: propia, 2021.

Figura 65.

LLUVIA ANTECEDENTE DE 3 DÍAS VS LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE DE 15

DÍAS MM PARA LA ZONA NOR-OESTE Y SUR- ESTE DE TOLEDO.

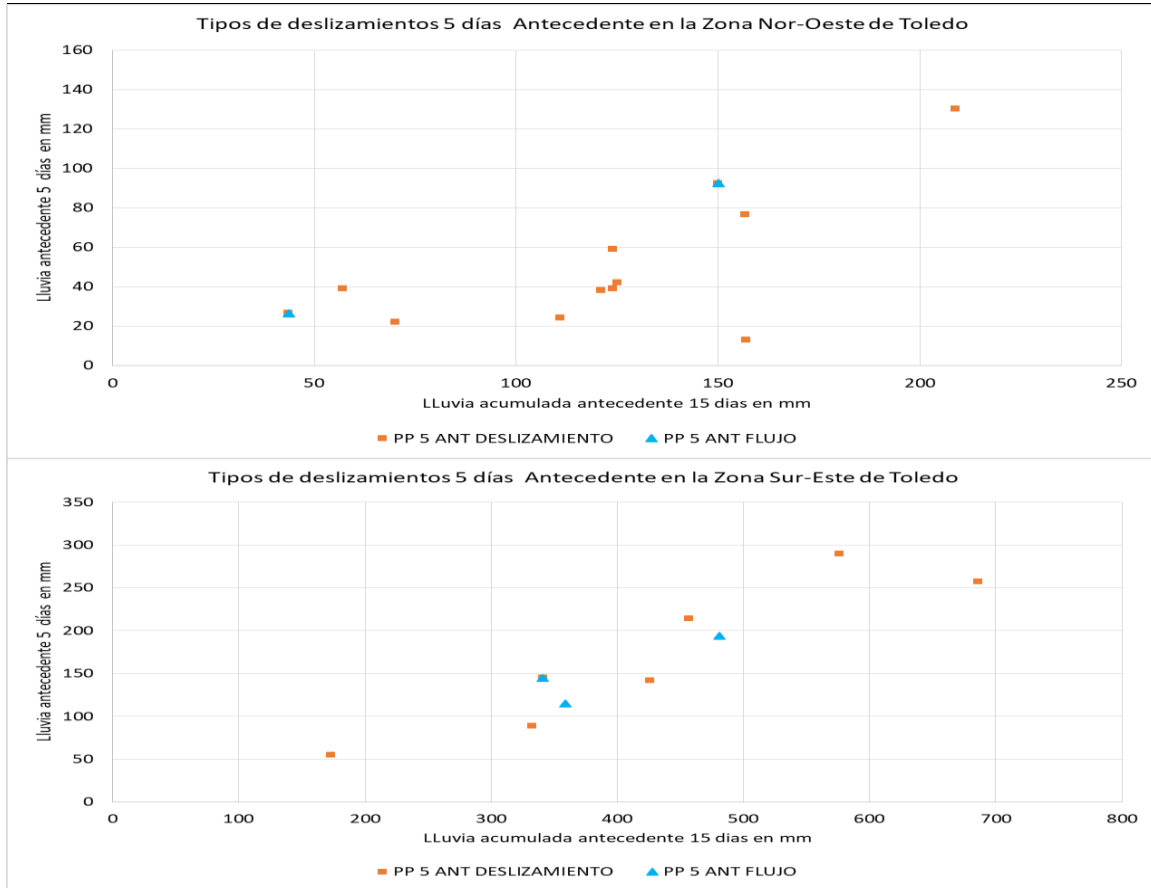


Fuente: propia, 2021.

Figura 66.

LLUVIA ANTECEDENTE DE 5 DÍAS VS LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE DE 15 DÍAS MM PARA LA ZONA NOR-OESTE Y SUR- ESTE DE TOLEDO.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

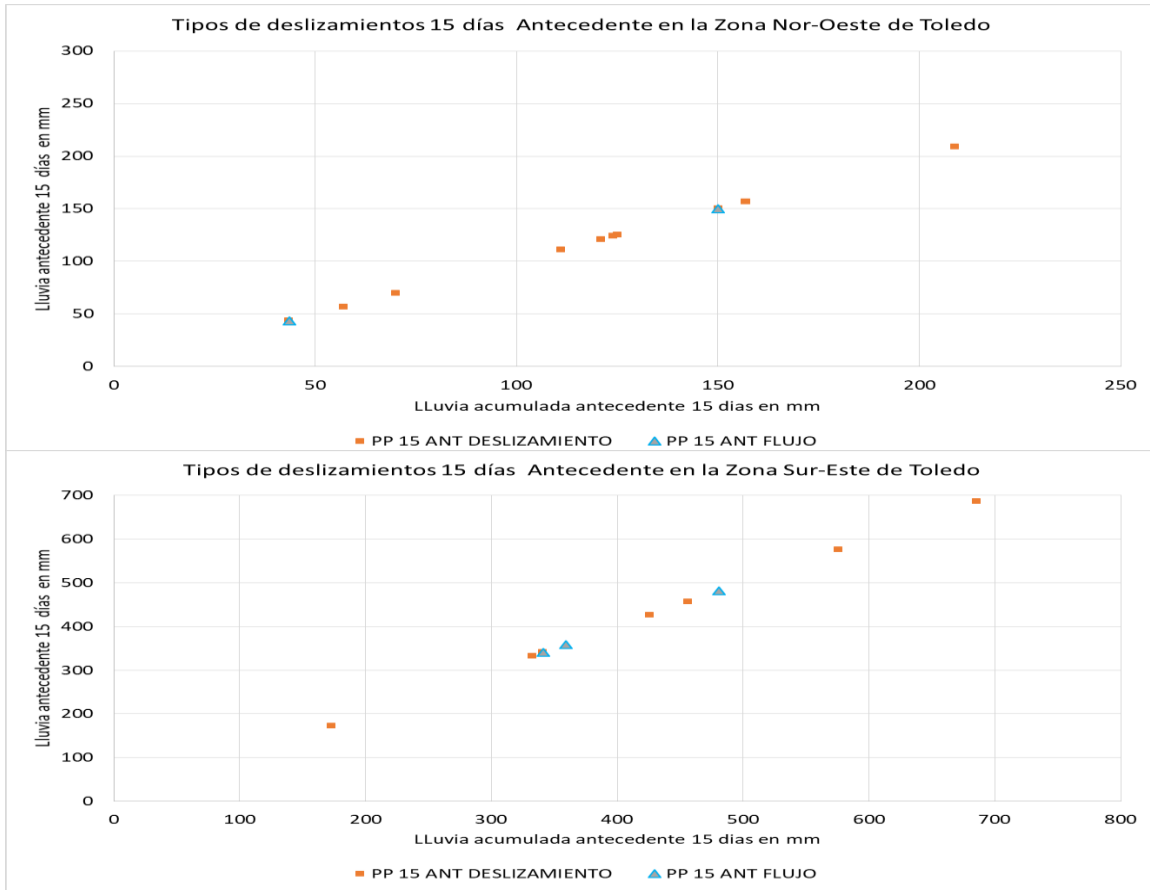


Fuente: propia, 2021.

Figura 67.

LLUVIA ANTECEDENTE DE 15 DÍAS VS LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE DE 15 DÍAS MM PARA LA ZONA NOR-OESTE Y SUR- ESTE DE TOLEDO.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

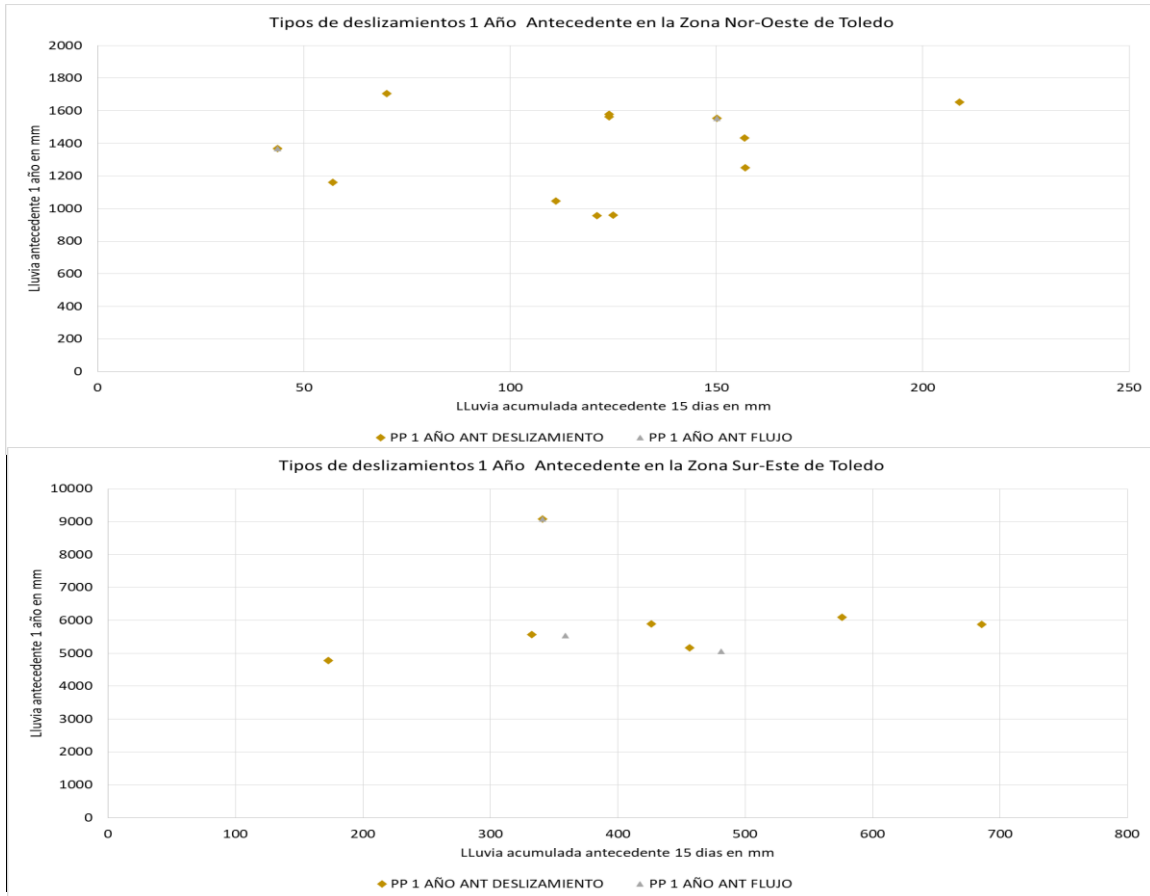


Fuente: propia, 2021.

Figura 68.

LLUVIA ANTECEDENTE DE 1 AÑO VS LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE DE 15 DÍAS MM PARA LA ZONA NOR-OESTE Y SUR-ESTE DE TOLEDO.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

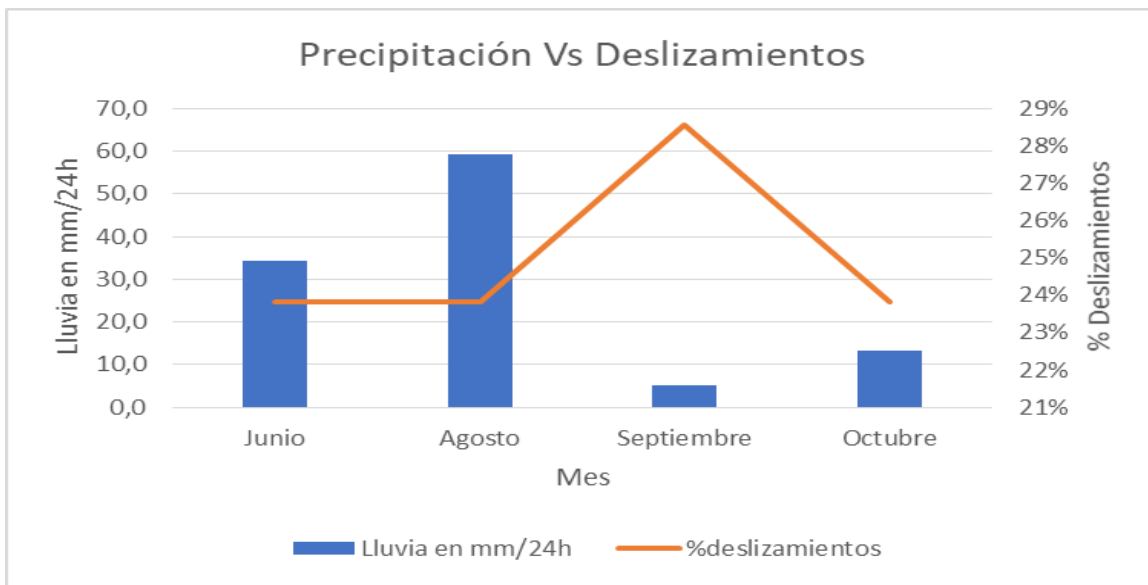
En los gráficos se observa, que en los periodos de lluvia corto hay una cierta cantidad de movimientos en masa agrupados en el cero o cercanos a él, esto se debe a que no precisamente el día o los días previos en que ocurrió el deslizamiento hubo precipitación. Mientras que en la lluvia a largo plazo los movimientos en masa se alejan del punto de origen, debido a que la lluvia se incrementa sobre el talud al pasar de los días jugando un factor muy importante en la desestabilización y en los deslizamientos del talud.

El municipio de Toledo, según la Figura 69, se observa que en el mes de septiembre

hay un mayor número de deslizamientos, en un periodo analizado desde 1986 al 2018, en total 6 deslizamientos de 21 movimientos, lo que representa el 29%. Los meses que le siguen son junio, agosto y octubre con 5 movimientos en masa los cuales representan un 24% y su periodo de análisis comprende desde 1998 al 2019.

Figura 69.

PORCENTAJE DE DESLIZAMIENTOS VS PRECIPITACIÓN.



Fuente: propia, 2021.

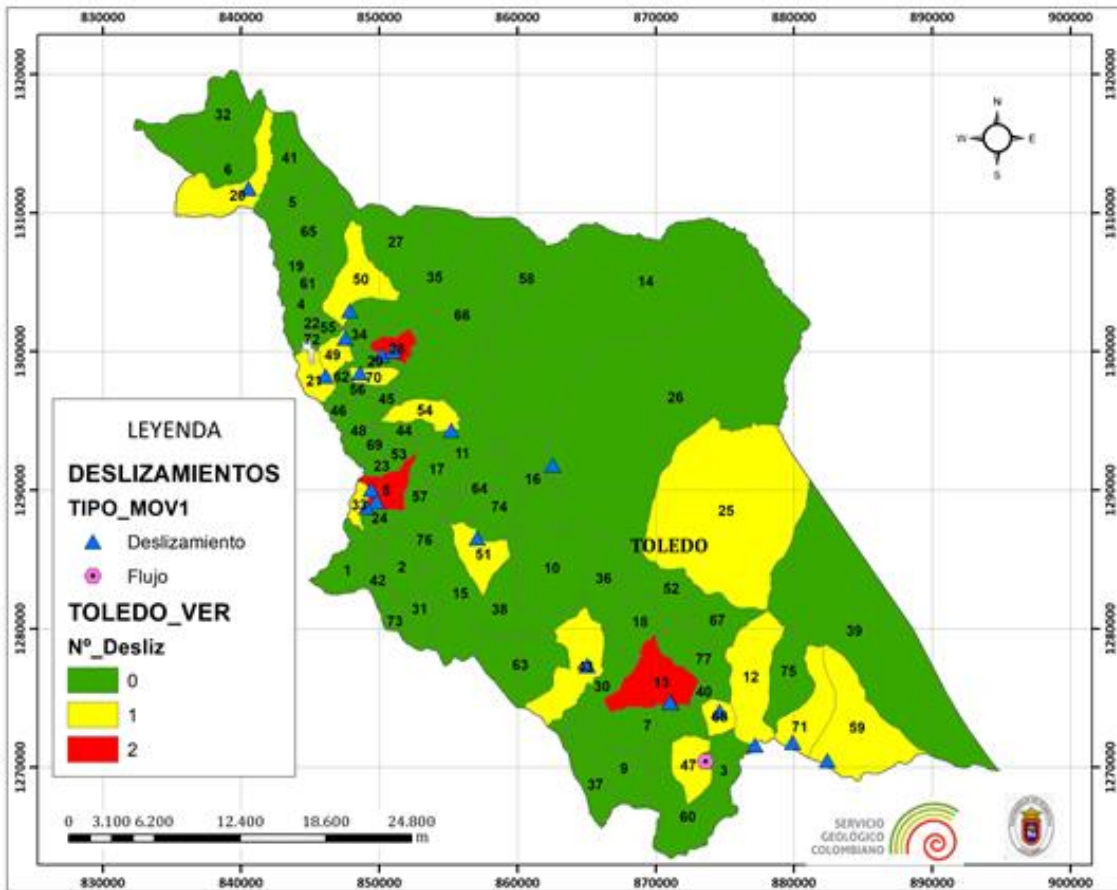
Las veredas con mayores deslizamientos son Tamara (8), vereda Sabanalarga (28) y Santa María (13), con un total de 2 movimientos de tipo traslacional y rotacional de detritos y de rocas, seguidamente las veredas la Camacha (50), Providencia el Limoncito (33), La Aurora (51), California (71), Cortinas (68), El Porvenir (59), La Capilla (49), Ima (54), San

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Antonio (25), Santa Marta (12), La Mesa (43), Campo Alegre (70), San Jose (20), San Javier (21), La China (47) con un deslizamiento.

Figura 70.

MAPA DE NUMERO DE DESLIZAMIENTOS POR VEREDA MUNICIPIO DE TOLEDO PRESENTADOS ENTRE 1986 AL 2019.



Fuente: propia, 2021.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Tabla 18.

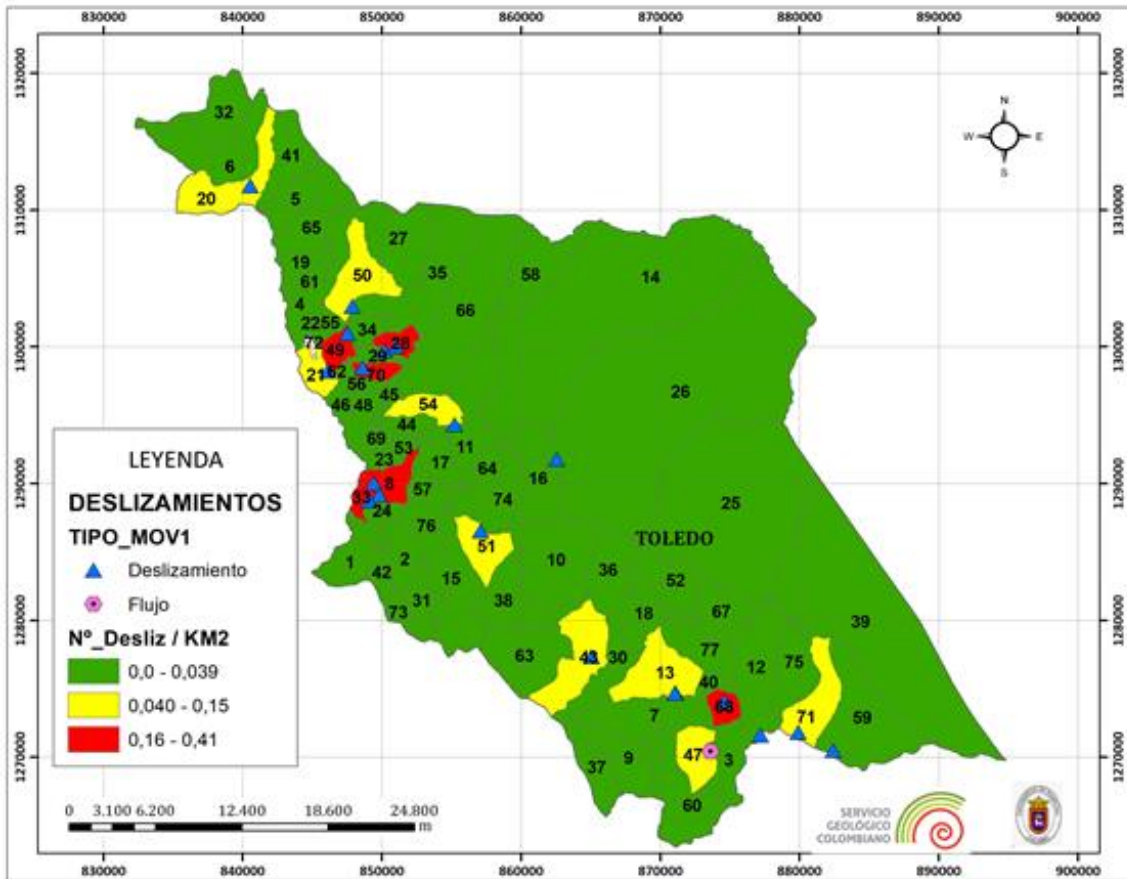
ETIQUETA DE VEREDAS PARA EL MUNICIPIO DE TOLEDO

| Etiqueta Veredas | | |
|------------------------|-------------------|-----------------------|
| 1_VALEGRA | 4_TOLEDITO | 7_TAMARANA |
| 10_SARARITO | 40_LIMONCITO | 70_25_CAMPOALEGRE |
| 11_SANTA RITA | 41_LA UNION | 71_26_CALIFORNIA |
| 12_SANTA MARTA | 42_LA RESERVA | 72_27_BUENAVISTA |
| 13_SANTA MARIA | 43_LA MESA | 73_28_BUENA VISTA |
| 14_SANTA ISABEL | 44_LA LOMA | 74_30_BELEN |
| 15_SANTA INES | 45_LA CORDILLERA | 75_31_ALTO HORIZONTE |
| 16_SANTA CATALINA | 46_LA COMPAÑIA | 76_32_ALTO DE ORO |
| 17_SANTA BARBARA | 47_1_LA CHINA | 77_33_ALTO DE HERRERA |
| 18_SANTA ANA SARARE | 48_2_LA CARBONERA | 8_TAMARA |
| 19_SANTA ANA | 49_3_LA CAPILLA | 9_SEGOVIA |
| 2_URAPAL | 5_TIERRA AMARILLA | |
| 20_SAN JOSE | 50_4_LA CAMACHA | |
| 21_SAN JAVIER | 51_5_LA AURORA | |
| 22_SAN ISIDRO | 52_6_JUNIN | |
| 23_SAN IGNACIO | 53_7_JUAN PEREZ | |
| 24_SAN CARLOS | 54_8_IMA | |
| 25_SAN ANTONIO | 55_9_HATOS ALTOS | |
| 26_SAN ALBERTO | 56_10_HATO GRANDE | |
| 27_SAMARIA | 57_11_EL VEGON | |
| 28_SABANALARGA | 58_13_EL RETIRO | |
| 29_ROMAN | 59_14_EL PORVENIR | |
| 3_TROYA | 6_TAPATA | |
| 30_RIO NEGRO | 60_15_EL PARAISO | |
| 31_RIO COLORADO | 61_16_EL NARANJO | |
| 32_QUEBRADA GRANDE | 62_17_EL JORDAN | |
| 33_PROVIDENCIA EL LIMO | 63_18_EL ENCANTO | |
| 34_PALMAR ROJO | 64_19_EL CEIBAL | |
| 35_PALMAR ALTO | 65_20_EL CEDRAL | |
| 36_MURILLO | 66_21_EL AZUL | |
| 37_MUELERA | 67_22_DIAMANTE | |
| 38_MIRALINDO | 68_23_CORTINAS | |
| 39_MARGUA | 69_24_CORRALITOS | |

Fuente: propia, 2021.

Figura 71.

MAPA DE NÚMERO DE DESLIZAMIENTOS POR KILÓMETRO CUADRADO EN MUNICIPIO DE TOLEDO PRESENTADOS ENTRE 1986 AL 2019.

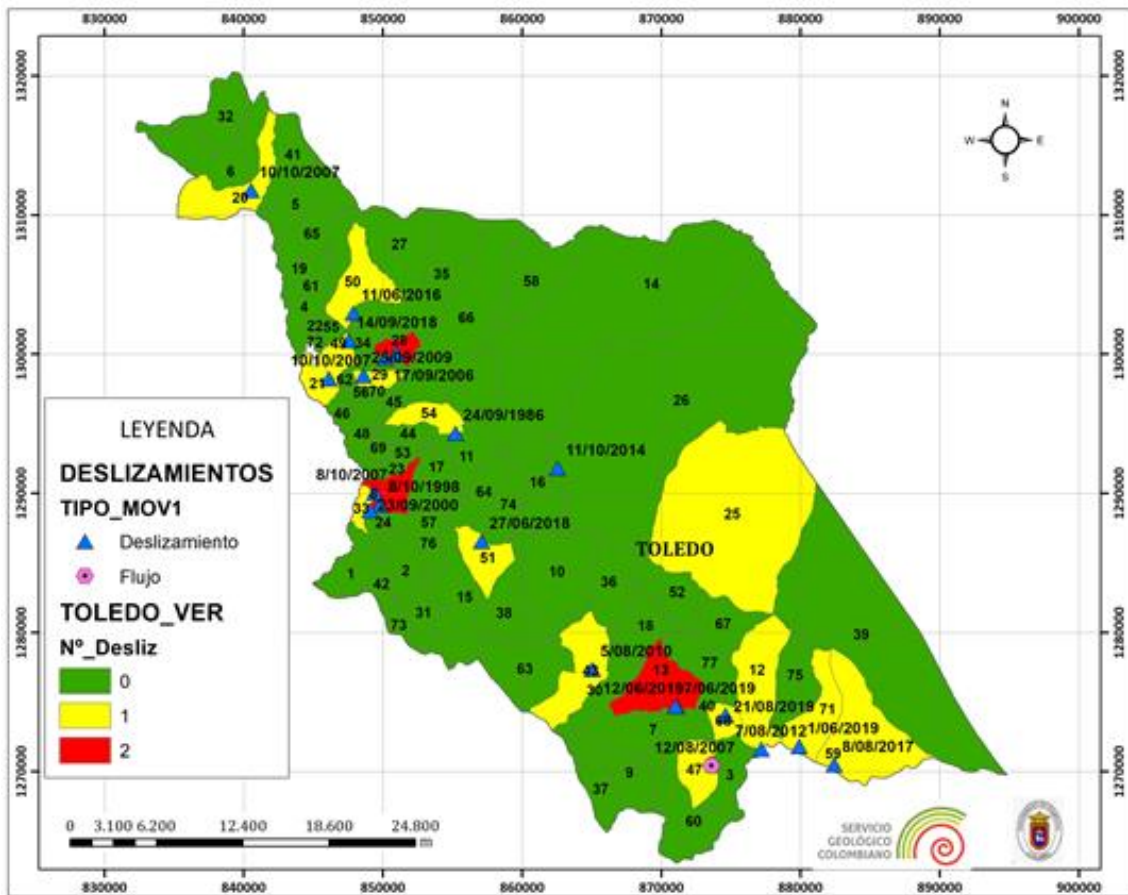


Fuente: propia, 2021.

Figura 72.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

MAPA DE NÚMERO Y FECHAS DE DESLIZAMIENTOS POR VEREDA MUNICIPIO DE TOLEDO PRESENTADOS ENTRE 1986 AL 2019.



Fuente: propia, 2021.

4.2 Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a la recopilación de información climatológica se puede determinar que no se tiene la totalidad de los datos de la variable de precipitación, debido a que 6 estaciones cumplieron con un periodo de 28 años, y dos de ellas estuvieron por debajo de 20 años, pero se utilizaron para el estudio; Solo tres estaciones cumplieron con los datos de las variables climatológicas.

Se determinó que la metodología para reducir la incertidumbre de los deslizamientos es limitada debido a que el sensor empezó a funcionar desde el 2015, por otra parte, la información de los deslizamientos del 2015 hacia atrás se comprobaron por medio de información secundaria confiable.

Al momento del análisis exploratorio de las series de precipitación las Graficas OUTLIER y gráficas de series de tiempo, cumplieron su objetivo el cual era señalar los datos atípicos, donde fueron ajustados y validados con datos históricos de estaciones vecinas.

Se concluye que existe correlación entre las estaciones de la zona, según la prueba T student y las gráficas de doble masa, las cuales me determinan que estadísticamente no debe hacerse el proceso de corrección de las series aun cuando las curvas doble masa presenten pequeños quiebres.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Se logra concluir que la prueba de Smirnov Kolmogorov, tiene mayor variedad de distribuciones a diferencia de Chi-cuadrado debido que en esta prueba se recomienda solo la distribución de normalidad.

Se determinó que las series de cada estación no presentan cambios, lo cual es favorable ya que no se convierte en una serie artificial, esto quiere decir que no es manipulada por el analista.

Se concluye que el municipio de Toledo presenta una variedad de microclimas, en las cuales la parte sur-este es una zona cálida y el tipo de clima es ecuatorial mientras que en la parte Nor-Oeste ostenta un clima oceánico con zonas templadas.

Se identificó que el comportamiento de las precipitaciones en el municipio, es de tipo Monomodal el cual se caracteriza por tener un periodo intenso de lluvias en los meses de mayo, junio, julio y agosto; mientras que los meses de marzo, octubre y noviembre son meses de transición y los meses con menores lluvias son enero, febrero y diciembre.

Se logra concluir que en el territorio de Toledo hay una fuerte presencia del fenómeno ENSO.

Para la aplicación de la técnica de umbrales y la metodología de poisson, se requiere de una buena densidad de información de deslizamientos de más de 30 años, con la cual no

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

se contó y no se logró llevar a cabo.

Se logró determinar que la lluvia a largo plazo o lluvia acumulada, se incrementa sobre el talud al pasar de los días, jugando un factor muy importante en la desestabilización y en los deslizamientos del talud.

Finalmente se determinó las veredas que presentaron mayor afectación por los movimientos en masa las cuales son Tamara (8), vereda Sabanalarga (28) y Santa Maria.

Como recomendación, para posteriores estudios se debe contar con información confiable de movimientos en masa que tengan fechas exactas de un periodo histórico de 30 años y una buena densidad de deslizamientos para poder aplicar la metodología propuesta en este estudio.

4.3 Bibliografía

- Albentosa, S. y. (26 de 02 de 2000). *Definición de Climatología. Elementos y factores climáticos. Problemas de método*. Obtenido de <https://www.um.es/geograf/clima/tema01.html>
- AMBIENTUM. (9 de 06 de 2021). *AMBIENTUM*. Obtenido de https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/las-precipitaciones-atmosfericas.asp
- Aristizábal, E., González, T., Montoy, J. D., & Vélez, J. I. (2011). *ANÁLISIS DE UMBRALES EMPÍRICOS DE LLUVIA PARA EL PRONÓSTICO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA* . Medellín : Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Arriaga, P. (30 de octubre de 2015). *La medida de la precipitación*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/pedro-arriaga/medida-precipitacion>
- BOCANEGRA, J. E. (10 de diciembre de 2009). *ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA ASOCIADA A PROCESOS OCEANICOS Y ATMOSFÉRICOS DE MESO Y GRAN ESCALA*. Obtenido de INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM : <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+clim%C3%A1tica+de+la.pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3#:~:text=La%20variabilidad%20clim%C3%A1tica%20se%20refiere,per%C3%ADodos%20de%20tiempo%20relativamente%20cortos.&text=La%>
- Castillo, G. A. (19 de Septiembre de 2018). *EL TIEMPO*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/toledo-el-municipio-de-norte-de-santander-afectado-por-el-invierno-270574>
- Castro, L. M., & Carvajal Escobar, Y. (2010). ANÁLISIS DE TENDENCIA Y HOMOGENEIDAD DE SERIES CLIMATOLÓGICAS. *Sistema de Información Científica Redalyc* ®, 13. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434002>
- climatico, I. d. (s.f.). Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rmovmasa>
- climatico, I. d. (2021). Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rmovmasa#:~:text=Un%20movimiento%20en%20masa%20es,p or%20acci%C3%B3n%20de%20la%20gravedad.>
- COLOMBIA. (12 de 12 de 2013). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=55931>
- Colombia, B. M. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un*.
- COLOMBIA, E. C. (24 de 04 de 2012). Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Normatividad/LEY%201523%20DEL%2024%20DE%20ABRIL%20DE%202012.pdf>

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

- COLOMBIA, E. C. (24 de 04 de 2012). Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Normatividad/LEY%201523%20DEL%2024%20DE%20ABRIL%20DE%202012.pdf>
- Colombiano, Servicio Geológico. (Diciembre de 2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1: 25.000*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Council, U. W. (1981). *Guidelines for Determining Flood Flow Frequency*. EE.UU: Revised Bulletin 17B of the Hydrology Committee.
- Donoso Espejo, L. M. (s.f.). *Diagrama de cajas y bigotes*. Obtenido de http://inst-mat.otalca.cl/tem/sitiolmde/primero/guias-liceo/recuperacion/Diagrama_de_Caja_y_Bigotes-2.pdf
- Edgar Alexander Rodríguez Castiblanco, J. H. (diciembre de 2017). Servicio Geológico Colombiano. Bogotá, Colombia. Obtenido de *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1: 25.000*.
- educalindo, d. (s.f.). Obtenido de <https://educalingo.com/es/dic-es/deslizamiento>
- Estadística. (2008). Obtenido de <https://www.estadisticaparatodos.es/taller/graficas/cajas.html>
- García, E. F., Edier, A., & Marín, R. (2018). *Implementación del modelo TRIGRS con análisis de confiabilidad para la evaluación de la amenaza a movimientos en masa superficiales detonados por lluvia*. Medellín.
- Giraldo, J. S. (2019). *Estudio de la relación lluvia- deslizamientos en la ciudad de Manizales* . Bogotá : Universidad Nacional de Colombia .
- González, M. A. (s.f.). *UMBRAL EMPÍRICO DE DESLIZAMIENTO POR PRECIPITACIÓN, PARA LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN*. Obtenido de Universidad del Bío - Bío: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/810/1/Pradenas_Gonzalez_Marcela.pdf
- Graciano, S. P. (2015). Obtenido de <http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1543/1/RIUT-GDA-spa-2015-Estimaci%C3%B3n%20de%20umbrales%20de%20lluvia%20detonante%20de%20deslizamientos%20en%20las%20microcuencas.pdf>
- Graciano, S. P. (2015). *ESTIMACIÓN DE UMBRALES DE LLUVIA DETONANTE DE DESLIZAMIENTOS EN LAS MICROCUENCAS DE LOS CORREGIMIENTOS DE VILLA RESTREPO Y JUNTAS DE LA CUENCA COMBEIMA IBAGUÉ – TOLIMA*. Ibagué .
- HIDROLOGIA. (2002). Obtenido de <https://w3.ual.es/Depar/IngenRural/documentos/hidrologia2002d.pdf>
- IDEAM. (2014). Obtenido de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Precipitacion_Anual.pdf

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

- IDEAM. (2016). *CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA –IDF*. Obtenido de CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA –IDF: <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>
- IDEAM-UNAL. (2018). Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- Joel Gutiérrez Lozano*, V. V. (6 de mayo de 2011). *Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112011000300003#:~:text=El%20Periodo%20de%20Retorno%20de,M%C3%A9xico%20y%20Reason%2C%202007.
- Llano, M. A. (2015). *ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS COMO FACTOR DETONANTE PARA LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE CABAL - RISARALDA*. Manizales : Universidad de Manizales .
- Márquez, R. M. (Marzo de 2003). Obtenido de http://gfnun.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero07/07_17.pdf
- Marta. (1 de junio de 2019). *Superprof*. Obtenido de <https://www.superprof.es/apuntes/escolar/matematicas/estadistica/descriptiva/diagrama-de-barras-y-poligonos-de-frecuencias.html>
- Mayorga Marquéz, R. (2003). Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. *Meteorol. Colomb. 7 :157-168. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia., 12.*
- Ministerio de Vivienda, C. y. (19 de 09 de 2014). Obtenido de https://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2019/08/Decreto_1807_2014.pdf
- Morales, L. D., Martínez, A. C., & Huesca, A. E. (2016). *ANÁLISIS DE UMBRALES DE LLUVIA QUE DETONAN DESLIZAMIENTOS Y SUS POSIBLES APLICACIONES EN UN SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA POR INESTABILIDAD DE LADERAS* . México .
- Moreno, H. A., Vélez, M. V., Montoya, J. D., & Rhenals, R. L. (2006). La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en la escala interanual, intraanual y diaria. *EIA, ISSN 1794-1237 Número 5 p. 59-69., 59.*
- munido, C. p. (s.f.). Obtenido de <https://www.cucutanuestra.com/temas/geografia/municipios/region-sur/toledo/toledo.htm>
- Navarra.es. (s.f.). *Meteorología y climatología de Navarra*. Obtenido de <http://meteo.navarra.es/definiciones/elementosFactores.cfm>
- Ochiai, R. C. (2006). Obtenido de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1029/WM018>
- Pérez, G. (s.f.). *Ciclo Hidrológico .com*. Obtenido de <https://www.ciclohidrologico.com/precipitacion>

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

- PLANEACIÓN, S. D. (2011). Obtenido de <http://www.sdp.gov.co/transparencia/marco-legal/normatividad/ley-1454-de-2011>
- PMGRD. (26-28 de noviembre de 2014-2019). Plan municipal para la gestión de riesgo y desastres Toledo Norte de Santander. *Plan municipal para la gestión de riesgo y desastres*. Toledo, Colombia, Norte de Santander.
- Portillo, G. (s.f.). *Meteorología en red*. Obtenido de https://www.meteorologiaenred.com/climogramas.html#Caracteristicas_de_un_climograma
- Pradenas González, M. A. (2013). UMBRAL EMPÍRICO DE DESLIZAMIENTO POR PRECIPITACIÓN, PARA LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN. Concepción, Chile: Universidad del Bío-Bío sistema de bibliotecas-Chile.
- R, C., & González, A. (1996). *Relaciones entre la Lluvia Anual y la Lluvia Crítica que Dispara Movimientos en Masa*. Bogotá .
- Ramírez, C. C. (2015). Obtenido de ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DE EVENTOS EXTREMOS EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ CONSIDERANDO LAS FASES DEL ENSO: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2926/2015christianorozco.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Ramos Cañón, A. M., Trujillo Vela, M. G., & Prada Sarmiento, L. F. (2015). Niveles umbrales de lluvia que generan deslizamientos: una revisión crítica. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 80.
- REPÚBLICA, D. A. (11 de 09 de 2013). Obtenido de <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/leyes/Documents/Juridica/DECRETO%201974%20DE%202013.pdf>
- SGC. (2017). Guía Metodológica para la Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masas a Escala 1:25.000. En S. G. Colombiano. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Silva Sarquez, L. L., & Acevedo Prada, C. (1998). Obtenido de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>
- Suarez Diaz, J. (julio de 1998). *DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES*. Obtenido de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>
- TERRITORIALES, S. N. (2001). Obtenido de <https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00001/doc00001-seccion%20j%202.pdf>
- Toledo.svg, C. -N. (23 de 05 de 2012). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Toledo_\(Norte_de_Santander\)#/media/Archivo:Colombia_-_Norte_de_Santander_-_Toledo.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Toledo_(Norte_de_Santander)#/media/Archivo:Colombia_-_Norte_de_Santander_-_Toledo.svg)

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

UN, A. d. (17 de julio de 2020). *Unimedios* . Obtenido de <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/regimen-de-lluvias-unimodal-predomina-en-colombia.html>

València, G. d. (2010). *innoVAMIDE*. Obtenido de https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0802A.pdf

ANEXOS

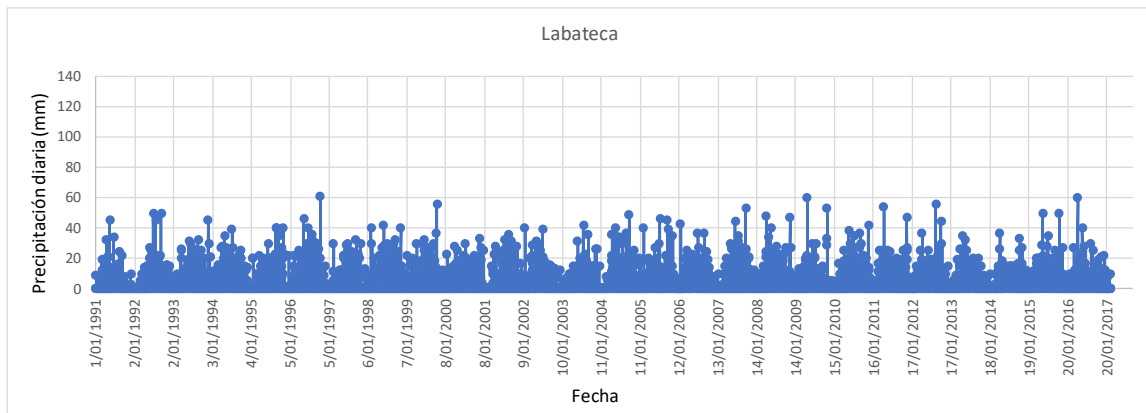
ANEXO 1 – A: GRÁFICAS DE SERIES DE TIEMPO DE PRECIPITACIÓN

DIARIA (mm)

A continuación, se presentan las gráficas de series de tiempo de precipitaciones diarias (mm) de las 8 estaciones de análisis

Figura 1.

PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN LABATECA (1991-2018)

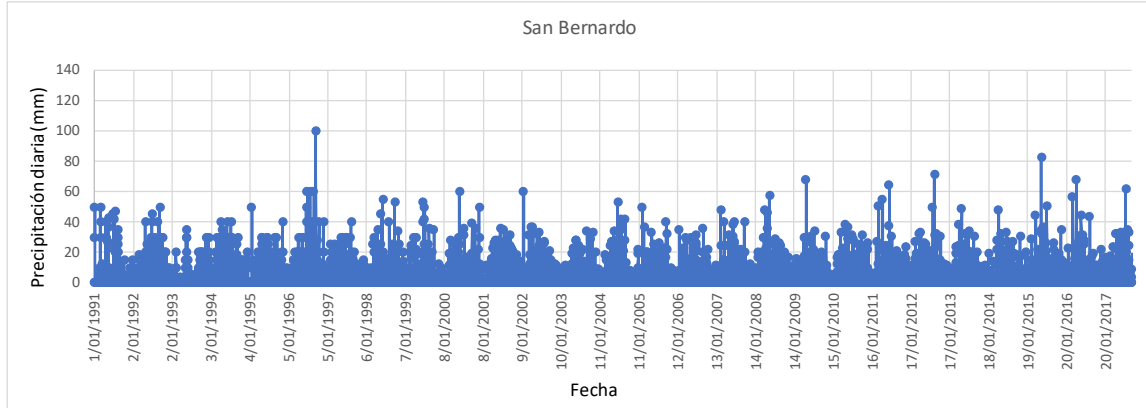


Fuente: propia, 2021.

Figura 2.

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

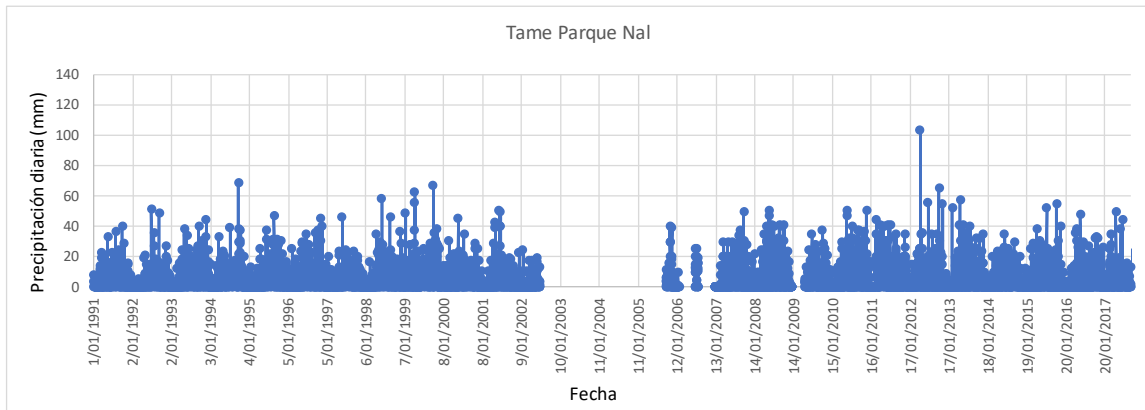
PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN SAN BERNARDO (1991-2018)



Fuente: propia, 2021.

Figura 3.

PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN TAMA PARQUE NACIONAL (1991-2018)

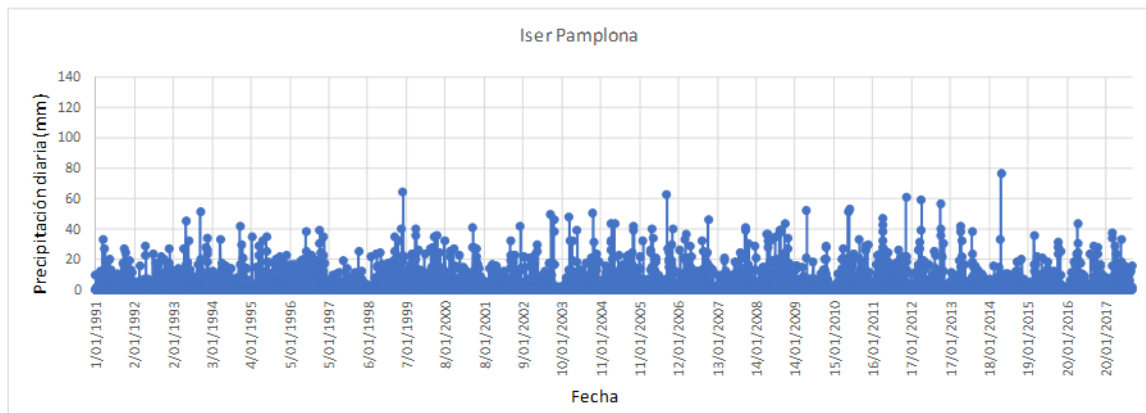


ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Figura 4.

PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN ISER PAMPLONA (1991-2018)

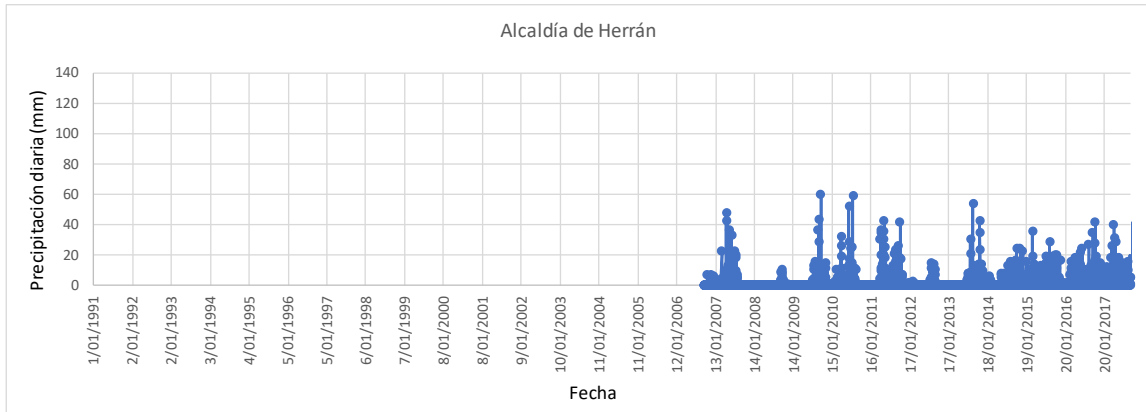


Fuente: propia, 2021.

Figura 5.

PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN ALCALDÍA DE HERRÁN (2007-2018)

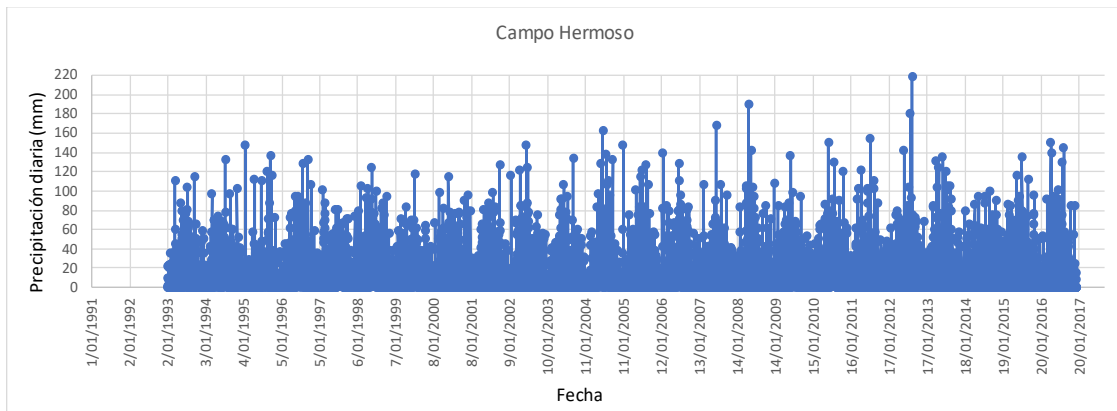
ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

Figura 6.

PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN CAMPO HERMOSO (1993-2018)

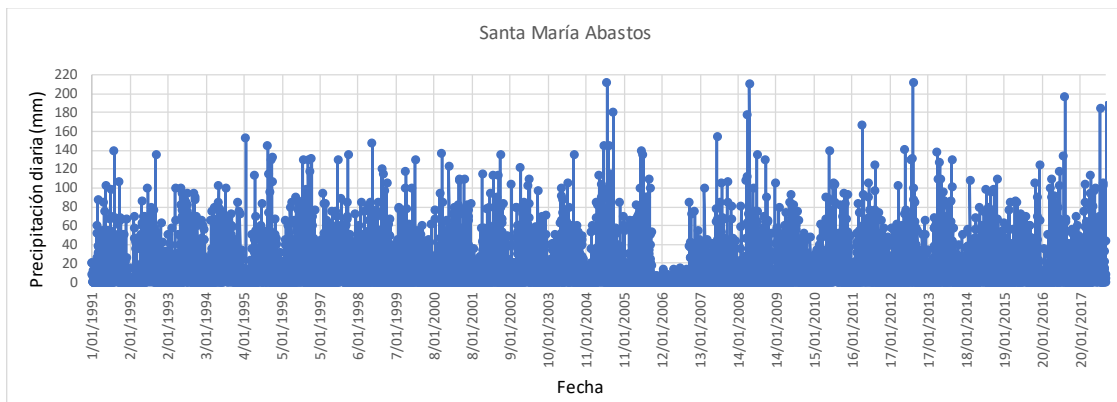


ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER

Fuente: propia, 2021.

Figura 7.

PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN SANTA MARÍA ABASTOS (1991-2018)

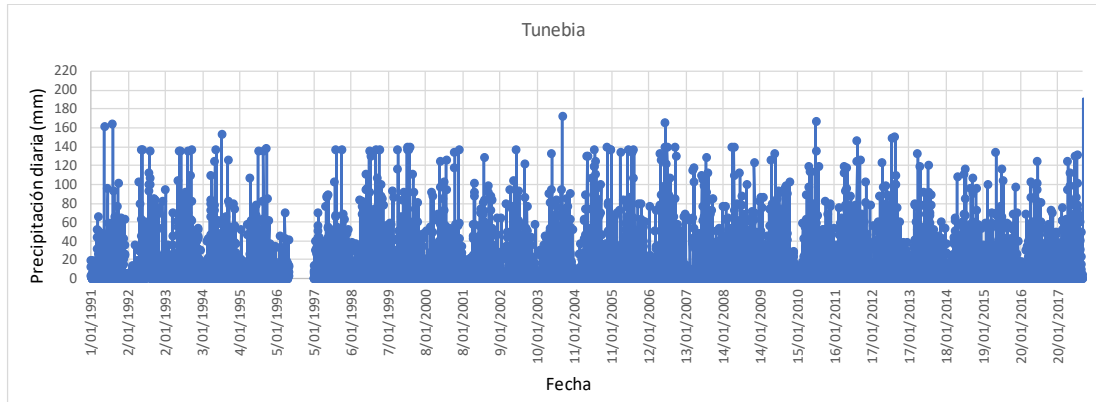


Fuente: propia, 2021.

Figura 8.

PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) DE LA ESTACIÓN TUNEBA (1991-2018)

ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR CAUSANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA, EN EL MUNICIPIO DE TOLEDO- NORTE DE SANTANDER



Fuente: propia, 2021.

ANEXO 1 – B: DIAGRAMAS DE CAJA Y ESTADÍSTICAS DE PRECIPITACIONES MENSUALES

A continuación, se presentan las estadísticas principales y el respectivo diagrama de caja para las 8 estaciones definidas para el análisis hidrológico de Toledo. Cada tabla contiene el valor mínimo y máximo de la serie de precipitaciones mensuales, la mediana y la media, por último, el 1° cuartil o percentil 25(%) y el 3° cuartil o percentil 75(%).

Estación Labateca

Tabla 1.

ESTADÍSTICA ESTACIÓN LABATECA

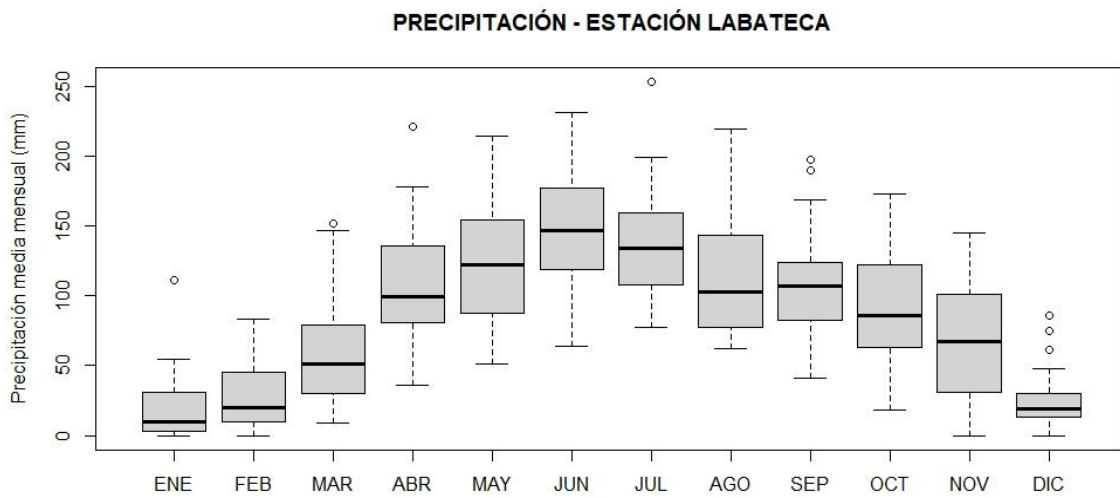
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Mínimo | 0,0 | 0,0 | 9,0 | 36,0 | 51,0 | 64,0 | 77,0 | 62,0 | 41,0 | 18,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1°Cuartil | 3,0 | 10,0 | 30,5 | 81,0 | 87,5 | 118,5 | 107,5 | 77,5 | 82,5 | 63,1 | 31,0 | 13,0 |
| Mediana | 10,0 | 20,0 | 51,0 | 99,0 | 122,0 | 147,0 | 134,0 | 103,0 | 107,0 | 86,0 | 67,0 | 19,0 |
| Media | 20,8 | 27,2 | 57,9 | 106,1 | 123,3 | 148,8 | 137,2 | 114,9 | 107,7 | 93,3 | 67,2 | 25,8 |
| 3°Cuartil | 30,5 | 44,8 | 79,0 | 135,5 | 154,5 | 177,0 | 159,0 | 143,0 | 123,5 | 122,5 | 101,0 | 30,0 |

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|--------|-----------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| Máxima | 111, 0 | 83,0 | 152, 0 | 221, 3 | 214, 0 | 231, 0 | 253, 0 | 219, 0 | 197, 0 | 173, 0 | 145, 0 | 86,0 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 1.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN LABATECA



Fuente: propia, 2021.

Para la estación Labateca, posee valores máximos absolutos para el mes de julio

253 mm y junio con 231 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de junio con un valor de 147 mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 118,5 mm y el tercer cuartil con un valor de 177 mm siendo el 75% de la precipitación.

Estación Alcaldía de Herrán

Tabla 2.

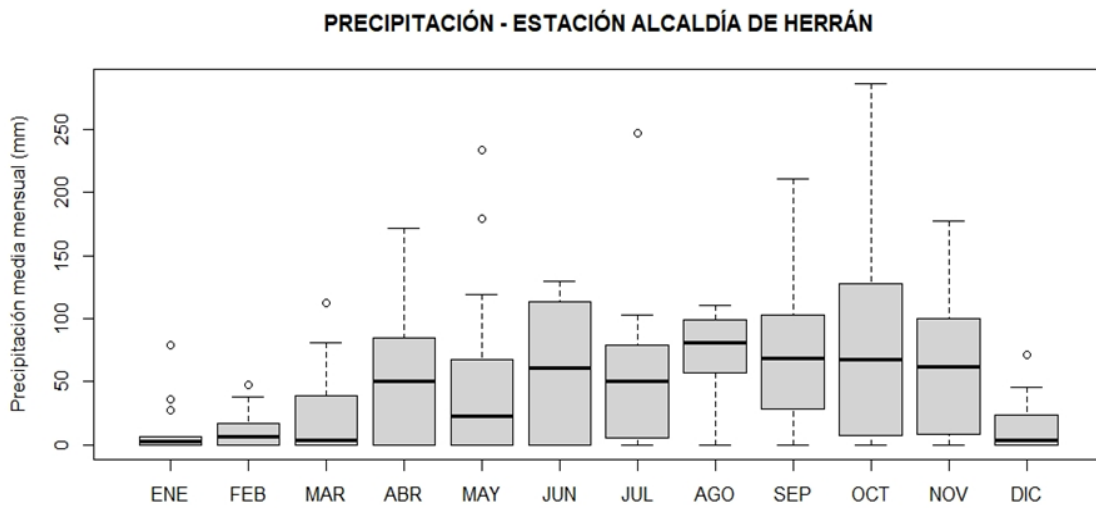
ESTADÍSTICAS DE LA ESTACIÓN ALCALDÍA DE HERRÁN.

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Mínimo | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1°Cuartil | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 5,8 | 56,5 | 28,5 | 7,0 | 8,2 | 0,0 |
| Mediana | 2,8 | 5,9 | 3,10 | 49,9 | 22,2 | 60,3 | 50,3 | 80,9 | 68,8 | 67,2 | 61,4 | 3,3 |
| Media | 12,4 | 12,6 | 28,7 | 53,7 | 56,1 | 58,4 | 59,6 | 69,7 | 69,5 | 89,0 | 58,8 | 17,1 |
| 3°Cuartil | 6,5 | 16,7 | 39,2 | 84,4 | 67,7 | 113,3 | 78,6 | 99,1 | 102,6 | 127,3 | 100,3 | 23,7 |
| Máxima | 79,2 | 47,7 | 112,3 | 171,4 | 234,0 | 129,8 | 246,6 | 110,2 | 210,6 | 285,9 | 176,8 | 71,4 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 2.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN ALCALDÍA HERRÁN



Fuente: propia, 2021.

Para la estación Alcaldía de Herrán, posee valores máximos absolutos para el mes de octubre 285,9 mm y julio con 246,6 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses del año. Para la máxima mediana se produjo en el mes de Agosto con un valor de 80,9mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 56,5 mm y el tercer cuartil con un valor de 99,1 mm siendo el 75% de la precipitación.

Estación Campo Hermoso

Tabla 3.

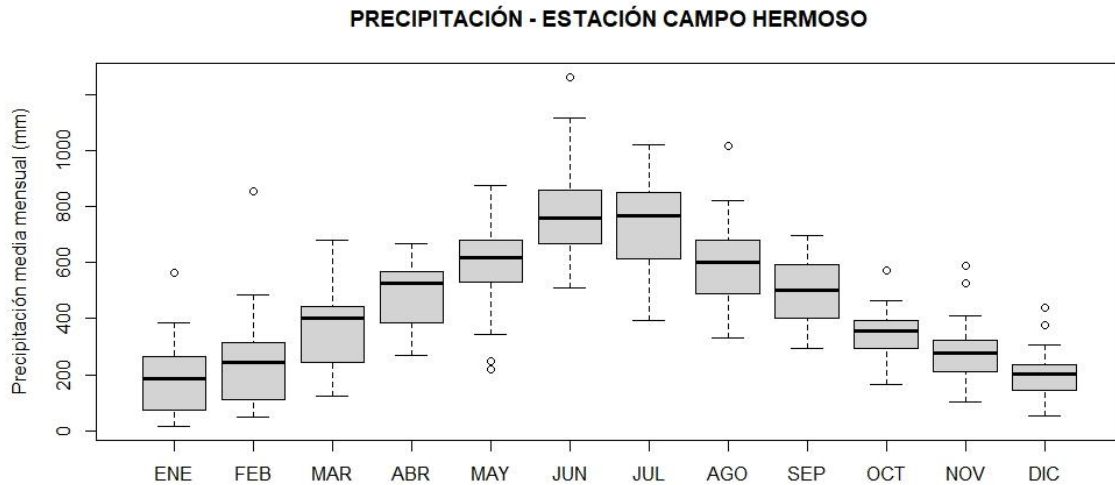
Estadística de la Estación Campo Hermoso

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| Mínimo | 17,0 | 49,0 | 123,0 | 267,0 | 218,0 | 511,0 | 392,0 | 331 | 294,0 | 164,0 | 102,0 | 53,0 |
| 1°Cuartil | 73,0 | 112,0 | 245,0 | 385,0 | 531,0 | 667,0 | 613,0 | 491 | 400,0 | 292,0 | 210,0 | 144,0 |
| Mediana | 186,0 | 245,0 | 401,0 | 526,0 | 618,0 | 759,0 | 770,0 | 601 | 502,0 | 358,0 | 277,0 | 204,0 |
| Media | 186,3 | 256,8 | 373,4 | 480,3 | 591,9 | 790,9 | 743,5 | 604 | 493,1 | 338,8 | 280,4 | 202,3 |
| 3°Cuartil | 265,0 | 315,0 | 443,2 | 569,0 | 679,0 | 858,00 | 851,0 | 680 | 592 | 392,0 | 323,0 | 234,0 |
| Máxima | 563,0 | 854,0 | 680,0 | 669,0 | 876,0 | 1262,0 | 1021,0 | 1019 | 698,0 | 572,0 | 591,0 | 440,0 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 3.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN CAMPO HERMOSO



Fuente: propia, 2021.

Para la estación Campo Hermoso, posee valores máximos absolutos para el mes de Junio 1262 mm y julio con 1021 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de julio con un valor de 770 mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 613 mm y el tercer cuartil con un valor de 851 mm siendo el 75% de la precipitación.

Estación Iser Pamplona

Tabla 4.

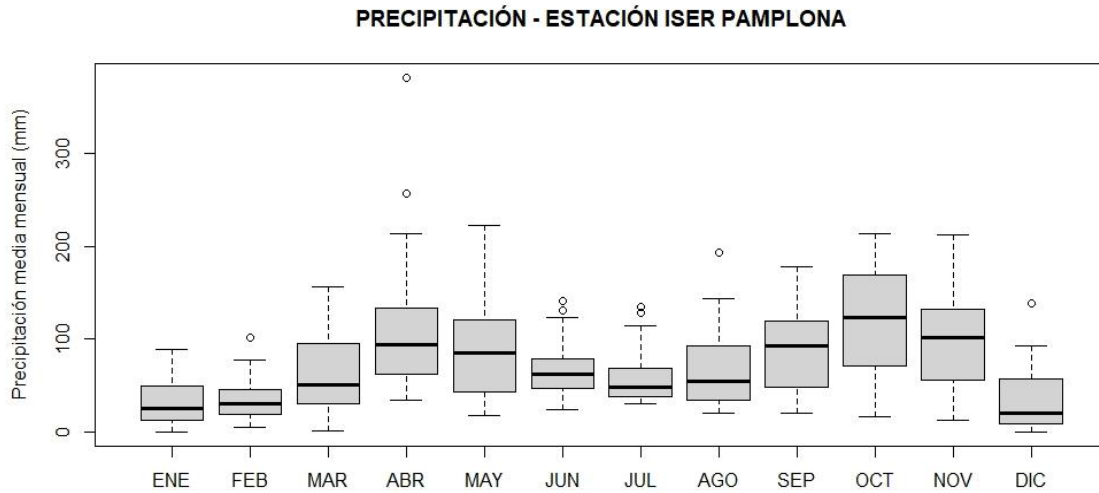
ESTADÍSTICAS ESTACIÓN ISER PAMPLONA

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mínimo | 0,6 | 4,6 | 1,8 | 34,0 | 17,8 | 24,6 | 30,0 | 20,7 | 19,8 | 16,9 | 12,3 | 0,7 |
| 1°Cuartil | 13,0 | 19,7 | 31,2 | 62,9 | 43,8 | 46,9 | 38,3 | 34,3 | 48,5 | 74,0 | 57,1 | 9,7 |
| Mediana | 25,6 | 30,1 | 51,1 | 93,6 | 85,8 | 62,5 | 48,2 | 54,5 | 93,5 | 123,7 | 101,3 | 20,1 |
| Media | 31,4 | 34,2 | 66,3 | 110,7 | 97,7 | 66,5 | 57,0 | 67,2 | 87,3 | 123,1 | 102,9 | 34,1 |
| 3°Cuartil | 47,5 | 45,8 | 93,7 | 131,6 | 118,8 | 77,5 | 67,9 | 91,7 | 119,5 | 168,6 | 130,3 | 53,5 |
| Máxima | 89,5 | 102,1 | 156,7 | 381,2 | 222,1 | 141,3 | 134,4 | 193,4 | 177,5 | 213,4 | 212,1 | 138,8 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 4.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN ISER PAMPLONA



Fuente: propia, 2021.

Para la estación ISER, posee valores máximos absolutos para el mes de Abril 381,2mm y mayo con 222,1mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de octubre con un valor de 123,7 mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 74 mm y el tercer cuartil con un valor de 168,6 mm siendo el 75% de la precipitación.

Estación San Bernardo

Tabla 5.

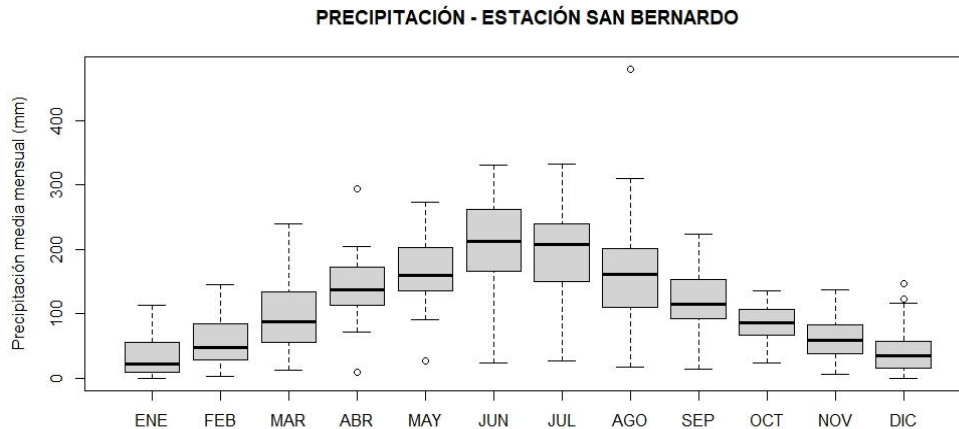
ESTADÍSTICAS ESTACIÓN SAN BERNARDO.

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mínimo | 0,00 | 3,00 | 12,9 | 8,9 | 27,0 | 22,8 | 27,3 | 17,8 | 14,0 | 23,0 | 6,0 | 0,0 |
| 1°Cuartil | 8,9 | 29,5 | 56,5 | 113,8 | 136,5 | 167,2 | 150,3 | 112,3 | 93,0 | 68,0 | 38,8 | 16,8 |
| Mediana | 22,1 | 47,4 | 87,0 | 137,4 | 160,4 | 213,0 | 208,1 | 161,7 | 115,5 | 86,4 | 58,9 | 35,0 |
| Media | 32,0 | 54,2 | 95,0 | 138,5 | 165,9 | 208,8 | 198,1 | 167,6 | 120,3 | 85,7 | 61,6 | 43,5 |
| 3°Cuartil | 53,2 | 82,2 | 133,3 | 171,5 | 203,2 | 261,8 | 238,1 | 200,4 | 152,2 | 106,6 | 81,5 | 55,2 |
| Máxima | 112,7 | 145,0 | 240,0 | 295,0 | 274,0 | 332,0 | 333,0 | 480,0 | 223,4 | 135,0 | 138,0 | 147,0 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 5.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN SAN BERNARDO



Fuente: propia, 2021.

Para la estación San Bernardo, posee valores máximos absolutos para el mes de Agosto 480 mm y julio con 333 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de junio con un valor de 213 mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 167,2 mm y el tercer cuartil con un valor de 261,8 mm siendo el 75% de la precipitación.

Estación Santa María

Tabla 6.

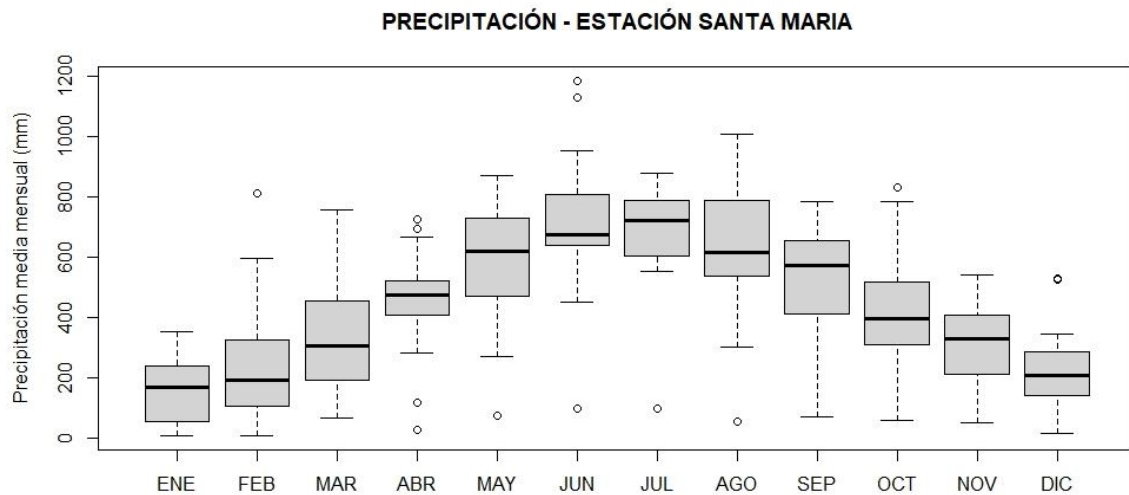
Estadística Estación Santa Maria

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Mínimo | 9,00 | 8,8 | 66,0 | 25,6 | 72,5 | 95,8 | 96,2 | 55,6 | 69,7 | 58,4 | 52,2 | 14,2 |
| 1°Cuartil | 61,55 | 106,7 | 192,5 | 411,2 | 472,0 | 640,1 | 601,8 | 538,0 | 418,4 | 314,0 | 211,8 | 143,5 |
| Mediana | 166,20 | 193,1 | 306,2 | 474,4 | 617,1 | 674,5 | 721,6 | 614,0 | 571,9 | 394,7 | 328,1 | 208,0 |
| Media | 160,91 | 230,9 | 330,6 | 462,4 | 576,0 | 716,5 | 683,7 | 630,1 | 542,0 | 431,2 | 314,8 | 220,8 |
| 3°Cuartil | 224,50 | 310,8 | 440,5 | 521,3 | 725,2 | 795,6 | 785,4 | 774,2 | 640,8 | 513,0 | 405,8 | 275,4 |
| Máxima | 351,80 | 810,0 | 755,6 | 726,0 | 869,2 | 1182,0 | 879,0 | 1006,4 | 785,0 | 832,0 | 541,8 | 530,2 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 6.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN SANTA MARÍA



Fuente: propia, 2021.

Para la estación Santa Maria, posee valores máximos absolutos para el mes de junio 1182 mm y agosto con 1006,4 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de julio con un valor de 721,6 mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 601,8 mm y el tercer cuartil con un valor de 785,4 mm siendo el 75% de la precipitación.

Estación Tama Parque Nal

Tabla 7.

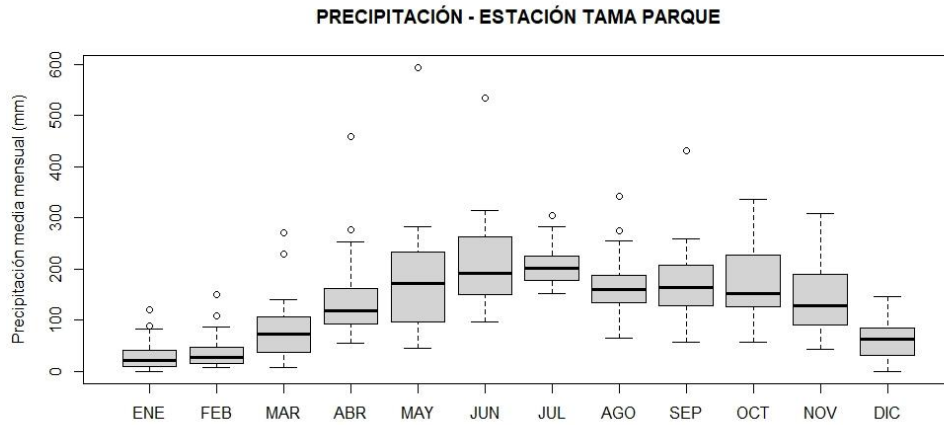
ESTADÍSTICAS ESTACIÓN TAMA

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Mínimo | 0,00 | 7,00 | 6,60 | 55,7 | 44,90 | 97,2 | 150,9 | 65,4 | 57,0 | 57,3 | 43,00 | 0,00 |
| 1°Cuartil | 10,55 | 15,50 | 37,55 | 91,7 | 99,22 | 149,4 | 180,1 | 133,8 | 127,3 | 127,8 | 93,42 | 31,62 |
| Mediana | 20,80 | 26,20 | 72,80 | 118,3 | 170,90 | 190,6 | 201,1 | 159,8 | 164,0 | 152,8 | 128,05 | 62,65 |
| Media | 31,25 | 38,39 | 83,07 | 145,6 | 180,48 | 209,6 | 207,4 | 170,5 | 174,3 | 176,9 | 137,39 | 63,11 |
| 3°Cuartil | 38,52 | 46,00 | 106,40 | 161,9 | 231,65 | 260,5 | 224,1 | 187,6 | 206,8 | 222,1 | 189,18 | 83,97 |
| Máxima | 120,10 | 149,20 | 271,40 | 459,2 | 593,50 | 534,6 | 304,8 | 342,5 | 431,3 | 336,0 | 308,30 | 145,6 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 7.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN TAMA PARQUE



Fuente: propia, 2021.

Para la estación Tama Parque, posee valores máximos absolutos para el mes de Mayo 593,5 mm y junio con 534,6 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de julio con un valor de 201,1 mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 180,1 mm y el tercer cuartil con un valor de 224,1 mm siendo el 75% de la precipitación.

Estación Tunebia

Tabla 8.

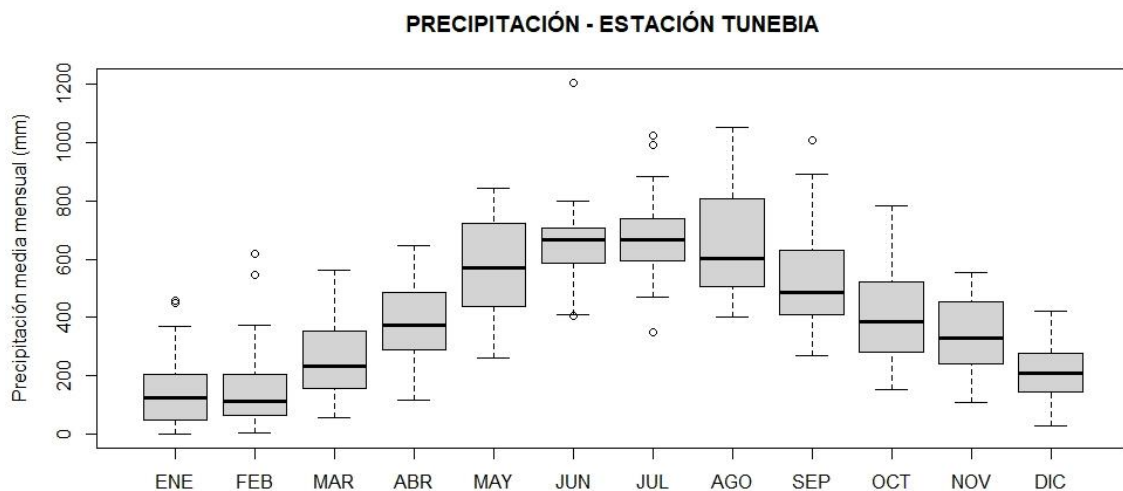
ESTADÍSTICA ESTACIÓN TUNEBA

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Mínimo | 2,6 | 4,40 | 57,0 | 116,5 | 261,7 | 406,0 | 351,5 | 401,5 | 270,1 | 154,2 | 110,6 | 29,6 |
| 1°Cuartil | 51,4 | 67,0 | 164,4 | 289,6 | 439,8 | 587,1 | 594,6 | 506,4 | 408,5 | 283,4 | 242,3 | 145,4 |
| Mediana | 123,6 | 112,2 | 232,2 | 375,5 | 572,0 | 666,5 | 664,8 | 601,8 | 485,0 | 383,8 | 329,4 | 208,5 |
| Media | 154,1 | 165,0 | 270,6 | 383,6 | 570,6 | 653,4 | 681,4 | 654,0 | 528,1 | 414,0 | 342,4 | 214,4 |
| 3°Cuartil | 201,8 | 205,4 | 345,5 | 479,3 | 724,3 | 707,7 | 736,5 | 808,5 | 630,8 | 520,9 | 453,4 | 276,6 |
| Máxima | 458,0 | 617,0 | 562,8 | 646,3 | 843,0 | 1202,7 | 1023,7 | 1050,4 | 1005,4 | 782,1 | 552,2 | 420,4 |

Fuente: propia, 2021.

Figura 8.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL ESTACIÓN TUNEBA



Fuente: propia, 2021.

Para la estación Tunebia, posee valores máximos absolutos para el mes de Junio 1202,7 mm y agosto con 1050,4 mm, los valores mínimos absolutos corresponden a los meses de enero, febrero y diciembre. Para la máxima mediana del año se produjo en el mes de junio con un valor de 66,5mm, la cual me representa en el primer cuartil el 25% de precipitación con un valor de 587,1 mm y el tercer cuartil con un valor de 707,7 mm siendo el 75% de la precipitación.