

CONCEPTO TÉCNICO HIDROLÓGICO DEL DESLIZAMIENTO EN EL BARRIO GONZÁLEZ.


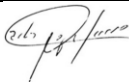
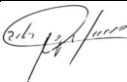
Revisión	Modificaciones				Fecha	
0	Creación del documento.					
Elaboración -Revisión -Aprobación						
Revisión	Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
	Nombre	Firma	Nombre	Firma	Nombre	Firma
0	LMC		CAL		CAL	

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo General.	7
2.2 Objetivos Específicos.	7
3. LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA.	7
4. CONTEXTO.....	9
4.1 Registro Fotográfico.	12
4.1.1 Fotos de la zona antes del deslizamiento.	12
4.1.2 Fotos de la zona después del deslizamiento.	13
4.1.3 Fotos de la zona actualmente.	14
5. COMPONENTE SOCIODEMOGRÁFICO.	16
5.1 Reseña Histórica de la Ciudad de Manizales.	16
5.2 Un Poco Sobre el Barrio González.....	18
6. COMPONENTE GEOMORFOLOGICO.....	18
6.1 Condiciones Geológicas.....	18
6.2 Condiciones Geomorfológicas.....	23
6.3 Condiciones de Susceptibilidad, Amenaza y Riesgo por movimientos en Masa en el Sector del Barrio González.....	26
7. CAMBIO CLIMATICO Y ALERTAS TEMPRANAS IDEAM.....	30
7.1 Precipitaciones Diarias Mayores a 100 mm que se han presentado en los últimos 20 años en la ciudad de Manizales.	38
8. COMPONENTE HIDROLOGICO.....	39
8.1 Aguas Lluvias.....	40
8.1.1 Aguas de escorrentía.....	40
8.1.2 Saturación por precipitación directa.	42
9. OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO QUE PUDIERON EJECUTARSE EN LA ZONA DEL BARRIO GONZÁLEZ.	50
10. CONCLUSIONES.....	54
11. BIBLIOGRAFIA.	55

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Ubicación del barrio González en la ciudad de Manizales. Fuente: Google Earth.....	8
Ilustración 2. Esquema representativo de ubicación y antecedentes de inestabilidad en la ladera del barrio González.....	11
Ilustración 3. Registro fotográfico perteneciente al barrio González en el año 2012. Nótese en la zona superior a la primera casa las cicatrices de movimientos anteriores. Fuente: Google Earth.	13
Ilustración 4. Registro fotográfico del deslizamiento de la ladera en el barrio González. Fuente: Recopilación fotográfica por parte de los afectados.	14
Ilustración 5. Registro fotográfico perteneciente al barrio González en el año 2022. Fuente: Propia.....	16
Ilustración 6. Vista panorámica de Manizales. Al centro, la entonces reciente Catedral Basílica de la ciudad, años 30 del siglo XX. Fuente: Foto digital Universidad de Caldas.	18
Ilustración 7. Geología de la plancha 206, donde se involucra gran parte del departamento de Caldas. Fuente: INGEOMINAS.....	19
Ilustración 8. Ampliación de la plancha 206 en el sector de Manizales. Fuente: INGEOMINAS.....	20
Ilustración 9. Mapa geológico de la cuenca del río Chinchiná. Fuente: Villanueva, 2009.....	20
Ilustración 10. Ampliación en el sector de Manizales del mapa de Villanueva. Fuente: Villanueva, 2009.....	21
Ilustración 11. Fotos aéreas (029-030-031) del vuelo C434, a escala 1:35.000, del año 1946; mostrando las fallas geológicas de la sección de la ladera Norte del río Chinchiná, que incluyen el barrio González. Fuente: Osorio y Zuluaga, 2003.	22
Ilustración 12. Fotografías aéreas del vuelo C-378 de 1944, escala 1:30.000 (fotos 318,319 y 320).	23
Ilustración 13. Fotos áreas donde se muestran los drenajes de la sección de la ladera Norte del río Chinchiná.....	24
Ilustración 14. Fotografía área de Manizales en el año 1946, del vuelo C 434, escala 1:35000.....	24
Ilustración 15. Fotografía área de Manizales en el año 1964, del vuelo C 1250, escala 1:10000.....	25
Ilustración 16. Fotografía área de Manizales en el año 1975, del vuelo C 1581, escala 1:8000.....	25
Ilustración 17. Fotografía área de Manizales en el año 1987, del vuelo C 2276, escala 1:9000.....	25
Ilustración 18. Fotografía área de Manizales en el año 1993, del vuelo C 2515, escala 1:8000.....	26

Ilustración 19. Mapa de amenaza y riesgo de deslizamiento en la ciudad de Manizales. Fuente: SIG Manizales.	28
Ilustración 20. Localización y delimitación del barrio González. Fuente: SIG Manizales.	29
Ilustración 21. Mapa de amenaza para la zona donde se presentó el deslizamiento en el barrio González. Fuente: SIG Manizales.	29
Ilustración 22. Mapa de riesgo para la zona donde se presentó el deslizamiento en el barrio González. Fuente: SIG Manizales.	30
Ilustración 23. Cronología de todos los episodios de La Niña entre 1900 y 2020. Fuente: Climate Prediction Center.	31
Ilustración 24. Alteraciones más probables de la precipitación, durante el segundo trimestre del año en presencia de un fenómeno típico de La Niña. Fuente: IDEAM.	32
Ilustración 25. Precipitación total anual (mm) en el departamento de Caldas. Fuente: IDEAM.	34
Ilustración 26. Precipitación media total anual. Fuente: IDEAM.	35
Ilustración 27. Hietograma de precipitación anual mensual en la ciudad de Manizales. Fuente: IDEAM.	35
Ilustración 28. Ubicación de la región andina en el mapa de Colombia. Fuente: Google	36
Ilustración 29. Incremento porcentual de la precipitación en Caldas según boletín del IDEAM. Fuente: IDEAM.	37
Ilustración 30. Ubicación de obras de estabilidad en la zona del deslizamiento. Fuente: Elaboración propia por medio de Google Earth.	40
Ilustración 31. Área aferente para cálculo de caudal. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.	41
Ilustración 32. Ciclo del agua. Fuente: Google	43
Ilustración 33. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la ciudad de Manizales. Fuente: SIMAC.	44
Ilustración 34. Esquema del comportamiento del suelo según los límites de Atterberg. Fuente: Google.	48
Ilustración 35. Acequia de ladera. Fuente: Google.	50
Ilustración 36. El tratamiento de una ladera con taludes separados por canales que permiten el ordenamiento de las de escorrentía y freáticas. Fuente: Carlos E. Escobar P.	52
Ilustración 37. Tratamiento típico con zanjas colectoras. Fuente: Carlos E. Escobar P.	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de territorios afectados por lluvias excesivas en el año 2011. Fuente: IDEAM, 2011.....	33
Tabla 2. Cambios porcentuales en la precipitación (%) con su incertidumbre (%) proyectados por el ensamble multiescenario para los departamentos de Colombia. Fuente: IDEAM.....	34
Tabla 3. Proyección estimada de aumento de la precipitación a razón del cambio climático en Colombia. Fuente: IDEAM.	37
Tabla 4. Fechas donde se han presentado precipitaciones mayores a 100 mm en la ciudad de Manizales. Fuente: Elaboración propia mediante datos del IDEA.	38
Tabla 5. Datos iniciales para el cálculo del caudal. Fuente: Elaboración propia. .	42
Tabla 6. Registro de lluvias diarias para la estación Hospital de Caldas para el año 2016. Fuente: SIMAC.....	45
Tabla 7. Registro de lluvias diarias para la estación Hospital de Caldas para el año 2017. Fuente: SIMAC.....	46
Tabla 8. Acumulado de lluvias años 2016 y 2017. Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos SIMAC.....	47
Tabla 9. Parámetros geotécnicos en la ciudad de Manizales. Fuente: Estudio de la relación lluvia-deslizamientos en la ciudad de Manizales.	47
Tabla 10. Balance hídrico. Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 11. Estructuras propuestas. Fuente: Elaboración propia.	53

GLOSARIO

Falla geológica: una falla es una discontinuidad que se forma debido a la fractura de grandes bloques de rocas en la Tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas.

Orden de los cauces: El orden de las corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación dentro de una cuenca. Esta clasificación se caracteriza teniendo en cuenta que mayor grado de ramificación se tiene un mayor número de drenajes. Por ejemplo, una cuenca con orden 6, indica un drenaje máximo de clasificación de este orden, el cual no tiene más afluentes directos a este.

- En este caso, el drenaje aferente a la zona de estudio corresponde a un orden 5, el cual indica directamente que este no tiene más afluentes y este vierte directamente a la Quebrada Guamal, este al río Chinchiná, seguidamente este al río Cauca y por último al río Magdalena, siendo este el afluente principal el cual desemboca finalmente al mar Caribe.

Cauce: lecho de un arroyo o de un río, es decir, la depresión del terreno que contiene el agua. Puede decirse que el cauce es el lugar físico donde fluye el agua en su curso, entre las orillas o riberas.

Morfometría: el estudio de las características físicas de una cuenca hidrográfica, y su mayor utilidad está dada en el análisis que permite desarrollar respecto a la red de drenaje de la misma, los grados de pendiente y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos que le confieren dichos atributos.

Drenaje natural: Es toda estructura, natural o artificial, que facilitan el escurrimiento y evita el almacenamiento del agua en una zona particular

1. INTRODUCCIÓN.

En la madrugada del 19 de abril de 2017 en la ciudad de Manizales, se presentaron varios deslizamientos en los que resultaron afectados numerosos barrios, dentro de los que se encuentra el barrio González, objeto del presente estudio. Dentro de las razones fundamentales, que se identifican para la ocurrencia del evento, se encuentra el poco o nulo refuerzo geotécnico, el inadecuado manejo de aguas lluvias, la indebida mitigación del riesgo y los eventos pluviométricos ocurridos.

En el barrio González específicamente, se presentó el deslizamiento de una ladera; el que causó la destrucción total de cuatro viviendas ubicadas en la parte baja del talud en cuestión. En consecuencia, el presente informe pretende realizar una recopilación histórica y técnica con el fin de tener un fundamento estructurado, con base en la hidrología para determinar y establecer a ciencia cierta, cual fue la causa directa y determinante que produjo el deslizamiento del talud en el barrio González.

2. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo General.

Realizar de manera clara y objetiva el análisis hidrológico en la zona del deslizamiento ubicado en el barrio González en la ciudad de Manizales, teniendo así las bases teóricas y técnicas de modo que se pueda esclarecer lo sucedido el día 19 de abril del 2017.

2.2 Objetivos Específicos.

- Establecer y conocer a profundidad en un ámbito hidrológico, las causas directas de la desestabilización del talud ubicado en el barrio González, teniendo en cuenta el concepto de balance hídrico y saturación del terreno.
- Recopilar de manera fotográfica el estado de la ladera con el paso de los años, de modo que se pueda establecer los cambios morfométricos y geológicos de la zona.
- Obtener los datos de precipitación entre el periodo del 18 de abril del 2016 al 19 de abril del 2017 mediante las estaciones pluviométricas del IDEAM, esto con el fin de realizar un análisis pluviométrico y mirar la incidencia de este en la zona del deslizamiento.

3. LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA.

El barrio González está ubicado en la zona urbana de la ciudad de Manizales. Manizales es un municipio colombiano, capital del departamento de Caldas. Está

ubicado en el centro occidente de Colombia en el eje cafetero, sobre la Cordillera Central de los Andes, cerca del Nevado del Ruiz. Tiene una población de 454,077 habitantes (2022). Es la región más poblada y competitiva del departamento con un aporte del 68% de su PIB total. Está situada a una altura de 2153 msnm. El relieve de la ciudad es especialmente montañoso. Por su ubicación geográfica, en Manizales se pueden disfrutar diversos paisajes, tales como nevados, volcanes, bosques, montañas y valles. La superficie del municipio es de 508 km². A continuación, se detalle la ubicación del barrio González en la ciudad de Manizales.

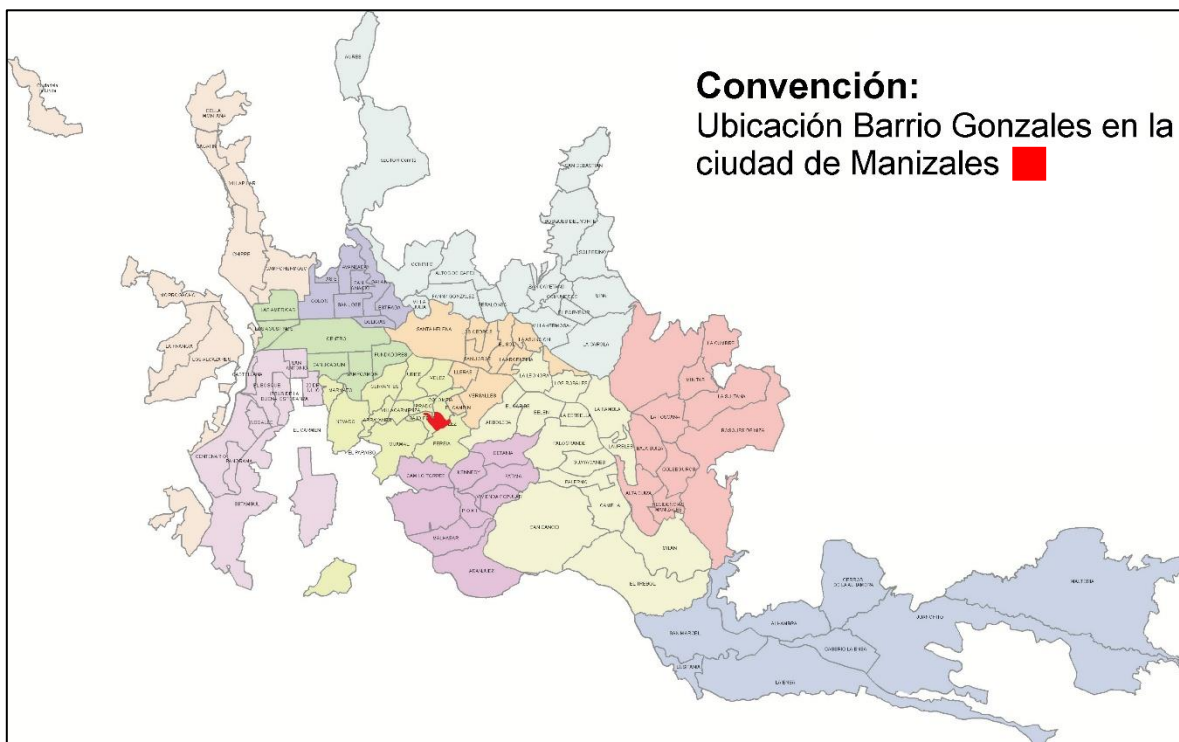
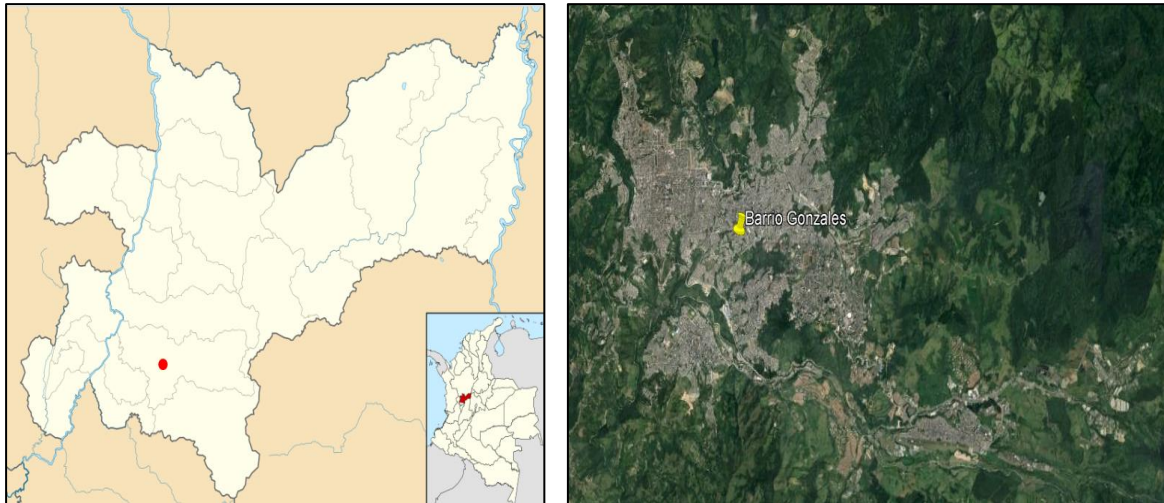


Ilustración 1. Ubicación del barrio González en la ciudad de Manizales. **Fuente:** Google Earth.

4. CONTEXTO.

El día 19 de abril del 2017 en el barrio González de la ciudad de Manizales, se presentó el deslizamiento de una ladera, que ocasiono la destrucción de 4 viviendas ubicadas en la parte baja del talud, afectando así también el paso peatonal y vehicular de la vía situada a un costado de las casas mencionadas con anterioridad. Tanto los dueños de las viviendas como la acción comunal en plena facultad de sus derechos presentaron en continuas ocasiones al ente competente, oficios y quejas con el fin de que se realizaran visitas técnicas de modo que se tuviera presente el estado del talud en toda su extensión y presentar también la preocupación por parte de los residentes el alto nivel de riesgo presente por el poco control de las aguas lluvias. Como respuesta por parte de CORPOCALDAS se obtuvo las siguientes observaciones:

- “El talud ubicado en la parte posterior de la vivienda no muestra signos de inestabilidad a pesar de la falta de sistemas de manejo de aguas lluvias; además se puede observar la alta saturación del suelo.”¹
- “A un costado de la vivienda se encuentra construida una acequia, la cual recoge las aguas lluvias provenientes del patio y de la parte alta del talud, conduciéndolas a su parte frontal; la capacidad hidráulica es mínima la cual no es suficiente para su correcto manejo”.¹

Según las observaciones de la visita se tuvieron las siguientes recomendaciones:

- “Realizar la construcción de una acequia o zanja colectora en la corona del muro “(...)”.¹
- “Realizar la reconstrucción de la acequia ubicada a un costado de la vivienda, mejorando su capacidad hidráulica, para poder evacuar correctamente las aguas de escorrentía provenientes del patio”.¹

El anterior oficio fue enviado a la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres, OMPAD.

El 14 de abril del 2015 mediante el oficio SOPM-0567-GVU-15, la secretaria de obras públicas emitió respuesta a la visita técnica realizada por esta entidad, manifestando lo siguiente:

- “De acuerdo visita técnica realizada por parte de personal de la Secretaría de Obras Públicas se pudo apreciar el estado del muro lateral de las escalas ubicadas en la Carrera 32, número 48ª- 05 del barrio González. Cabe anotar

¹ Sustraído del oficio SIA No 163381 del 30 de septiembre del 2009, CORPOCALDAS.

que la reparación del muro hace parte del listado de necesidades viales que posee la Secretaría de Obras, que tratará de ejecutarse en la presente vigencia, de acuerdo con el cronograma y a los recursos con que se cuenta”.

En el oficio de Corpocaldas del 2009, se observó que en la zona había falta de manejo de aguas lluvias y que, para la época, se podía observar alta saturación del suelo, donde también se identificó la incapacidad de la acequia existente para el manejo de las lluvias. Eso significa, que ya habían reconocido la problemática de las aguas lluvias, las que, de acuerdo a las condiciones geotécnicas de la ladera, y a la topografía de esta, especialmente su pendiente, representaban un riesgo que debía atenderse y mitigarse, teniendo en cuenta que las lluvias agregan un peso al talud aumentando las fuerzas actuantes donde, si son superiores a las fuerzas resistentes del suelo, afectarían el factor de seguridad de la ladera, conllevando al deslizamiento de la misma.

Las recomendaciones realizadas por parte de CORPOCALDAS en esa oportunidad, eran totalmente adecuadas, dado que la acequia o zanja colectora en la corona del muro hubiera permitido una adecuada recolección de las aguas lluvias de la parte superior del talud, como así tener una correcta disposición de las aguas. Por otro lado, se previó que la capacidad hidráulica de la acequia existente no era lo suficiente para la posible cantidad de aguas lluvias de la zona y más teniendo en cuenta que por las condiciones topográficas se tiene que las grandes precipitaciones de las zonas no tienen la capacidad de infiltrarse por lo que estas se transforman en escorrentía directa, lo que daba mayor razón a que el aumento de la acequia era necesario.

En la visita realizada en el 2015, el sector de la ladera con mayor pendiente pasó inadvertida, mientras que el área contigua a la escalera, con menor pendiente ya se había ejecutado una intervención, precisamente para mitigar la acción de las aguas lluvias, correspondiente a una canal, que recoge las mismas y las baja ordenadamente.

Los oficios mostrados con anterioridad detallan la continua búsqueda de soluciones y respuestas por parte de los habitantes del barrio González, según la situación que se presentaba en la ladera. Tanto en el 2009 como en el 2015, ninguna de las entidades siguió las recomendaciones descritas en las respuestas suministradas, a pesar de reconocer en esta la existencia del problema y la necesidad de atenderlo. Se tiene presente que el municipio en el año 2015, por el daño de un muro, realiza la construcción de un nuevo muro, lo que resulta en una solución insuficiente, pues las casas ubicadas en la parte superior seguían descargando el agua de escorrentía directamente sobre la ladera.

Según lo anterior, se mostrará a continuación, ilustración 2, el esquema representativo en relación a los antecedentes de inestabilidad en la zona.

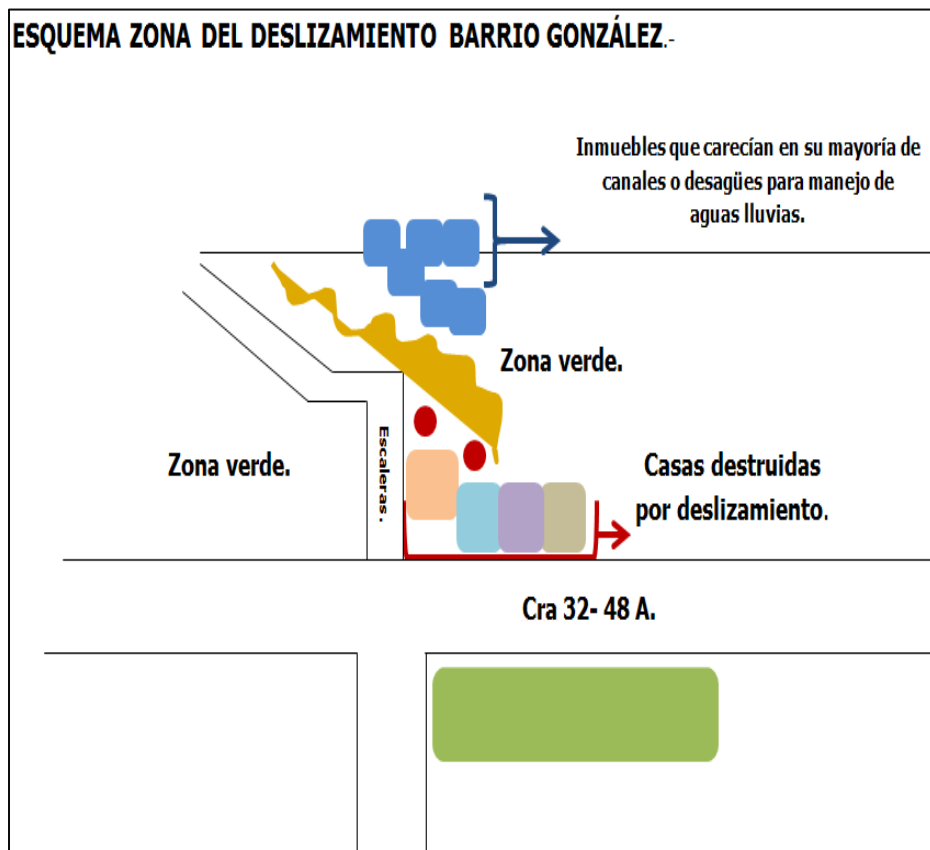


Ilustración 2. Esquema representativo de ubicación y antecedentes de inestabilidad en la ladera del barrio González.

4.1 Registro Fotográfico.

A continuación, se muestra en registro fotográfico con el antes y el después del deslizamiento en el barrio González, como también las fotos de la zona actualmente.

4.1.1 Fotos de la zona antes del deslizamiento.

Las siguientes fotos son del año 2012, cinco años antes del deslizamiento.

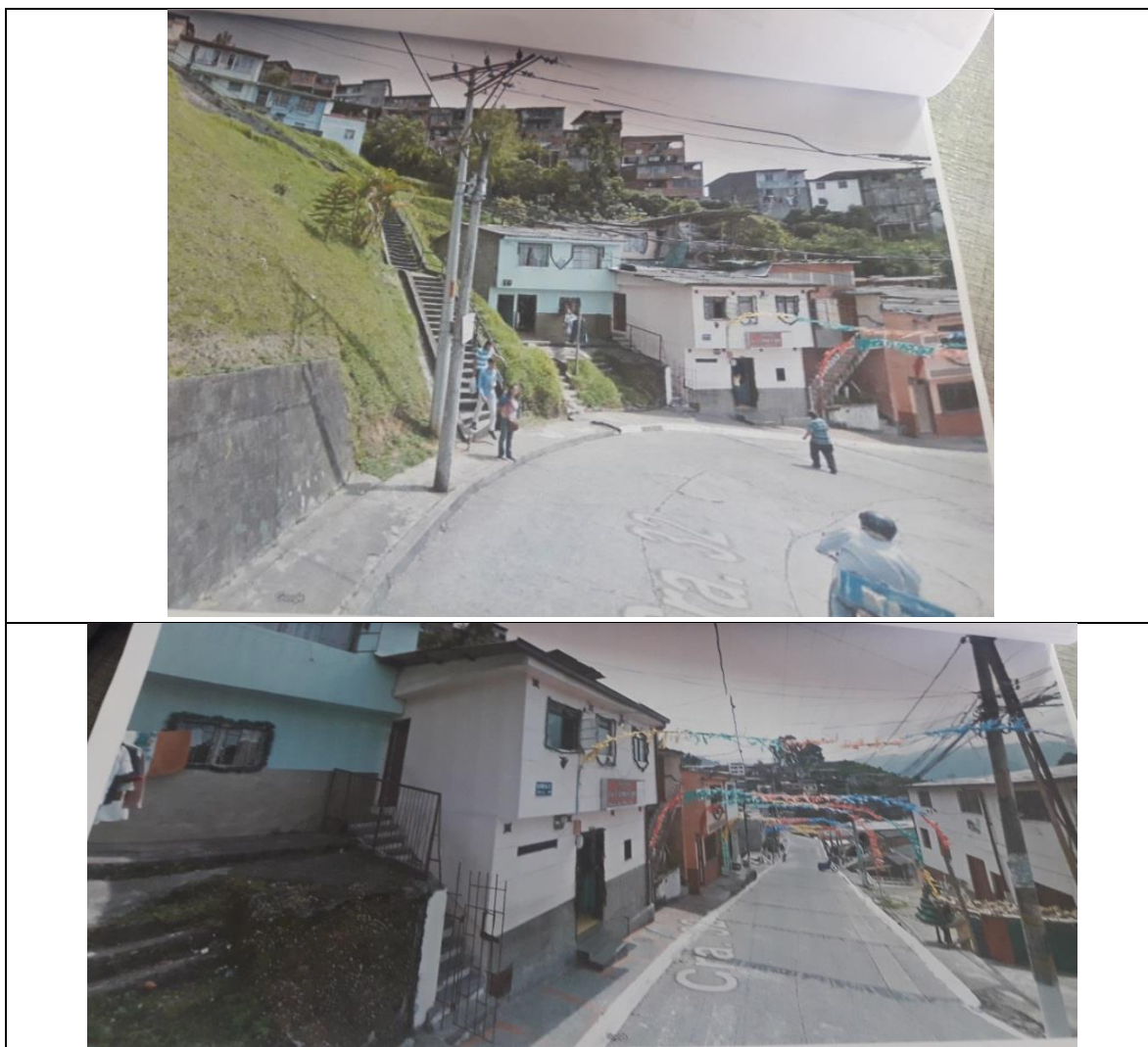




Ilustración 3. Registro fotográfico perteneciente al barrio González en el año 2012. Nótese en la zona superior a la primera casa las cicatrices de movimientos anteriores. **Fuente:** Google Earth.

4.1.2 Fotos de la zona después del deslizamiento.





Ilustración 4. Registro fotográfico del deslizamiento de la ladera en el barrio González. **Fuente:** Recopilación fotográfica por parte de los afectados.

4.1.3 Fotos de la zona actualmente.

Las siguientes fotos son del año 2022, cinco años después del deslizamiento.





Ilustración 5. Registro fotográfico perteneciente al barrio González en el año 2022. **Fuente:** Propia.

5. COMPONENTE SOCIODEMOGRÁFICO.

Con el fin de tener un contexto más amplio de la historia del barrio González desde sus inicios, el transcurso y la situación hoy en día, se presenta una breve recopilación de la fundación y crecimiento de la ciudad de Manizales, como esta tomo su forma con el paso de los años, la historia detrás de sus pobladores que hoy en día conforman la capital del departamento de Caldas.

Por otro lado, esta breve historia ayuda a tener un entorno más amplio en relación a como se ha dado el crecimiento urbanístico de la ciudad, como los barrios que hoy conforman la comuna la Fuente, donde se ubica el barrio González, fueron los principales barrios obreros que tuvieron gran apogeo y aporte en la construcción de la zona oriental de la ciudad gracias a las industrias presentes que fomentaron el crecimiento económico y social.

5.1 Reseña Histórica de la Ciudad de Manizales.

“Hace ciento dos años que un grupo de intrépidos colonos de Sonsón y Abejorral - escribió Silvio Villegas- empezaron bravamente a descuajar la selva virgen en la rocosa planicie donde hoy está situada la capital de Caldas”, es decir, la historia de Manizales es la historia de la transformación del paisaje de la zona. Sus límites en los años 20 del siglo XX seguían referenciado el paisaje: “de la confluencia del río Chinchiná con el Cauca, Chinchiná arriba hasta sus nacimientos en la Cordillera Central ; ésta hacia el Norte hasta dar frente a los nacimientos del río Guacaica; éste abajo hasta la confluencia de la quebrada del Guineo; esta arriba hasta el lindero de las tierras del Salado del Guineo; de aquí línea recta hasta un mojón que está en el camino de Arabia, denominado Socavones: de este al nacimiento de la quebrada de Fonditos; por ésta abajo al río Cauca; éste arriba a la desembocadura

del Chinchiná, punto de partida”. Además, cinco de las denominaciones de ocho fracciones en las cuales fue dividida Manizales en 1880 estaban estrechamente ligadas al paisaje, La Enea, Sierra Morena, El Aguila, El Tablazo y La Cristalina.

En un filo de la montaña creció la ciudad de Las Puertas Abiertas, Manizales, fundada en 1849 por colonos antioqueños. Para finales del siglo XIX, era un gran centro del cultivo del café. Aquel movimiento cafetero era respaldado por las casas comerciales que tenían asiento en Manizales como Pinzón & Huth, American Coffee Corporation, Casa Inglesa, Alejandro Ángel, Gutiérrez “los Bancos y cien más”. Por lo menos, entre 1910-1930, señala Marco Palacios que el departamento se convirtió en el primer productor de café de Colombia.

Obviamente, gracias a la dinámica cafetera, la población creció de manera sostenida, así: 1851: 2789 habitantes; 1870: 10362; 1884: 14603; 1905: 24700; 1912: 34720, 1918: 43203. Para los años cincuenta, tanto los habitantes de las ciudades del eje cafetero como los viajeros percibían claras diferencias entre esas poblaciones. Por ejemplo, Manizales es la ciudad menos mestiza de ellas y más confesional.

A finales de los años 30, lejos del viejo casco se construyó el barrio de Quinta Versalles, una especie de Chapinero, el cual iniciaría la expansión urbana hacia sitios no tradicionales. Ya en los años 40, se realizó la construcción de la Escuela Normal Superior de Manizales, cuyo vecino más cercano era el Monasterio de la Visitación. Hacia los años 50 los padres jesuitas construyen lejos del viejo centro su colegio. Pero sería hacia los años 60, luego de la división del Gran Caldas, que se iniciaría la expansión de Manizales. Justamente, en 1968, se funda la Oficina de Planeación Municipal y en 1970 se crea el proyecto urbano más ambicioso de la ciudad, según el arquitecto José Fernando Escobar, el llamado Plan 70. La ciudad avanzaría así sobre su propia área agrícola, la que en 1956 producía 440 mil arrobas de café, 40 mil cargas de plátanos, 20 mil de yuca, 15 mil de maíz y miles de cabezas de ganado, como se escribe en el Catecismo histórica y geográfico de Caldas.²

² Extraído de la revista Credencial, La Ciudad homérica de Manizales, agosto de 2011.



Ilustración 6. Vista panorámica de Manizales. Al centro, la entonces reciente Catedral Basílica de la ciudad, años 30 del siglo XX. **Fuente:** Foto digital Universidad de Caldas.

5.2 Un Poco Sobre el Barrio González.

La conformación del barrio González se dio entre los años 1970 y 1985, junto con los barrios Bajo Prado, Prado, Persia y Bajo Persia. El barrio González se identifica por estar ubicado en una de las zonas de obreros de la ciudad, donde a principios de su construcción se caracterizó por ser utilizado como zona de pastoreo y en su zona baja se tenía un pequeño bosque. Las condiciones de vivienda eran precarias, donde no se tenía ningún servicio público, es de destacar que, al ser un barrio pequeño, sus inicios fueron de igual magnitud, se comenzó con la construcción de unas pocas casas para ver cómo era el terreno hasta tener la cantidad que se presenta hoy en día.

Hoy en día los habitantes del barrio González se caracterizan por ser una comunidad unida, donde realizan encuentros y con más entusiasmo en las épocas navideñas y demás festividades. A pesar de las circunstancias por las que ha pasado el barrio, este ha unido fuerzas para salir adelante poco a poco con los habitantes de este y con las personas que los han ayudado en el paso de los años. Los nexos sociales y familiares son arraigados y fuertes, representando un valor social significativo y un alto sentido de pertenecía a la comunidad

6. COMPONENTE GEOMORFOLOGICO.

6.1 Condiciones Geológicas.

El análisis geotécnico, del movimiento en masa ocurrido en el barrio González, define inicialmente la geología y las estructuras geológicas, que afectan las rocas

del terreno montañoso, donde se construyó la ciudad de Manizales. Existen trabajos realizados por INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE CALDAS, CORPOCALDAS y otras entidades académicas y técnicas, tanto gubernamentales como privadas, que definen a nivel regional la geología, como la plancha geológica 206 (INGEOMINAS, 1998, Ilustración 7), que involucra gran parte del departamento de Caldas.

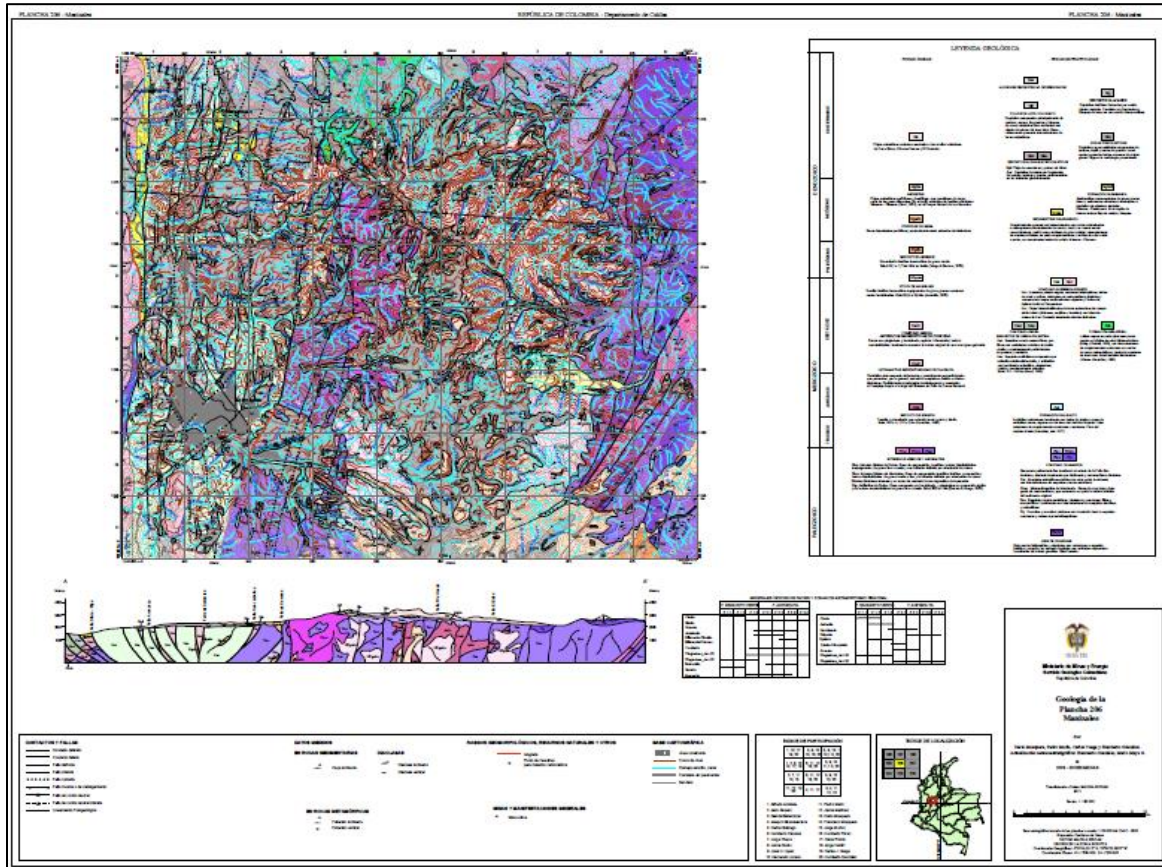


Ilustración 7. Geología de la plancha 206, donde se involucra gran parte del departamento de Caldas. **Fuente:** INGEOMINAS

La ampliación de esta ilustración permite visualizar las condiciones geológicas y estructurales en el terreno, donde se localiza el área urbana del municipio de Manizales, donde los depósitos cuaternarios naturales y antrópicos y las fallas geológicas menores, se hacen visibles en la Ilustración 8, siendo está compuesta por rocas piroclásticas, flujos de lodo volcánico, donde además se tiene gran del complejo Quebrada Grande y Cajamarca.

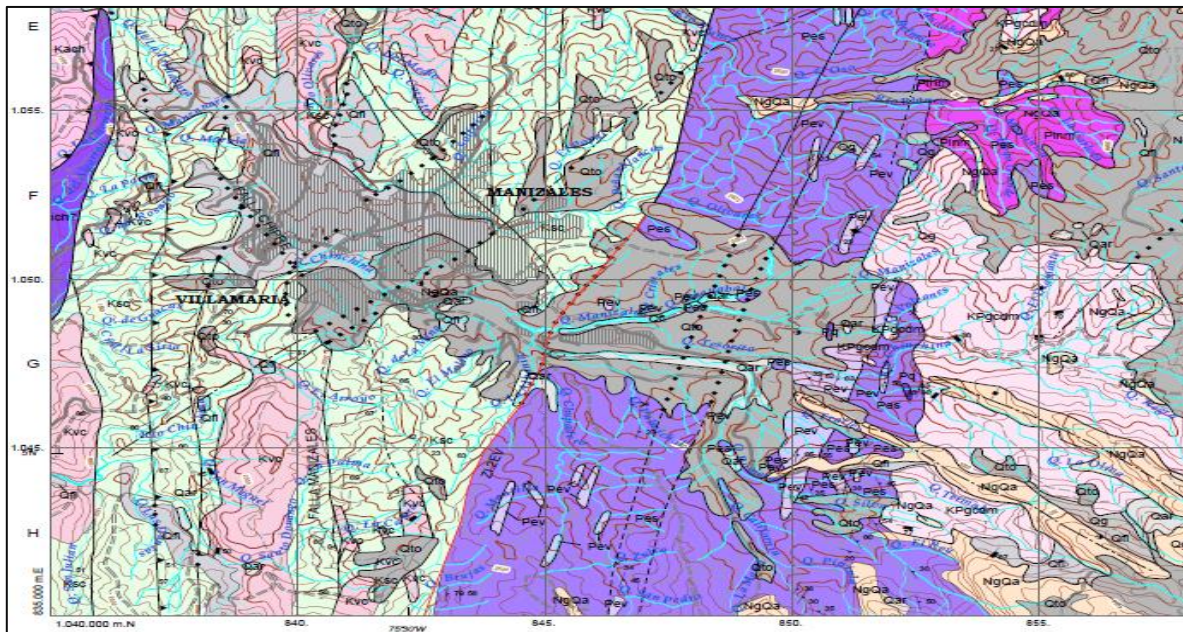


Ilustración 8. Ampliación de la plancha 206 en el sector de Manizales. **Fuente:** INGEOMINAS.

Las condiciones geológicas y estructurales fueron recopilados y actualizadas por Villanueva (2009), quien definió las áreas fuente de sedimentos en la cuenca del río Chinchiná (Ilustración 9), sin establecer en el sector de la ciudad las condiciones de inestabilidad.

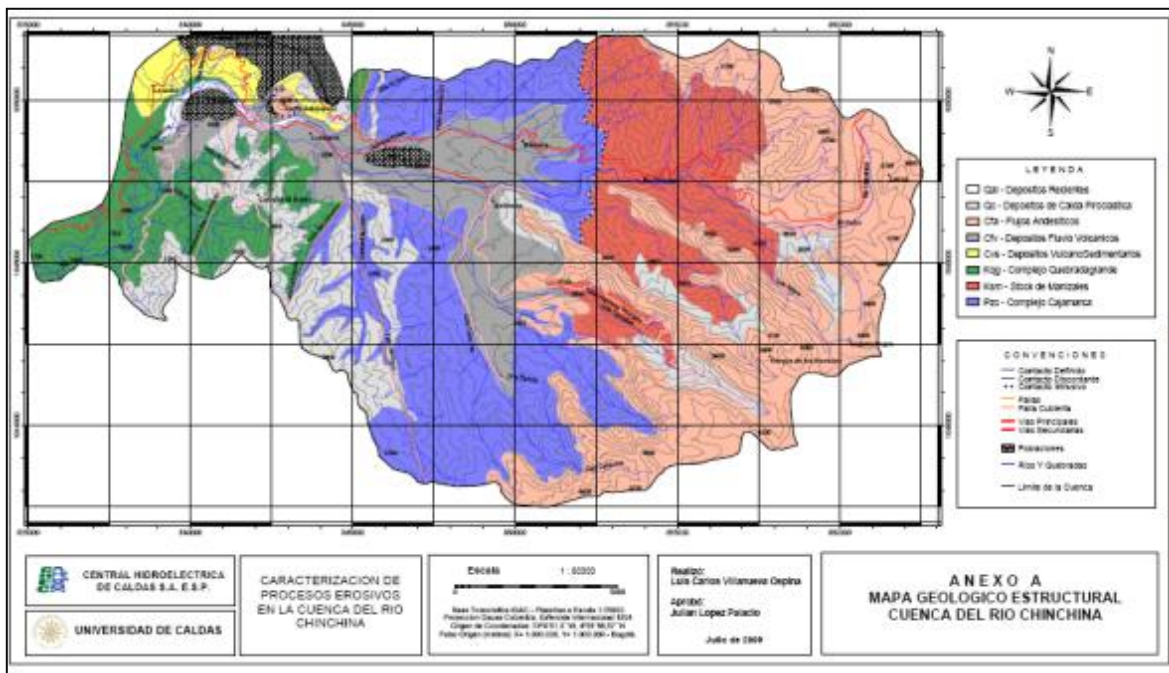


Ilustración 9. Mapa geológico de la cuenca del río Chinchiná. **Fuente:** Villanueva, 2009.

La ampliación del mapa de Villanueva (2009), permite visualizar la geología del área de Manizales y las principales fallas geológicas; así como los depósitos de Cenizas Volcánicas y los depósitos aluviales y coluviales recientes (Ilustración 10).

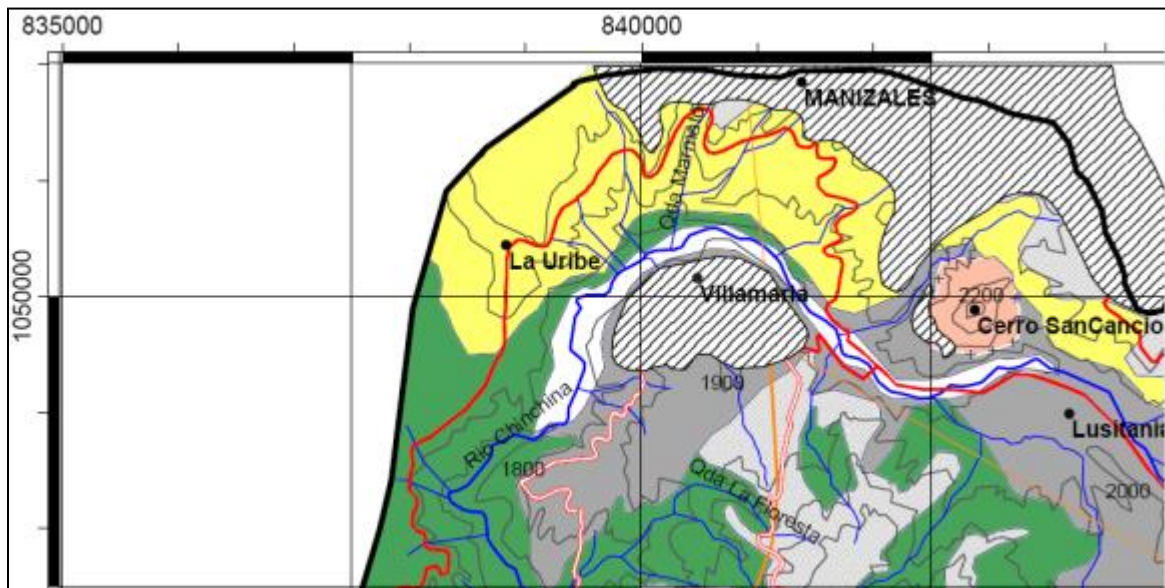


Ilustración 10. Ampliación en el sector de Manizales del mapa de Villanueva. **Fuente:** Villanueva, 2009.

Los anteriores mapas están a escalas regionales y locales, sin mostrar las fallas menores o ramales de las fallas mayores y principales, por lo que se recurre al trabajo local de Osorio y Zuluaga (2003), que localiza, delimita y caracteriza geotécnica y mecánicamente los llenos de cauces en la vertiente norte del río Chinchiná, incluyendo la zona del barrio González, así como la quebrada la Única. En este trabajo utilizan las fotos aéreas (029-030-031) del vuelo C434, a escala 1:35.000, del año 1946.

En esta interpretación se visualiza la denominada falla Manizales (orientada NNW) que atraviesa por la quebrada la Única el bloque montañoso de la ciudad de Manizales, entre los que se encuentran el barrio González. La falla Manizales atraviesa una gran extensión de la ciudad de Manizales, la cual ha inducido a lo largo de los años la creación directa de drenajes naturales en las depresiones creadas por los diferentes movimientos de las placas tectónicas. Esto da pie a entender como las fallas geológicas activas, contribuyen tanto la inestabilidad del terreno como a los cambios geomorfológicos del mismo. Es aquí donde Manizales es catalogada como una zona de alto riesgo, lo que también influye directamente a la topografía escarpada de la ciudad.

Otras fallas cercanas a esta son la del Cementerio (orientada NE), Chipre (orientada NW) y Villamaría Termales (orientada NW); otras fallas que afectan este bloque

montañoso, pero más alejadas del sector del barrio González, son las denominadas San Luis y Sancancio (Ilustración 11).

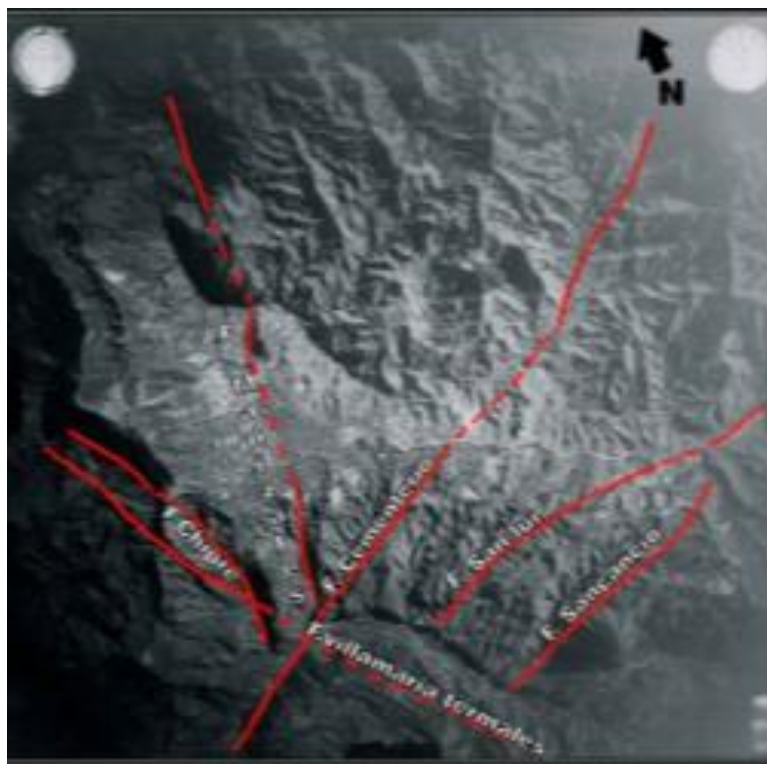


Ilustración 11. Fotos aéreas (029-030-031) del vuelo C434, a escala 1:35.000, del año 1946; mostrando las fallas geológicas de la sección de la ladera Norte del río Chinchiná, que incluyen el barrio González. **Fuente:** Osorio y Zuluaga, 2003.

6.2 Condiciones Geomorfológicos.

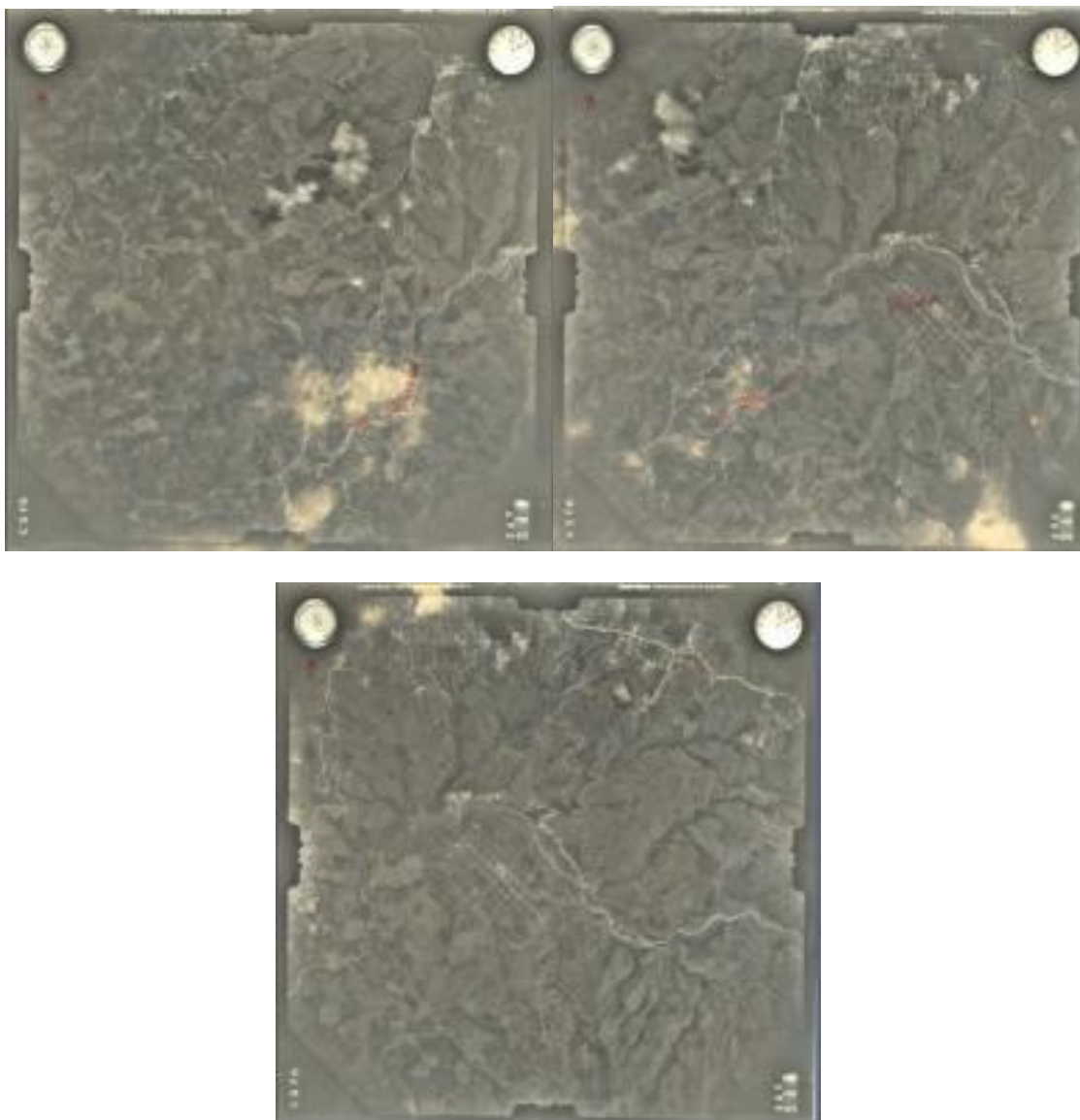


Ilustración 12. Fotografías aéreas del vuelo C-378 de 1944, escala 1:30.000 (fotos 318,319 y 320).

Con el fin de poder visualizar de mejor manera las distintas adecuaciones y cambios geomorfológicos por las que ha pasado la ciudad de Manizales y más específicamente el barrio González a lo largo de los años, se empleó fotografías aéreas de la ciudad. Se tienen las fotografías aéreas (No 318, 319 y 320) del vuelo C-378, a escala 1:30.000, del año 1944 (Ilustración 12); las cuales permiten observar los drenajes nacientes en la cima de la montaña (Carrera 23, avenida Santander), y como estos fueron tapados con material de corte donde posteriormente se construyeron viviendas.

En la Ilustración 13, se delimitan los drenajes de la ladera norte del río Chinchiná, que descienden desde la carrera 23 hasta su cauce, se denominaron desde Q1 hasta Q8 (Osorio y Zuluaga, 2003). El barrio González está ubicado sobre el Q8 siendo esta la quebrada El Guamal, que se extiende hasta el río Chinchiná.



Ilustración 13. Fotos áreas donde se muestran los drenajes de la sección de la ladera Norte del río Chinchiná.

Osorio y Zuluaga, 2003, complementó su trabajo a través de fotografías aéreas de diferentes años, incluyendo el año 1946 (Ilustración 14), 1964 (Ilustración 15), 1975 (Ilustración 16), 1987 (Ilustración 17) y 1993 (Ilustración 18). Esta fotointerpretación muestra que la evolución antrópica de la ladera se realizó a través de cortes y llenos. A medida que se continuaba con la adecuación de diferentes zonas de Manizales, se comenzaba a presentar cambios en la ladera, muchos de los ellos ocasionaron el descenso de esta.

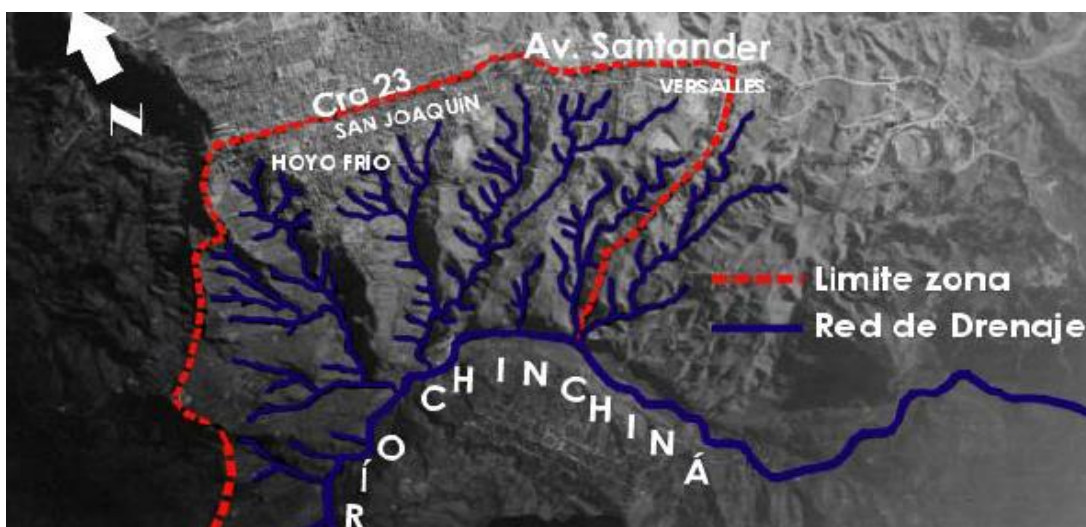


Ilustración 14. Fotografía área de Manizales en el año 1946, del vuelo C 434, escala 1:35000.

del 2017 -2031 como también el documento técnico de soporte que avala los datos del Geoportal.

En el documento técnico se describe los criterios generales de clasificación de las zonas de amenaza y riesgo en la ciudad de Manizales. Hay que tener en cuenta que la diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento (Fournier 1985).

Es necesario establecer, que el método utilizado para determinar la susceptibilidad de un terreno a los movimientos en masa se basa en condiciones del terreno con respecto a la pendiente, los materiales, los usos, la hidrología y las condiciones climáticas y sísmicas del territorio.

Así, si un terreno tiene alta pendiente, materiales de baja resistencia, usos inadecuados y en el territorio se presenta altas y prolongadas precipitaciones, entonces hay alta susceptibilidad a los movimientos en masa. Como se observa varias de estas condiciones se presentan en el sector del barrio González, por lo tanto, tiene susceptibilidad a la generación de procesos erosivos y movimientos en masa.

Para determinar la amenaza, por lo general el método plantea que los sectores donde existen antiguos y/o recientes movimientos en masa, tienen amenaza; olvidándose de la probabilidad de falla de los materiales, que inician o generan nuevos movimientos en masa. Esta probabilidad establece que a medida que transcurre el tiempo, un terreno donde no hay deslizamientos, los materiales se aproximan a la falla y su posterior movimiento ladera abajo. Esto se explica teniendo como concepto teórico los planos de fallas presentes en el subsuelo, cuando el estrato superior a este presenta una saturación por aguas lluvias, el subsuelo meteorizado sirve como plano lubricante donde este al verse afectado a esfuerzos actuantes superiores al resistente se presenta volcamientos de los estratos superiores.

Esta situación, es la que permite explicar, porque en un terreno donde nunca se había dado un movimiento en masa, se genera un proceso y causa estragos y tragedias.

Según el documento técnico, el barrio González no está en las áreas de riesgo con estudios detallados, pero, observando y detallando el Geoportal se tienen los siguientes mapas establecidos, según la delimitación por barrios.

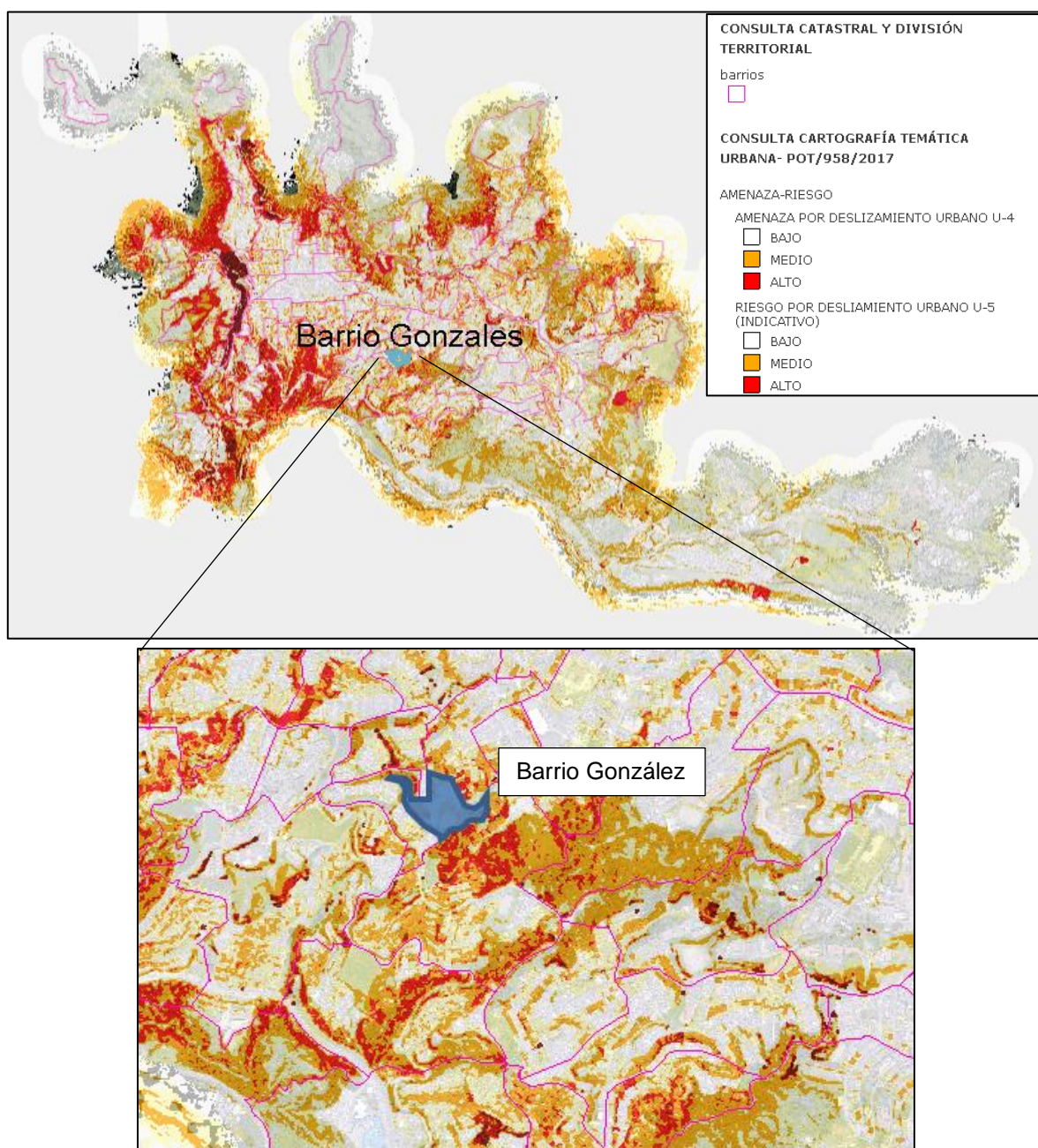


Ilustración 19. Mapa de amenaza y riesgo de deslizamiento en la ciudad de Manizales. **Fuente:** SIG Manizales.

En la anterior ilustración se tiene la localización del barrio González en convención azul, asimismo se tiene tanto los mapas de riesgo como de amenaza identificados por los planos U-5 y U-4 respectivamente, los cuales corresponden a la clasificación de los planos definidos en el POT.

Para una mejor visualización se amplió el mapa donde se tiene la ubicación del barrio González donde se detalla la delimitación establecida según el POT, donde se ve con mayor claridad la zona donde se presentó el deslizamiento; se debe tener en cuenta que la ortofoto presente en el Geoportal corresponde al año 2021, por lo que se observa las estructuras de contención construidas un tiempo después del suceso ocurrido en el barrio González del 19 de abril del 2017.

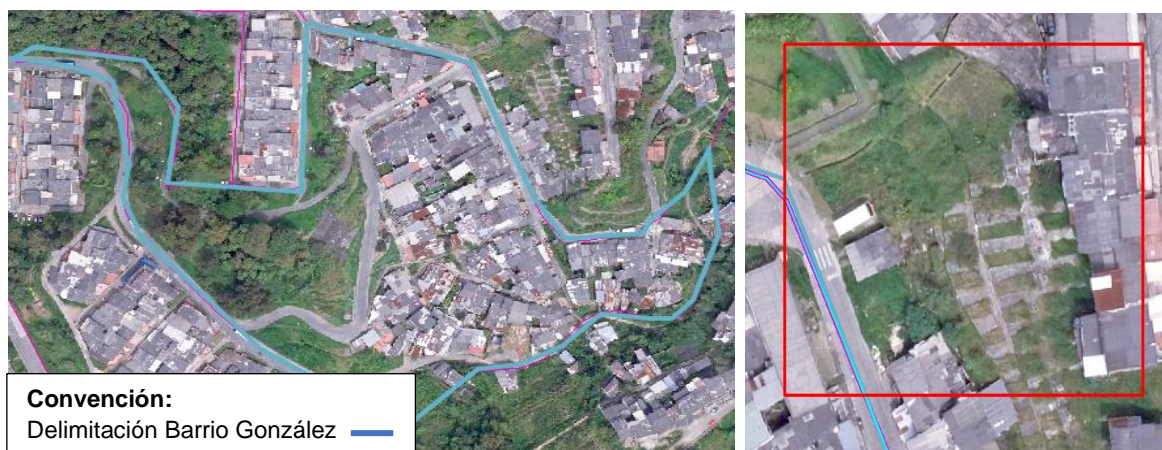


Ilustración 20. Localización y delimitación del barrio González. **Fuente:** SIG Manizales.

Por otra parte, se utilizaron los diferentes mapas que permite el visor del Geoportal con el fin de determinar si el área donde se presentó el movimiento de masa tenía una denominación de amenaza y riesgo de deslizamiento.

Mapa de amenaza: este se rige según la convención de amenaza bajo (color blanco), medio (color amarillo) y alto (color rojo).

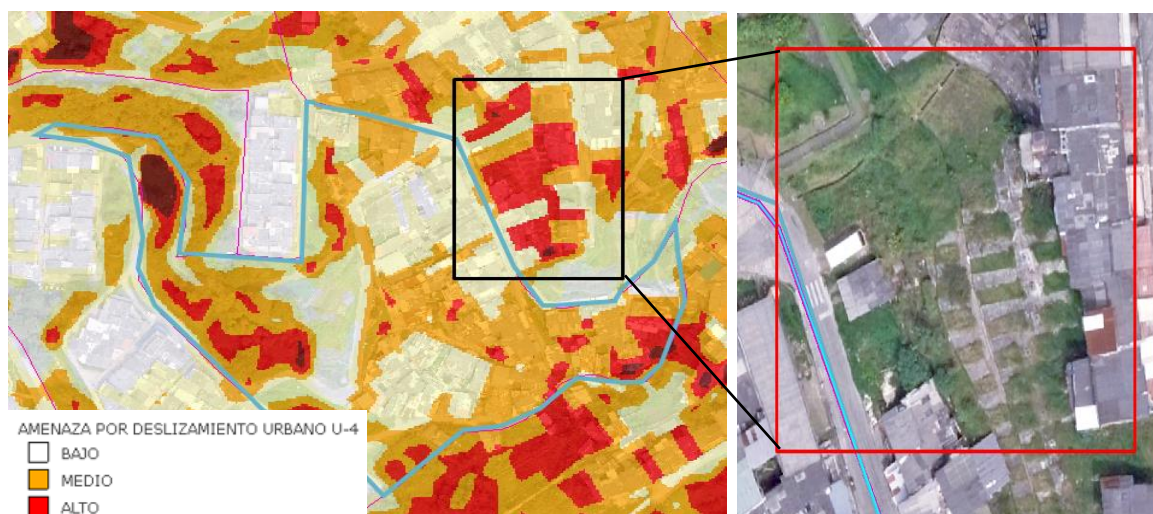


Ilustración 21. Mapa de amenaza para la zona donde se presentó el deslizamiento en el barrio González. **Fuente:** SIG Manizales.

Mapa de riesgo: este se rige según la convención de amenaza bajo (color blanco), medio (color amarillo) y alto (color rojo).

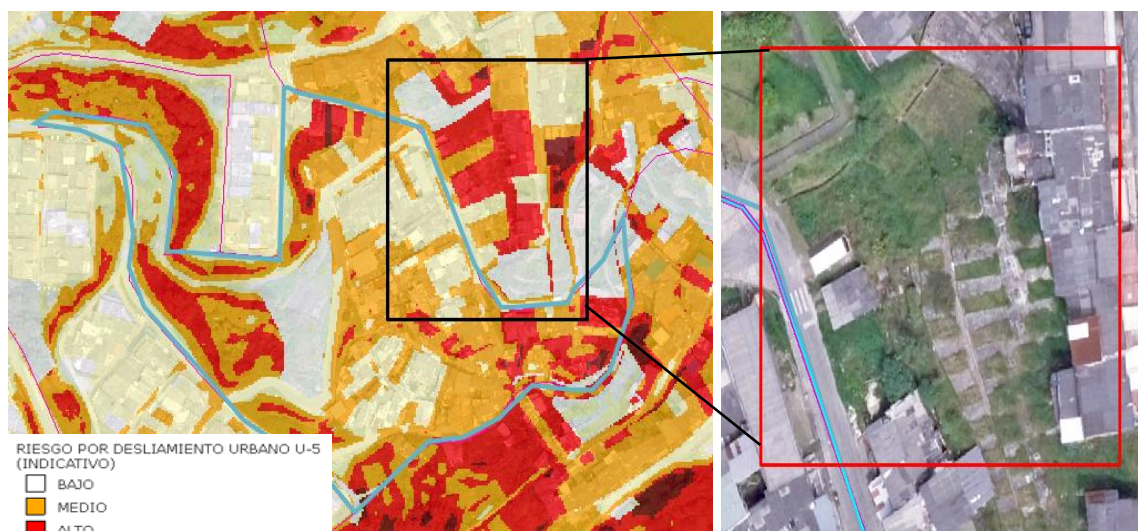


Ilustración 22. Mapa de riesgo para la zona donde se presentó el deslizamiento en el barrio González. **Fuente:** SIG Manizales.

Observando los dos mapas mostrados con anterioridad se detalla que el color dominante en la zona donde se presentó el deslizamiento en el barrio González es el rojo, lo que da a entender que tanto la amenaza como el riesgo de deslizamientos era alta.

7. CAMBIO CLIMATICO Y ALERTAS TEMPRANAS IDEAM.

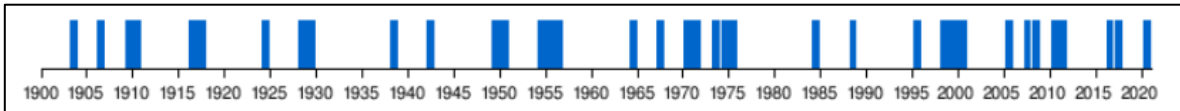
Con el fin de tener una mirada mucho mas concreta desde la hidrológica y como esta tiene una afectación directa según los distintos cambios climáticos presentes en una zona en específico, es necesario entender el trasfondo de los componentes climáticos y su variabilidad en escala global.

Según lo anterior se entiende como cambio climático a la modificación a largo plazo de las condiciones meteorológicas medias a escala del planeta; estas condiciones pueden tener variaciones en múltiples escalas temporales (días, meses, años, etc.) y espaciales (regional o local), y pueden representar una amenaza natural, como inundaciones, sequías, olas de frío o de calor, tormentas, etcétera.

A nivel global una de las la mayores incidencias de variabilidad climática se presenta por el fenómeno ENSO (El Niño/Southern Oscillation), determinado por sus dos fases: El Niño (fase cálida) y La Niña (fase fría)). Tanto El Niño como La Niña, son los ejemplos más evidentes de los cambios climáticos globales, siendo parte fundamental de un vasto y complejo sistema de fluctuaciones climáticas. La Niña se caracteriza por tener temperaturas frías y perdurables, si se le compara con El Niño, ya que este se caracteriza por temperaturas oceánicas inusualmente calientes sobre la zona ecuatorial del océano Pacífico.

Los episodios de La Niña, al igual que el fenómeno de El Niño, producen cambios a gran escala en los vientos atmosféricos sobre el océano Pacífico, incluyendo un incremento en la intensidad de los vientos alisios del Este (Este-Oeste) en la atmósfera baja sobre la parte oriental del océano Pacífico en Sudamérica, y de los vientos del oeste en la atmósfera superior. Tanto la Niña como El Niño se presentan en unos períodos medios de duración de aproximadamente cuatro años, aunque en el registro histórico los períodos han variado entre 2 y 7 años.

Este fenómeno es uno de los forzantes con mayor influencia sobre la variabilidad interanual del clima y del recurso hídrico en Colombia. Una gran porción del territorio es sensible a sus efectos de disminución o aumento de la oferta y de amenaza de eventos, como inundaciones y sequías. A modo de ejemplo se presenta a continuación la cronología de los episodios de La Niña a nivel mundial, teniendo una tendencia de ocurrencia cada cierto periodo de años, los cuales se han venido acrecentando en las ultimas dos décadas.



Por otro lado, la duración del fenómeno de La Niña constata al incremento de las temporadas invernales en Colombia, tal y como se muestra en el siguiente grafico:

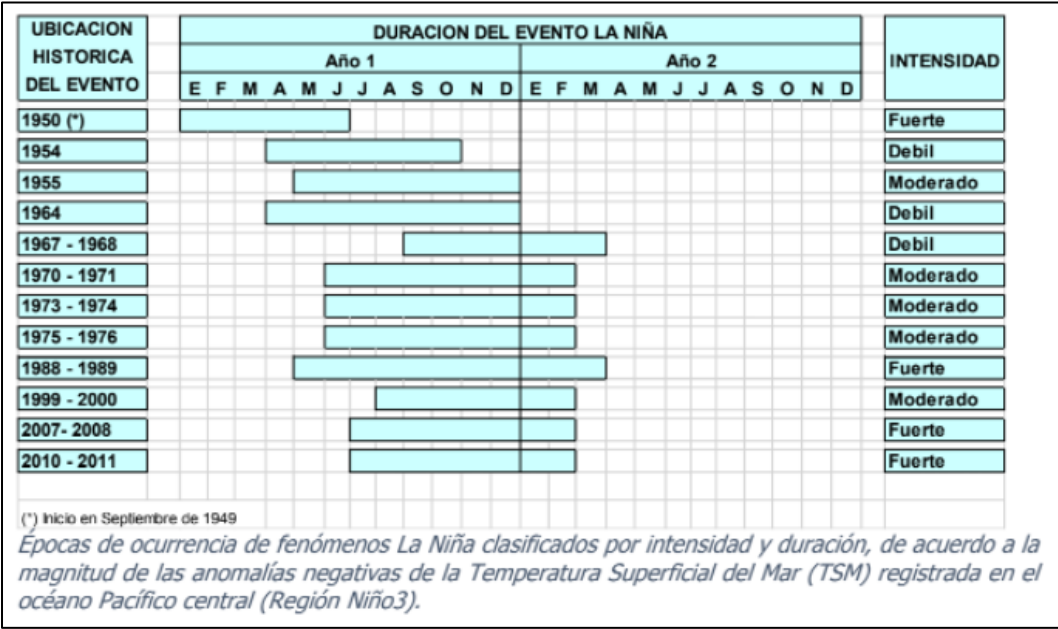


Gráfico 1. Ocurrencia del fenómeno de La Niña en las últimas décadas. Fuente: IDEAM.

El IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), en busca de tener una metodología de predicción y proveer enceres informáticos para los distintos sucesos naturales que puedan ocurrir en Colombia, ha implementado por años una recolección de información de distintos parámetros ambientales tales como lo es la precipitación. Es de este modo que según la variabilidad de lluvias que se han presentado en el país a lo largo de los años, es posible tener una tendencia y una predicción de la alteración de la precipitación en cada uno de los departamentos; hablando específicamente del departamento de Caldas y más concretamente en el municipio de Manizales se tiene una alteración de la precipitación entre los meses de Marzo, Abril y Mayo excedente a lo normal, siendo este entre los rangos del 120 al 160%, esto se puede detallar en el siguiente mapa del IDEAM.

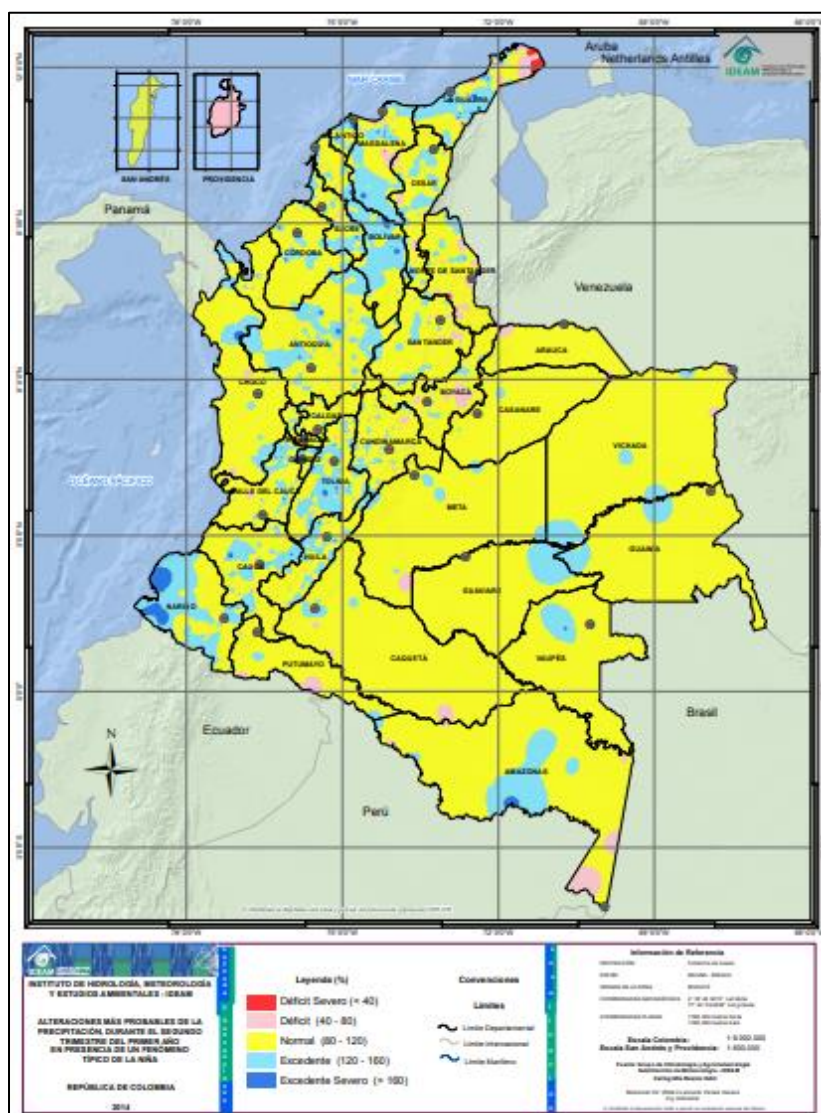


Ilustración 24. Alteraciones más probables de la precipitación, durante el segundo trimestre del año en presencia de un fenómeno típico de La Niña. **Fuente:** IDEAM.

Es importante anotar que la extensión de las áreas con excedente se concentra en la región Andina, siendo esto demostrable según lo notado por el IDEAM en el año 2011:

- El fenómeno de “La Niña” 2010-2011, mostró un alto acoplamiento entre los diferentes indicadores océanoatmosféricos que caracterizan y definen su ocurrencia. La comparación del Índice multivariado (MEI) en eventos “Niñas” fuertes con el fenómeno 2010-2011 permite concluir que esta “Niña” ha sido una de las más fuertes de la historia (Euscátegui, Hurtado. IDEAM. 2011).

Lo anterior es exhibido en los datos de porcentaje de territorios afectados por lluvias excesivas específicamente en los años 2010 – 2011 donde se presentó el fenómeno de La Niña con gran intensidad.

Tabla 1. Porcentaje de territorios afectados por lluvias excesivas en el año 2011. **Fuente:** IDEAM, 2011.

2011	Amazonia			Andina			Caribe			Orinoquia			Pacífico		
	Por debajo de lo normal (< 90%)	Normal (90-110%)	Por encima de lo normal (> 110%)	Por debajo de lo normal (< 90%)	Normal (90-110%)	Por encima de lo normal (> 110%)	Por debajo de lo normal (< 90%)	Normal (90-110%)	Por encima de lo normal (> 110%)	Por debajo de lo normal (< 90%)	Normal (90-110%)	Por encima de lo normal (> 110%)	Por debajo de lo normal (< 90%)	Normal (90-110%)	Por encima de lo normal (> 110%)
Enero	39	33	28	42	24	34	27	17	56	5	11	84	16	21	63
Febrero	56	36	7	7	13	80	22	26	51	34	36	30	29	23	48
Marzo	10	47	43	8	14	78	2	3	95	33	29	38	23	20	57
Abril	8	41	51	1	4	95	24	15	62	0	4	95	8	26	66
Mayo	0	8	92	24	26	51	14	17	70	1	11	88	48	38	14
Junio	4	27	69	18	31	50	12	21	67	52	38	10	31	32	37
Julio															
Agosto															
Septiembre															
Octubre															
Noviembre															
Diciembre															

Tabla 1. Porcentajes de territorio afectado por lluvias excesivas, normales o deficitarias. En sombreado amarillo o azul se destacan los casos en que el territorio afectado es mayor al 50 % Fuente: IDEAM, 2011

Ahora bien, con el caso concreto a la evolución y aumento progresivo de las lluvias del país, se tomó una recopilación de datos, expuesta por el IDEAM. Desde 1971 al 2000, en el informe de Climatología trimestral de Colombia (Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F), se indicó en cuanto a las lluvias en la región Andina, que la distribución de éstas, durante el año es de carácter bimodal, lo que indica que, se distinguen durante el año dos períodos (cada periodo es de un trimestre) intensos de lluvias, correspondiente a marzo a mayo, y septiembre a noviembre. Para Manizales - Caldas, se tiene un promedio de lluvias anual que oscila entre 2500 y 4000 mm (IDEAM), esto se puede observar en la siguiente ilustración.

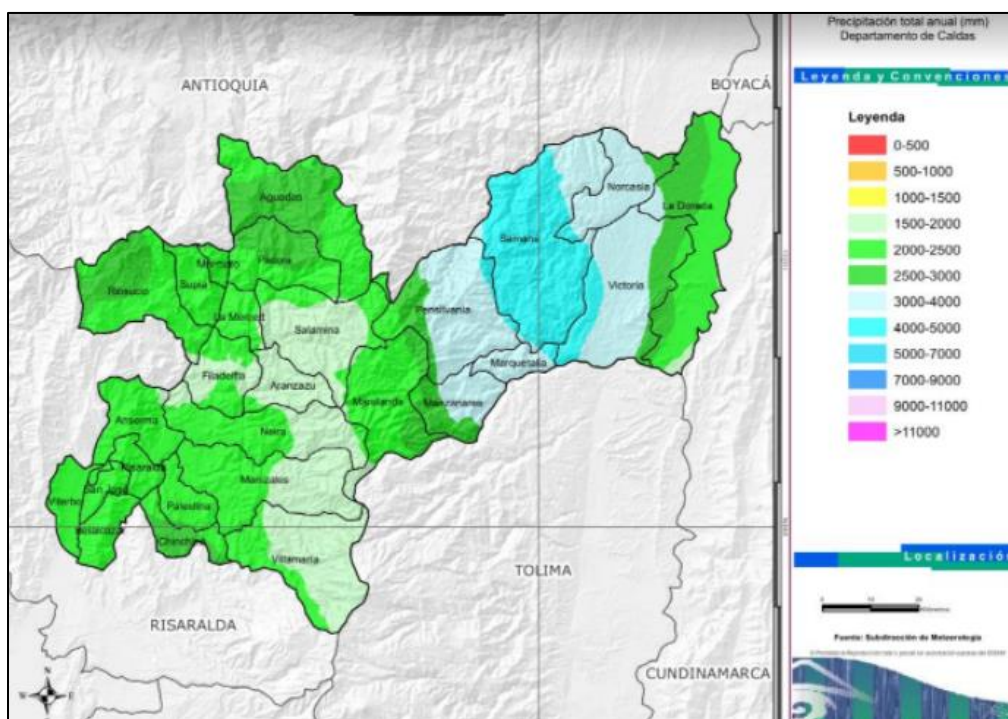


Ilustración 25. Precipitación total anual (mm) en el departamento de Caldas. **Fuente:** IDEAM.

En la proyección climática realizada por el IDEAM en los años 90, y en el documento “Afectación del Fenómeno de la Niña en el periodo 2012- 2014”, se presenta la proyección de cambios volumétricos de precipitación para la Región Andina, teniendo así incrementos considerables en años posteriores.

Tabla 2. Cambios porcentuales en la precipitación (%) con su incertidumbre (%) proyectados por el ensamble multiescenario para los departamentos de Colombia. **Fuente:** IDEAM.

Departamento	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Amazonas	-20,55	± 12,53	-18,47	± 11,18	-18,80	± 11,90
Antioquia	6,92	± 15,34	8,69	± 15,63	9,56	± 16,61
Arauca	1,44	± 0,24	2,72	± 1,85	4,21	± 4,42
Atlántico	-11,89	± 7,60	-12,77	± 5,84	-17,95	± 4,79
Bolívar	-17,48	± 8,12	-17,54	± 7,68	-18,99	± 8,08
Boyacá	9,04	± 17,17	8,02	± 19,22	6,32	± 18,68
Caldas	21,19	± 16,84	23,75	± 18,96	25,70	± 20,40

En cuanto a la evolución pluviométrica en la ciudad de Manizales- Caldas de acuerdo al Atlas Climatológico del IDEAM, que las lluvias anuales tienen un régimen bimodal, en el que se destaca un incremento significativo de lluvias para el mes de abril, tal y como se muestra en la siguiente ilustración.

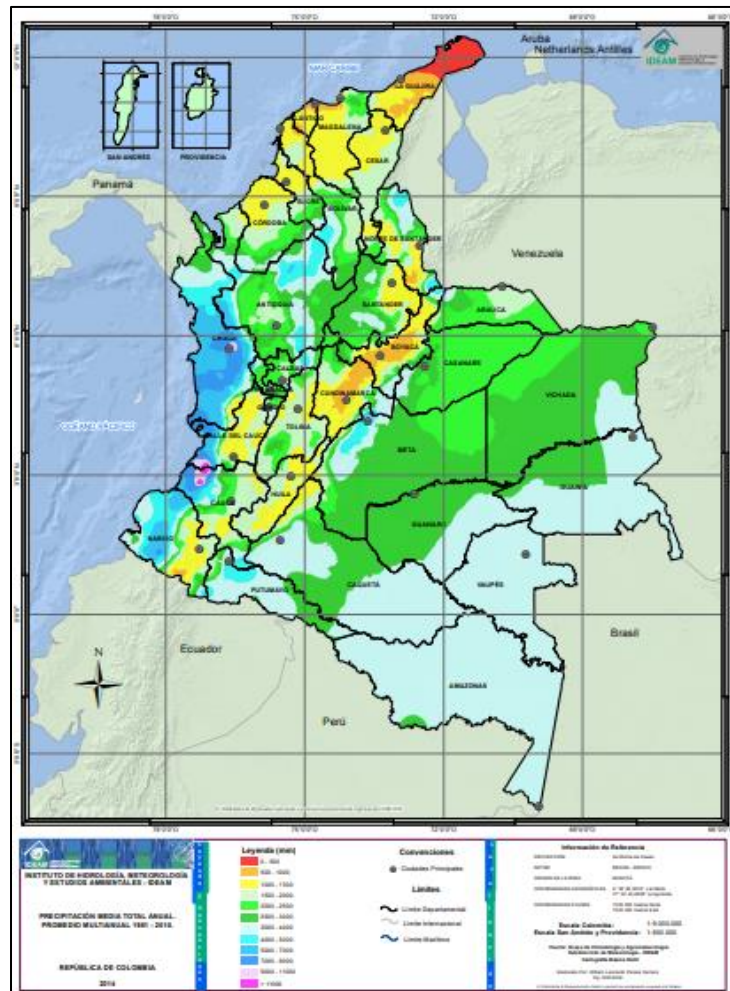


Ilustración 26. Precipitación media total anual. **Fuente:** IDEAM.

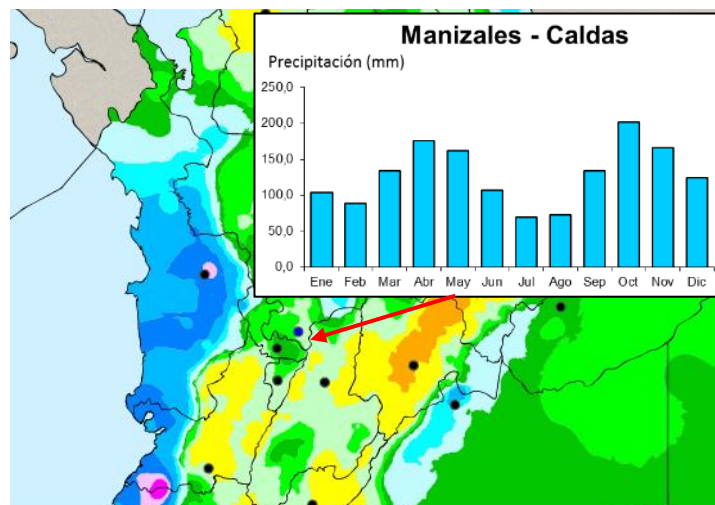


Ilustración 27. Hietograma de precipitación anual mensual en la ciudad de Manizales. **Fuente:** IDEAM.

Dentro de las publicaciones realizadas por el **IDEAM**, donde se hace la predicción de las condiciones climáticas y alerta esperadas, para el mes de abril del 2017, en el boletín 266, para la Región Andina:



Ilustración 28. Ubicación de la región andina en el mapa de Colombia. **Fuente:** Google

“Climatología de la precipitación: *abril es normalmente el mes más húmedo de la primera temporada lluviosa del año en la mayor parte de la región. Las lluvias son abundantes y frecuentes con valores superiores a los 300 milímetros en promedios en los departamentos de Antioquia, en los Santanderes y en sectores de Tolima y Cauca. Se presentan volúmenes de lluvia en cantidades moderadas en algunas áreas de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Nariño, Huila, Valle, Cauca y sur del Cesar y Bolívar, con promedio entre 150 y 300 milímetros. Los menores volúmenes se registran en algunos sectores de Boyacá y Cundinamarca.*

Predicción de la precipitación: *Se estima un comportamiento en los volúmenes de precipitación cercanos a los promedios climatológicos en la mayor parte de la región.*

Suelos: *En general prevalecerán suelos de estados semihúmedos a húmedos en gran parte de la región, especialmente en los departamentos de Antioquia, Eje Cafetero, Santanderes, Tolima y Cauca.*

Deslizamientos: *Se prevé una amenaza alta a muy alta de ocurrencia de deslizamientos de tierra en áreas inestables de la región, especialmente, en sectores de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Caldas, Huila, Nariño, Risaralda, Quindío, Santanderes, Tolima y Valle del Cauca”.*

En el corto plazo, marzo de 2017, en general se prevé las siguientes recomendaciones:

Al Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) tener en cuenta que durante el mes de abril, se mantiene la probabilidad alta a muy alta de ocurrencia de deslizamientos de tierra y flujos torrenciales, en áreas inestables de laderas y cuencas de alta pendiente en sectores de la Serranía de Baudó, Chocó,

Cauca, Valle del Cauca, Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Caldas, Huila, Risaralda, Quindío, Santanderes Y Tolima y probabilidad de moderada a alta en los departamentos de Putumayo, Caquetá, Casanare y Meta respectivamente". Información recopilada de boletín 266 del IDEAM.

De acuerdo a la ficha técnica de cambio climático, establecida por el IDEAM para Caldas, se evidencia un aumento porcentual significativo en las precipitaciones.

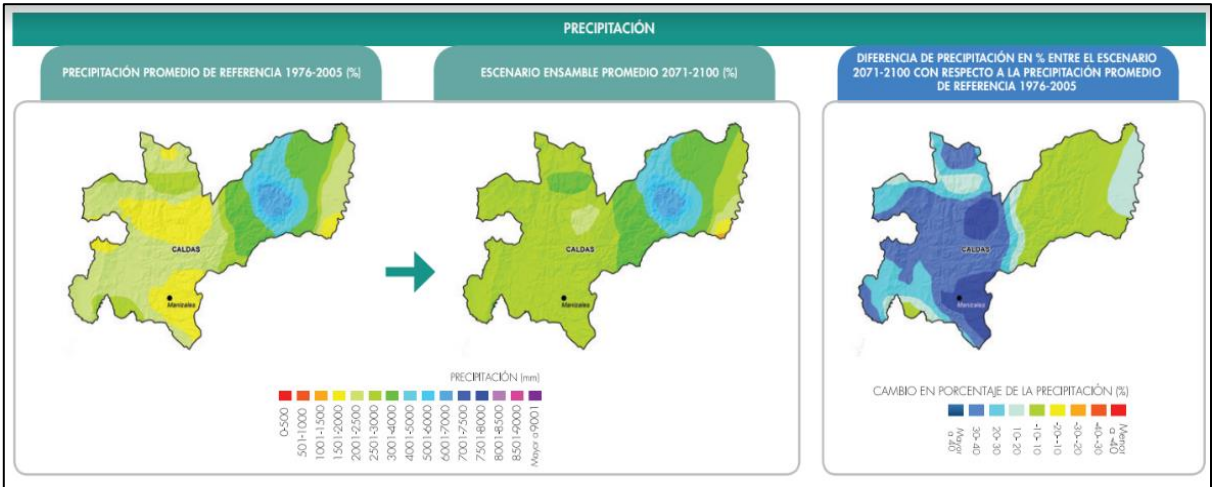


Ilustración 29. Incremento porcentual de la precipitación en Caldas según boletín del IDEAM.
Fuente: IDEAM.

Puntualmente, para la ciudad de Manizales, el incremento porcentual de precipitaciones en el periodo de 1976 a 2005, aumentó más del 40%. En la proyección estimada de las precipitaciones en el Departamento de Caldas, para el periodo 2011- 2100 (IDEAM), se evidencia un aumento de las precipitaciones, hasta del 28,12%.

Tabla 3. Proyección estimada de aumento de la precipitación a razón del cambio climático en Colombia. Fuente: IDEAM.

Tabla convención Temperatura		TABLA POR PERIODOS / ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100						Tabla convención Precipitación	
Cambio	Rango de Valores Temperatura	2011-2040		2041-2070		2071-2100		Cambio	%
		Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)		
Bajo	0 - 0,5	0,9	20,16	1,6	22,61	2,4	28,12	Deficit Severo	<-40%
Bajo Medio	0,51 - 1							Deficit	-39% y 11%
Medio	1,1 - 1,5							Normal	-10% y 10%
Medio Alto	1,5 - 2							Exceso	11% y 39%
Alto	2,1 - 3,9							Exceso Severo	>40%

Dentro del análisis de esta proyección, no se prevé la disminución de las precipitaciones, sino por el contrario, para las regiones Centrosur, bajo occidente y centro occidente, el aumento de las precipitaciones podrá llegar hasta el 30% (IDEAM, ficha técnica cambio climático- Departamento de Caldas).

Con todo la analizado en este ítem, se puede dar rienda a concluir que la saturación de la ladera del barrio González, era previsible, esto por el aumento desmedido de

las lluvias, lo cual se acrecentó debido a la falta de infraestructura para la correcta conducción de las aguas lluvias que salía de los techos de las viviendas ubicadas en la parte superior del talud como por la precipitación directa que caía en la ladera.

7.1 Precipitaciones Diarias Mayores a 100 mm que se han presentado en los últimos 20 años en la ciudad de Manizales.

Ante el fenómeno del cambio climática, y su consecuente impacto en las precipitaciones, se consultó en el IDEA, el histórico de los últimos 20 años respecto de los registros pluviométricos que han superado los 100 mm en la ciudad de Manizales.

Tabla 4. Fechas donde se han presentado precipitaciones mayores a 100 mm en la ciudad de Manizales. **Fuente:** Elaboración propia mediante datos del IDEA.

Estaciones.	Precipitación (mm)	Fecha (aaaa-MM-dd)	Precipitación (mm)	Fecha (aaaa-MM-dd)	Precipitación (mm)	Fecha (aaaa-MM-dd)	Precipitación (mm)	Fecha (aaaa-MM-dd)	Precipitación (mm)	Fecha (aaaa-MM-dd)	Precipitación (mm)	Fecha (aaaa-MM-dd)
Chec- Uribe	102,0	12/02/2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcázares	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Palma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingeominas	120,0	28/10/2003	126,5	10/08/2005	122,4	28/02/2005	105,2	13/11/2018	102,4	30/10/2009	132,0	12/02/2017
El Carmen	149,9	10/08/2005	103,4	30/10/2009	116,6	02/02/2013	-	-	-	-	-	-
EMAS	140,2	18/03/2003	106,8	28/10/2003	-	-	-	-	-	-	-	-
Quebrada Palogrande- Ruta 30.	100,4	08/05/2014	171,2	19/04/2017	-	-	-	-	-	-	-	-
Hospital de Caldas	101,8	14/11/2008	170,2	19/04/2017	-	-	-	-	-	-	-	-
Bosques del Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aranjuez	108,6	18/10/2012	104,0	19/04/2017	-	-	-	-	-	-	-	-
Postgrados	113,3	14/11/2008	116,2	19/04/2017	-	-	-	-	-	-	-	-
Yarumos	126,5	14/11/2008	101,4	05/11/2009	108,7	08/05/2014	117,2	19/04/2017	-	-	-	-
Milán- Planta Niza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Nubia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

La tabla anterior gráfica muestra el fenómeno de la intensificación de las lluvias que se ha dado en la ciudad de Manizales, incrementado por el cambio climático, lo que coincide con los periodos de agudización por la presencia del Fenómeno de La Niña. Este dato histórico, sirve como referencia, ante la presencia de eventos pluviométricos en la ciudad antes del 2017, que han superado los 100 mm, esto quiere decir que no son eventos extraordinarios, sino que tienden a volverse una constante.

Ante la nueva realidad climática y de lluvias, era de esperarse que después de las alertas que había dado Corpocaldas en las visitas realizadas al sector, donde se recalcó el mal manejo de aguas lluvias era previsible la intensificación desmesurada de las lluvias de en relación al fenómeno del cambio climático, lo que se concluye de los datos históricos precedentes, que muestran una tendencia de las lluvias al alza.

Por ende, las entidades encargadas de la Mitigación del Riesgos debieron haber previsto tal situación y haber realizado los correctivos pertinentes, ya que la ladera día tras día, con el aumento de las lluvias, se iba saturando, por ende, su estabilidad bajaba continuamente.

Como se establece por parte de la Comunidad Andina, respecto al riesgo por deslizamientos en la ciudad de Manizales, el que ha incrementado la vulnerabilidad, establece que en las temporadas invernales se presentan problemas por deslizamientos por toda la ciudad (2009). Como referencia histórica, en el año de 1993, se presentaron 20 deslizamientos en la ciudad por el fuerte invierno que se presentó, y, en el 2003, se detectaron más de 90 deslizamientos. Lo que quiere decir, que se tienen referentes históricos de la incidencia directa y la relación entre las temporadas invernales y la ocurrencia de deslizamientos en la ciudad.

8. COMPONENTE HIDROLOGICO.

El barrio González hace parte de la zona tradicional de Manizales con más de 40 años de establecido, donde se han presentado problemas de erosión significativos. Las zonas susceptibles a erosión han recibido tratamiento adecuado por las instituciones encargadas.

Al visitar el sitio en cuestión, se observó un muro de anclajes activos compuesto por cinco hileras en la parte superior derecha del talud, estas construcciones fueron realizadas después del deslizamiento del 19 de abril del 2017. En la parte izquierda de la zona en cuestión se detalló la presencia obras de recolección de aguas lluvias como el canal de rápidas con tapa y columpio y las cunetas de coronación, estas fueron construidas antes del 2017. Lo anterior indica que el talud a lo largo del tiempo tuvo intervenciones por manejo de aguas lluvias mas no por estabilidad a pesar de las constantes advertencias y peticiones realizadas por los habitantes del barrio González. Por otro lado, según los diferentes oficios de Corpocaldas y OMPAD las obras de estabilización del talud eran necesarias por las diferentes observaciones realizadas por estas entidades, las cuales fueron realizadas después del deslizamiento del 2017.

A continuación, se detalla la ubicación de las diferentes obras de estabilidad realizadas en la zona del deslizamiento como también la ubicación de las casas destruidas el 19 de abril del 2017.



Ilustración 30. Ubicación de obras de estabilidad en la zona del deslizamiento. **Fuente:** Elaboración propia por medio de Google Earth.

8.1 Aguas Lluvias.

Para establecer la posibilidad de que las aguas lluvias sean las causantes del fenómeno, primero es necesario establecer cuál es el probable caudal de aguas lluvias, proveniente de la precipitación directa y de la escorrentía que pudo llegar a incidir sobre el talud.

8.1.1 Aguas de escorrentía.

Las aguas de escorrentía son las aguas de lluvia (o nieve derretida en otros lugares) que después de caer corren o fluyen a través de una superficie, en este caso por la cuenca de drenaje. La cantidad de lluvia que cae en un área determinada es transformada por diferentes métodos de cálculo al caudal probable que se recoge en un punto de salida. Para este caso se utilizará el método racional.

El método racional se utiliza en hidrología para determinar el caudal instantáneo máximo de descarga de una cuenca hidrográfica.

La fórmula básica del método racional es:

$$Q_p = C * i_c * A_d$$

Donde:

Q_p = Caudal máximo expresado en m³/s

C= Coeficiente de escurrimiento (o coeficiente de escorrentía)

i_c = Intensidad de la precipitación calculada de la curva IDF establecida para el punto

A_d = Área de la cuenca hidrográfica en m².

La curva IDF para la ciudad de Manizales para la estación de agronomía, se tiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{3896 * T^{0.154}}{(t + 25)^{1.020}}$$

Donde:

Tr: es el periodo de retorno, o sea los años en que la probabilidad de ocurrencia de una lluvia dada es del 100%, para diseños en áreas menores de 2 hectáreas el RAS recomienda 3 años.

t: es el tiempo de concentración y/o de duración de la lluvia. Se adoptan 15 minutos para este caso.

El área de la cuenca hidrográfica se determina por medio de la cartografía y pendientes del sector, que se muestra en la Ilustración 31. Para determinar el área se hizo recorrido de la zona y se revisaron los sentidos de flujo del agua determinados por las vías, los techos y la pendiente, tomando como base la topografía de la ciudad de Manizales. Se debe tener en cuenta que la fotografía mostrada a continuación es del 2021, por lo que los respectivos cálculos y suposiciones realizadas son realizadas en base a las características de la zona en el año 2017.



Ilustración 31. Área aferente para cálculo de caudal. **Fuente:** Elaboración propia a partir de Google Earth.

Datos para el cálculo:

Tabla 5. Datos iniciales para el cálculo del caudal. **Fuente:** Elaboración propia.

Área aferente	1513	m ²
Coeficiente de escorrentía	0.60	Adimensional
Periodo de retorno	3	Años
Tiempo de concentración	15	Minutos

Calculando la intensidad se tiene:

$$I = \frac{3896 * 3^{0.154}}{(15 + 25)^{1.020}} = 107.15 \frac{mm}{h}$$

Por otra parte, teniendo en cuenta el valor de la intensidad y demás datos propuestos, se calcula el caudal de diseño.

$$Q = \frac{0.60 * 107.15 * 0.1513}{360} = 0.02702 \frac{m^3}{s}$$

De acuerdo con este cálculo, la cuenca aferente al sitio del derrumbe debe estar preparada para captar hasta 0.02702 m³/s, caudal que se daría con una precipitación de 107.15 mm/hora.

Según los datos de precipitación de la estación del hospital de Caldas, el día 18 de abril del 2017 este tuvo un valor de 35.8 mm y el día 19 de abril del mismo año se presentó una precipitación de 170.2 mm haciendo imposible la búsqueda de sobrevivientes en los diferentes derrumbes presentes en la ciudad de Manizales.

Por lo anterior, no es posible que las aguas de escorrentía hayan provocado la saturación del talud y generado por esto el derrumbe, teniendo en cuenta que la precipitación del día anterior al deslizamiento es mucho menor comparado a la intensidad de diseño para un periodo de 3 años.

8.1.2 Saturación por precipitación directa.

Desde el punto de vista hidrológico, se puede considerar esta como una posibilidad cierta, partiendo de la base de que en el periodo previo al evento se presentó una serie de lluvias bastante alta, lo que eventualmente pudo llevar a la saturación del terreno.

Los fenómenos hidrológicos están comprendidos dentro del ciclo del agua, por tanto, la lluvia que cae hace parte del ciclo de agua, entonces las aguas lluvias se destinan una parte a la escorrentía superficial, una parte corresponde a la evaporación, consumo de las plantas y animales y otra parte a la infiltración en el suelo.

Para que este ciclo se cumpla debe existir un balance hídrico, es decir, como en contabilidad debe haber entradas, salidas e inventario. Para analizar el aspecto del agua de infiltración se procede a elaborar un balance hídrico en la zona afectada

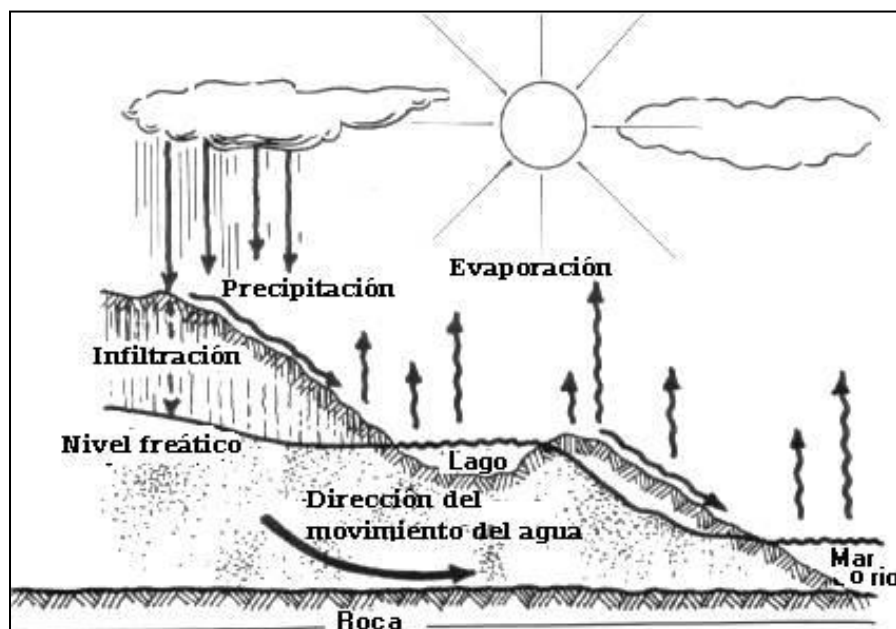


Ilustración 32. Ciclo del agua. **Fuente:** Google

El balance está orientado a poder establecer, si existe relación directa entre el fenómeno del movimiento de masas presentado en noviembre pasado y el ciclo hidrológico presentado, especialmente, considerando las altas precipitaciones presentadas.

Para establecer el balance hidrológico se requieren los siguientes insumos:

- Estadísticas de lluvias diarias, basadas en la(s) estación(es) meteorológica(s) disponible(s).
- Propiedades del suelo: Humedad natural inicial del suelo, Límites de Atterberg para el suelo: límite plástico y límite líquido.
- Coeficiente de escorrentía.
- Coeficiente de percolación del manto rocoso
- Área de infiltración.

8.1.2.1 Estadísticas de lluvias diarias, basadas en las estaciones meteorológicas disponibles.

En el departamento de Caldas a finales de la década del noventa instaló la red meteorológica e hidrometeorológica con el fin de prever y transmitir información oportuna e instrucciones en caso de emergencia. Se montó principalmente en la ciudad de Manizales debido a que esta ha padecido recurrentes episodios de

crecidas, avalanchas e inundaciones en varias de sus cuencas urbanas, que tienen asentamientos formales e informales en sus orillas: industrias, establecimientos públicos y privados, vías, puentes y líneas vitales. Las estaciones permiten la recolección de diferentes datos de monitoreo tales como pluviales como de nivel de caudal en quebradas entre otros muchos más.

Con lo anterior y mediante el uso del geoportal de la universidad nacional sede Manizales (SIMAC), se ubicó la estación meteorológica más cercana al barrio González, siendo esta la Estación Hospital de Caldas, tal y como se muestra en la Ilustración 33. La metodología utilizada para escoger esta estación en cuestión:

- Se localizaron las distintas estaciones cercanas al barrio González, donde se procedió a realizar un análisis de localización de las estaciones y como están tienen una influencia directa según su punto de recolección de datos. Con esto en mente se observó que por cercanía al Barrio González la estación propicia era la del Hospital de Caldas. Si bien era posible realizar un promedio de datos entre las estaciones cercanas a la zona de estudio, la forma en la que llueve en la ciudad de Manizales es muy irregular, por lo que al promediar estos datos se podría tener una mayoración o disminución y no ser consecuentes al comportamiento de lluvias reales en la zona de estudio.

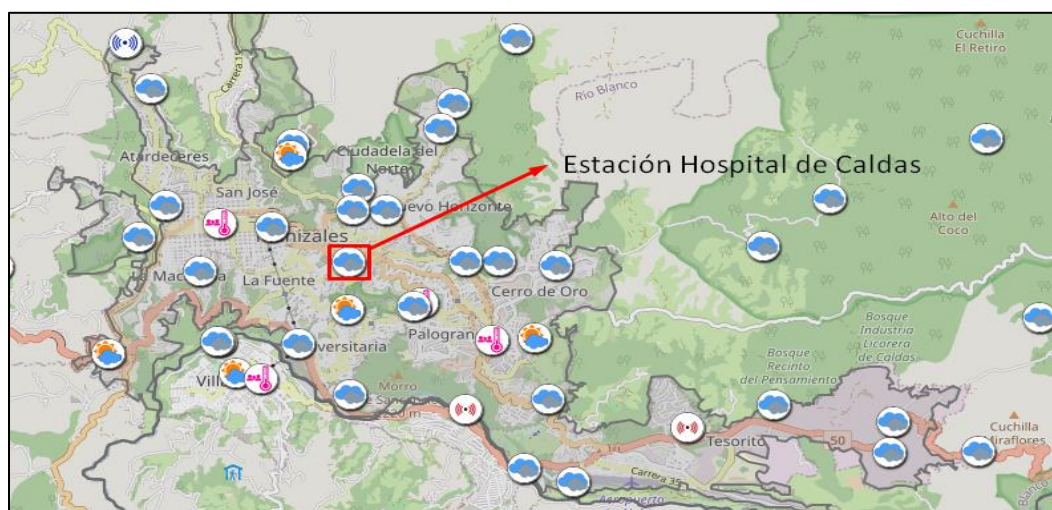


Ilustración 33. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la ciudad de Manizales. **Fuente:** SIMAC.

Teniendo en cuenta la elección de la estación, se recolectó la información de precipitación de esta en los años 2016 y 2017, teniendo los siguientes datos en milímetros:

Tabla 6. Registro de lluvias diarias para la estación Hospital de Caldas para el año 2016. **Fuente:** SIMAC.

ESTACIÓN HOSPITAL DE CALDAS												
Dia\Mes	2016											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0	0	1,6	2,6	0,4	2,2	1	0	13,4	21,8	27,4	10,6
2	1,4	0	1,6	6,2	39,4	0,8	0	16,6	0,6	0	0	13,2
3	0	0	3,8	2,8	0,6	2,2	2	1,6	0,6	0	44	1
4	4	26,2	56,4	10	0	0,2	0,2	3	2,2	1	6,8	0,4
5	1,4	0,2	68,4	0	0	0	8,8	0	9,6	23,4	4,8	12
6	10,6	0	5,8	0	7,4	4,8	7	0	1	45,8	2,2	1,2
7	0	0	6	1,8	5,6	8,2	0	0	5,8	1,8	12,2	13
8	0	0	0	0	11	0	0	0	0		0	11
9	0	0	0	0	3,8	10	0	0	5,6	0,6	0	34,2
10	1,8	0	0,4	0,8	18	1,4	0	9,6	9,2	1	0	9,2
11	0,8	0	0	39,8	5,6	0,4	0,8	0	7,4	3	5	0
12	0	0	9,4	38,8	1,8	0	0,2	0	4,2	12,6	0,8	0
13	0	8,2	2	3,8	5,2	0	1,6	0	15,2	0	17,4	12,4
14	0	0	1,2	0	0	4,6	0	1,6	27,6	6,4	37,2	0
15	0	3,2	0	0	0	0,4	6,8	0	0,2	7,2	1,6	0
16	0	0	0,4	0	0	0	9	0	0	0	0	2,6
17	0	0,8	4,2	0	1,6	0	0,2	0	1	0,6	11,6	0,6
18	0	0	0	0	0,2	0	2,6	1	0	7,8	3,8	0,4
19	0	0	0	0	4,8	1	8,4	0	0	0,2	26,8	1,8
20	0	53,6	0	0	1,4	3,8	1	0	0	0	2,6	0,6
21	3,8	44,2	0	0	0	0,2	0	0	2,6	0	0	9,6
22	0	1,2	2,6	0	0	0	0	0	1,2	1	0	0
23	5,8	2,2	0	0	0	0	0,6	0	0	0,4	0	0
24	2	0	0	13	0	0,4	2,2	0	0	0	0	0
25	0	2,8	0	1	0,6	0,8	5	16,6	0	25,8	20	0
26	0	0	0	1,2	5,4	5,2	4,4	63,4	0	71	3	5
27	0	0	4,2	0	0,6	0	1,2	1	0	0	24,6	4,4
28	0	0	0,2	11,6	9,2	0	0	24	0	8,2	0	0,8
29	0	0	0	1	5,2	0	0	1,2	10	4	3	24,4
30	0		39	17,4	0,6	0,4	0,6	1,4	14,8	0	0,8	1,6
31	0		0		5,8		0,2	5,2		28		3,6
LL. MAX	10,60	53,60	68,40	39,80	39,40	10,00	9,00	63,40	27,60	71,00	44,00	34,20
LL. PROM	1,02	4,92	6,68	5,06	4,33	1,57	2,06	4,72	4,41	9,05	8,52	5,60
LL. ACUM	31,6	142,6	207,2	152	134,2	47	63,8	146,2	132,2	271,6	255,6	173,6
D. LLUVIA	9	10	16	14	21	18	21	13	19	22	20	23

Tabla 7. Registro de lluvias diarias para la estación Hospital de Caldas para el año 2017. Fuente: SIMAC.

ESTACIÓN HOSPITAL DE CALDAS												
DiaMes	2017											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0	2	6,4	0	25,2	1,2	1,8	0	0	0	4	4,6
2	0	0	2,6	0	25,8	0	1,4	0	0	0,4	4,8	0
3	0	0	4	0	3,2	0	0,8	5,8	0,2	3,6	20	0,8
4	21,2	0,6	0	0	6,6	1,6	0	8	0,2	23,2	33,6	0
5	2,6	0	0	0	24	0	0	0	7,2	28,6	0	0
6	23,6	0	0,4	0	21,2	0	0	0	0,2	6,8	0	0
7	21,8	0	19,4	0	3,6	14,6	0	0,6	4	0	17,8	26,2
8	7,8	0	28,2	0	26,2	15	0	0	9	0	0,2	0,2
9	0,4	5,8	0	22,6	17	1	0	3,8	8	2,4	5,4	
10	0,2	0	33,6	0,8	4	7,4	0,6	0	13,2	0	27,6	
11	6	0	44,2	2,8	39,4	9	12,6	3,4	0	0	4,6	8
12	0,2	92,4	3,2	3,8	15,6	26	0	0	1,8	0,4	0	9,6
13	4,2	0	2	0	11,8	1,6	2,8	0	4,2	0	1	0
14	0	0	6,4	13,4	13,8	0,4	0,2	0	0,2	0	20,8	0
15	8,2	0	17,4	0	15,2	8,8	11,6	0	2,6	0	2,2	0
16	6	4,2	0	5,6	34,4	0	1,2	0,4	0,2	0	11,2	0
17	8,6	0,8	8,6	8,2	6,2	5,2	0	0	0	0	73	0
18	48	0	5,2	35,8	3,6	1,8	1,6	21,2	1,4	0	24,2	0
19	0	0	21,2	170,2	0,6	2,6	10,8	24,8	0	0	8	0
20	9	0	4,2	10,8	4	5,4	1,4	2,2	1,6	1,6	14,4	0
21	72,4	2,8	0	0	3,6	1	0	1	0	2,4	0,6	0
22	0	35,6	3,2	0	0,6	0	0	0	0,8	2,4	1,8	0
23	0	0,2	3,2	0	0	3,6	0	0	8,6	0	36,6	0
24	0	0	20,4	0,8	0	0	0	5	4,6	13	0,4	0
25	0	0	6,2	15,8	0	16,6	0	0	0,8	0,6	1,8	32,6
26	0	9	0	27,4	0	4,2	0	1,4	0	6,2	1	4,4
27	0	0	0	0	0	5,8	0	1,4	0	7	3,8	4,8
28	0	0	9,8	0	0	1,4	0,8	1	0,8	23,6	0	33
29	0		0,2	0,8	0,4	15,4	0,2	0	11,6	2,8	2	25,6
30	4,6		6,6	21	0	4,2	2,2	0	17,6	6	20,8	10,8
31	0		4		0		3,2	0		12,8		27,6
LL. MAX	72,4	92,4	44,2	170,2	39,4	26,0	12,6	24,8	17,6	28,60	73,00	33,00
LL. PROM	7,90	5,48	8,41	11,33	9,87	5,13	1,72	2,58	3,29	4,64	11,39	6,49
LL. ACUM	244,8	153,4	260,6	339,8	306	153,8	53,2	80	98,8	143,8	341,6	188,2
D. LLUVIA	17	10	24	15	23	23	16	14	22	18	26	15

Según las dos tablas mostradas con anterioridad se muestran las lluvias acumuladas para ambos años, como el acumulado entre las fechas 19 de abril del 2016 al 19 de abril del 2017.

Tabla 8. Acumulado de lluvias años 2016 y 2017. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos meteorológicos SIMAC.

Estación Hospital de Caldas	
Año	Acumulado de lluvia (mm)
2016	1757,4
2017	2364,0
Junio 2016 a mayo 2017	2395,0

8.1.2.2 Propiedades del suelo.

Con el fin de poder hacer los respectivos cálculos para obtener la saturación del suelo mediante precipitación directa, es necesario saber los valores de humedad natural, límite líquido y el espesor medio de la capa de suelo. Teniendo en cuenta lo anterior se asumirá las condiciones del suelo según la geomorfología de la ciudad de Manizales teniendo como base la plancha de geología 206 para la región de Caldas como la información extraída del documento “Estudio de la relación lluvia-deslizamientos en la ciudad de Manizales”.

Tabla 9. Parámetros geotécnicos en la ciudad de Manizales. **Fuente:** Estudio de la relación lluvia-deslizamientos en la ciudad de Manizales.

PARÁMETRO GEOTECNICO	RANGO VALORES
Peso unitario húmedo	1,5-1,9 ton/m ²
Humedad natural	25%-65%
Pasante del tamiz No.200	30%-90%
Límite líquido	30%-100%
Límite plástico	20%-50%
SUCS	SM, MH y ML
Cohesión efectiva	1-6 ton/m ²
Ang. de fricción interna efectivo	24°-40°
Permeabilidad	2-85 cm/día

Para este caso en específico se asumieron los siguientes valores teniendo en cuenta la tabla anterior.

Humedad Natural	45%
Límite Líquido	65%
Espesor medio de la capa de suelo	5 m

8.1.2.3 Coeficiente de escorrentía.

Para la zona del derrumbe, antes de haberse producido este, se cuenta con una zona de pendiente alta, cobertura vegetal de césped bajo en las zonas verdes y pavimentada con concreto en vías y patios aledaños. Para estas condiciones la literatura recomienda un coeficiente de escorrentía entre 0.6 y 0.7, para efectos de este análisis se adopta 0.6, es decir se considera que un 60% del agua lluvia, se convierte en escorrentía y el restante 40% se convierte en infiltración, evaporación o es absorbido por las plantas, considerando toda el área de la cuenca, que en su gran mayoría esta techada y pavimentada.

8.1.2.4 Otros aspectos considerados.

La evapotranspiración es un valor significativo difícil de evaluar y para efectos del análisis, se considerará con valor 0, lo que introduce un error, pero que, para el presente estudio, incrementa los niveles de saturación. Se cubre así también, cualquier error al no considerar de manera detallada patios, zonas verdes y otras fuentes de saturación desconocidas.

8.1.2.5 Balance hídrico.

El balance hídrico se realizó teniendo como base el concepto de saturación del suelo por precipitación directa y como las propiedades del suelo juegan un gran papel a la hora de establecer los cambios de humedad y concentración de aguas en los niveles inferiores del subsuelo. Se entiende como límite líquido como el contenido de humedad en la frontera ente los estados de consistencia plástica y semilíquida, cuando este se supera se dice que el terreno pasa a una consistencia “fluida”, teniendo así una alta probabilidad de perder la estabilidad del suelo por saturación de este.



Ilustración 34. Esquema del comportamiento del suelo según los límites de Atterberg. **Fuente:** Google.

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza el balance hídrico con base a los siguientes parámetros asumidos:

Caudal base: 47 mm/mes.

Humedad natural = Limite húmedo: 45% Inicial

Limite liquido: 65%

Coeficiente de escorrentía: 0.6

El caudal base se refiere al caudal esperado que se mantenga en el subsuelo a lo largo del balance hídrico, para este caso se tomó el valor de precipitación en temporada seca siendo este junio del 2016. El balance hídrico toma como base los datos asumidos en el primer mes del cálculo, el cual se estableció como el mes de junio. En primera estancia se calcula la escorrentía y la infiltración con base al coeficiente de escorrentía definido con anterioridad. Se le da el valor de 45% a la humedad natural en el mes de junio. Se tienen los siguientes cálculos realizados:

$$\text{Aporte por precipitación} = \frac{\text{Infiltración}}{1000}$$

$$\text{Decremento por percolación} = \frac{47\text{mm}}{1000}$$

$$\text{Remanente} = \text{Humedad natural} + \text{aporte por precipitación} - \text{Decremento por percolación}$$

Se debe aclarar que la humedad natural para meses posteriores a junio (donde se asumió el valor de 45%) será igual al valor calculado como remanente. A continuación, se detalla los valores obtenidos en el balance hídrico entre el periodo de junio del 2016 a mayo del 2017.

Tabla 10. Balance hídrico. **Fuente:** Elaboración propia.

Parámetros		2016							2017				
		Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Lluvia acumulada	mm	47	64	146	132	272	256	174	245	153	261	340	306
Coeficiente de escorrentía	C	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Escorrentía		28	38	88	79	163	153	104	147	92	156	204	184
Infiltración		19	26	58	53	109	102	69	98	61	104	136	122
Humedad natural	%	45%	42%	40%	41%	42%	48%	53%	56%	61%	62%	68%	77%
Aporte por precipitación	%	2%	3%	6%	5%	11%	10%	7%	10%	6%	10%	14%	12%
Decremento por percolación	%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Remanente	%	42%	40%	41%	42%	48%	53%	56%	61%	62%	68%	77%	84%

Observando la tabla anterior, se muestra que el remanente de humedad en los meses de marzo, abril y mayo del año 2017, superan el límite líquido establecido en un principio teniendo así que se presentaba una saturación del terreno ya no soportable para el talud. Es de anotar que el deslizamiento ocurrió en el mes de abril, pero desde el mes de marzo el talud ya presentaba una saturación considerable, que solo aumento en el mes de abril, donde se generó el deslizamiento, dejando así la completa destrucción de cuatro viviendas. Situación que era de esperarse, por no haberse procedido con la ejecución de las obras de mitigación de riesgo, puesto que se había identificado el mal manejo de aguas lluvias desde el año 2009.

Al llegar el talud a su límite de saturación para llegar a la falla, ante la ausencia de obras de mitigación, se hace inevitable su derrumbe, a diferencia de los taludes que poseían obras de estabilización, que soportaron estables la condición de saturación.

9. OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO QUE PUDIERON EJECUTARSE EN LA ZONA DEL BARRIO GONZÁLEZ.

En la visita realizada por Corpocaldas en el 2009, se indicó que la acequia existente, la encargada de la recolección de las aguas lluvias de la ladera, tenía una capacidad hidráulica deficiente para las condiciones pluviométricas cambiantes de la zona, teniendo como base la escorrentía directa en la ladera. Para ello como recomendación, indicaron construir una nueva acequia para aumentar su capacidad hidráulica y/o construir zanjas colectoras.

Las acequias (Gartner, Juan, David) son pequeños canales de sección semicircular, muy económicos y de fácil construcción que sirven para la captación y conducción de las aguas de escorrentía hacia estructuras de bajada de mayor capacidad o a hacia cauces naturales estables (2005).



Ilustración 35. Acequia de ladera. **Fuente:** Google.

Esta obra, habría permitido que la recolección de las aguas lluvias del sector, se hiciera adecuadamente, puesto que, si no se aumentaba la capacidad hidráulica, dado que la obra que existente antes del 2017, era una acequia de menor dimensión lo que daba como resultado una insuficiencia para las necesidades del sector.

Como lo indican Escobar Potes y Duque Escobar (2017): “Las acequias son estructuras económicas, de fácil construcción. Por lo general son complementadas con estructuras menores como trinchos o barreras vivas. Se prefieren secciones semicirculares por facilidad de construcción, economía y eficiencia hidráulica. En laderas de pendientes fuertes van siempre revestidas en concreto con espesor de 5 cm. Las acequias se entregan a canales colectores o a cauces naturales estables.”

Para el caso en estudio, se pudo haber construido una acequia con mayor capacidad hidráulica, si la visita fue realizada el 30 de septiembre del 2009, y se proyecta la ejecución de obra a un plazo de 15 días, pudo tenerse lista finalizando el año 2009.

A su vez, las zanjias colectoras, son obras con mayor eficiencia y redundancia en la ladera, puesto que al ser construidas a media ladera realizan la recolección de los caudales de agua lluvia y de escorrentía, lo que indica que es una estructura de drenaje más eficaz que las acequias. Como lo indica Gartner (2005) previniendo la formación de corrientes de agua que erosionen el talud formando surcos y cárcavas. Generalmente se construyen en concreto simple.

Este tipo de obras, son una solución efectiva para impedir la erosión del terreno. Como lo indican Escobar Potes y Duque Escobar (2017): “Las zanjias colectoras se acostumbran acompañar con una berma que permita el tránsito de una persona con la herramienta adecuada para realizar el mantenimiento necesario. Así mismo, el ancho del fondo de la zanja debe permitir introducir una pala; en lo posible debe ser mayor de 25 centímetros. La capacidad y la velocidad del flujo en una zanja colectoras es función de la sección hidráulica y de la pendiente. El cálculo de la sección se soporta en la fórmula de Manning.”



Ilustración 36. El tratamiento de una ladera con taludes separados por canales que permiten el ordenamiento de las de escorrentía y freáticas. **Fuente:** Carlos E. Escobar P.



Ilustración 37. Tratamiento típico con zanjas colectoras. **Fuente:** Carlos E. Escobar P.



Una intervención de la ladera, mediante la ejecución de zanjas colectoras, habría sido altamente eficaz y efectiva, para mantener el factor de seguridad de la ladera, impidiendo la pérdida de este, lo que impediría la saturación progresiva de la zona lo cual haría poco probable la superación del su límite líquido, característica importante para la estabilidad del suelo. Aproximadamente, si se hubiera intervenido todo el talud, mediante la inserción de zanjas colectoras, estimando una duración de ejecución de 15 días, se proyecta que la obra se habría culminado aproximadamente, a principios del mes de diciembre.

La repercusión, sobre la ladera, que habría tenido la ejecución de estas obras, es que, al ser estructuras de drenaje, habrían impedido, que, con las condiciones adversas de la ladera, es decir, las altas condiciones de pendiente, el cambio geomorfológico, el inadecuado manejo de aguas lluvias y el aumento de estas últimas por el cambio climático, la ladera no hubiera presentado una saturación, por

ende las condiciones de estabilidad del terreno dadas por los límites de Atterberg, más específicamente el límite líquido no se hubiera sobrepasado. Como lo precisan Escobar Potes y Duque Escobar (2017): “La presencia de las estructuras hidráulicas concentran las aguas de escorrentía y disminuyen los tiempos de concentración, incrementando los caudales pico durante los aguaceros”. En otras palabras, si se hubiera realizado a tiempo las obras, la concentración de agua en la ladera por el incremento de las lluvias en los meses de anteriores al suceso no habrían impactado la ladera, el drenaje hubiera sido el correcto desde el punto de vista técnico, y, por ende, la desestabilización no se habría dado. Lo anterior, atendiendo las recomendaciones realizadas por Corpocaldas, desde el 2009.

Sin embargo, también pudieron desarrollarse las siguientes obras de mitigación del riesgo en la ladera del Barrio González, las que habrían sido útiles para mantener el factor de seguridad de la ladera e impedir que la misma llegara a su límite líquido, por el efecto directo de las aguas lluvias

Tabla 11. Estructuras propuestas. **Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 11. Estructuras propuestas. Fuente: Elaboración propia.		
NOMBRE OBRA	Estructuras de bajada- Canal en concreto reforzado	
Descripción	Se utilizan principalmente, para prevenir la erosión en una ladera con alta pendiente	
Duración aprox.	1 mes y medio	
Efectividad	Es una obra que resulta efectiva, porque brinda una protección al talud, impidiendo su saturación. Pues da un control total de las aguas lluvias y de escorrentía.	
NOMBRE OBRA	Canal de rápidas con tapas	
Descripción	Gartner (2005) Consiste en una serie de rápidas lisas de sección recta, rectangular que se interrumpen en las terrazas de un talud tratado o cada cierto tramo, de tal forma que en la transición de una rápida a otra se tiene un columpio o salto de esquí, que defleca el chorro y lo proyecta contra una tapa existente en el inicio de la rápida siguiente aguas abajo, lo que genera en el módulo columpio - tapa una vigorosa turbulencia y aireación del flujo, que se disipa por esa vía y por la del impacto con la tapa, buena parte de su energía antes de continuar su camino hacia la siguiente rápida	
Duración aprox.	20 días	
Efectividad	Es una obra que resulta efectiva, porque brinda una protección al talud, impidiendo su saturación. Pues da un control total de las aguas lluvias y de escorrentía.	

10. CONCLUSIONES.

- En los antecedentes que datan desde el 2009 se identificó una falencia en el manejo de aguas lluvias, que de acuerdo a la información recopilada no fue mitigada en debida forma por las autoridades. Pese a haberse emitido una serie de recomendaciones técnicas por parte de Corpocaldas donde se señalaba la necesidad de tener un manejo adecuado de las aguas lluvias de manera eficaz y adecuada, estas no fueron realizada de manera oportuna.
- La zona de análisis donde ocurrió el evento de deslizamiento, se encontraba catalogada en el POT para la fecha de ocurrencia del suceso, como una zona de alto riesgo y amenaza por movimientos en masa, lo que significa, que las autoridades estaban en la obligación de acatar las distintas recomendaciones entregadas por las autoridades mencionadas con anterioridad, esto con el fin de prever y mitigar posibles acontecimientos de riesgo para la comunidad.
- Las condiciones de la zona, ameritaban la intervención de las autoridades, teniendo en cuenta, la topografía montañosa, geomorfología y condiciones pluviométricas presentes en el talud en cuestión.
- El talud, se acercó a su límite líquido desde el mes de marzo del 2017, lo que quiere decir, que este, se encontraba en condiciones de saturación máxima permisible para las condiciones del suelo presente en la ladera, lo que ya de por si superaba las condiciones permisibles de estabilidad dando así que el talud estaba en un punto de inseguridad e inestabilidad latentes, teniendo así que las lluvias presentadas antes del al evento pluviométrico de abril del 2017, aumentaron aún más la saturación del terreno y la superación del límite líquido permitido por el terreno en el talud. Lo anterior, indica, que no fue este evento (lluvias registradas el 19 de abril del 2017) el que condicionó o determinó la ocurrencia del movimiento en masa, sino que fueron por la falta y/o inadecuadas obras de recolección de las aguas lluvias, las que ocasionaron que la ladera fallara.
- Si una ladera como la del Barrio González, se expone a un inadecuado manejo de aguas lluvias, y a un aumento, gradual de las lluvias, por la agudización de las olas invernales debido al cambio climático, la consecuencia irremediable, es que el talud, pierda su factor de seguridad, más aún, si no se implementan obras, para mitigar el riesgo.
- El aumento de las aguas lluvias, ha sido progresivo, y atiende al cambio climático como factor determinante, como se desarrolló en el presente dictamen, se evidencia una tendencia al aumento progresivo en los registros anuales de las lluvias.
- Si se hubieran acatado y ejecutado las recomendaciones realizadas por Corpocaldas desde el 2009, las obras se habrían tenido materializadas

desde enero del 2010, lo que habría permitido un control de las lluvias y por ende en la estabilidad de la ladera, y el evento del 19 de abril del 2017 no se habría presentado.

- Al no haberse ejecutado ninguna obra de mitigación en la ladera, permitió que el mal manejo de aguas lluvias, y el incremento continuo de los índices pluviométricos por la agudización del fenómeno de la niña determinados por el cambio climático, conllevaron a que la ladera perdiera su factor de seguridad y llegara a su límite líquido.
- Desde el punto de vista técnico, se afirma que la ocurrencia de un evento así en el Barrio González era predecible, debido a que desde el 2009 se identificó que las aguas lluvias no estaban siendo recogidas de manera adecuada, en esta ladera, si se toma en cuenta las olas invernales que se han presentado entre 2011 y 2017, se encontró que, la ladera fue sometida a condiciones extremas, que, con el paso del tiempo, fueron afectando su factor de seguridad, hasta que finalmente, presentó una falla.
- Lo anterior, no se hubiera presentado, si en la ladera, se hubiera realizado una intervención por parte de las autoridades, con el fin de recolectar adecuadamente las aguas lluvias y de escorrentía, y así evitar la saturación de la ladera.

11. BIBLIOGRAFIA.

- INGEOMINAS, 1998. Plancha geológica 206. Departamento de Caldas.
- IDEA, Universidad Nacional, sede Manizales. 2012.
- Padilla Cruz, Juan Carlos y García Vásquez, Jorge Eliécer, 2004. Cartografía, caracterización e inventario preliminar de las áreas con tratamiento geotécnico en el perímetro urbano del municipio de Manizales a escala 1:2.000. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología. Manizales.
- Osorio Sierra, Paula Andrea y Zuluaga Moreno, Sandra Marcela, 2003. Delimitación cartográfica y caracterización geomecánica de los llenos de cauce de la vertiente norte del río Chinchiná, entre la divisoria oriental de la quebrada el Guamal y la Estación Uribe, la Avenida Santander y el río Chinchiná, de la ciudad de Manizales a escala 1:2000. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología. Manizales.
- Villanueva Ospina, Luis Carlos, 2009. Caracterización de áreas fuente de sedimentos, cuantificación de la tasa de transporte en la cuenca del río Chinchiná y su influencia en el embalse Camaguadua; escala 1:50000. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología. Manizales.

- Hernández Burbano, Tulia Elena; 2011. Informe Visita Técnica 195. Desastre barrio Cervantes. Personería Municipal de Manizales; Personería delegada para contratación estatal, medio ambiente e ingeniería – CEMAI
- Valderrama Giraldo, Juan Sebastián; 2019. Estudio de la relación lluvia-deslizamiento en la ciudad de Manizales. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- Riesgo en la zona andina tropical por laderas inestables. Duque Escobar, Gonzalo (2000) In: Simposio Sobre Suelos del Eje Cafetero, Proyecto UTP - GTZ, 8 de noviembre 2000, Manizales.
- Duque Escobar, Gonzalo. La encrucijada ambiental de Manizales. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
- Manizales, una tragedia más en Colombia; 2017. Instituto de estudio urbanos – IEU.
- Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F. Climatología Trimestral de Colombia. Grupo de modelamiento de tiempo, clima y escenarios de cambio climático. Subdirección de Meteorología IDEAM.
- Andina, Comunidad. La gestión local del riesgo en una ciudad andina: Manizales, un caso integral, ilustrativo y evaluado. 2009.
- IDEAM, Tomo 1: Colombia afectada por El Niño y la Niña en el periodo 2012 a 2014 y proyecciones climáticas a 90 años. Bogotá, D. C., 2015. 100 páginas.