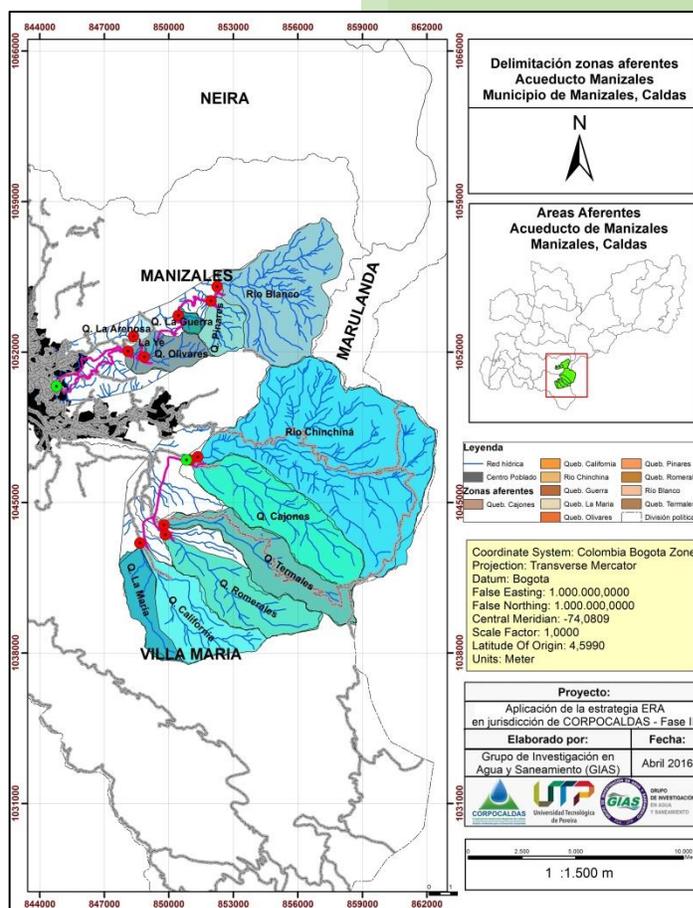


CONTRATO 246-2015: APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA-ERA EN JURISDICCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS, FASE III. Informe “Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales”.





CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CALDAS – CORPOCALDAS

Director

Juan David Arango Gartner

Supervisora Contrato

Paola Alejandra Vásquez Cardona
Subdirección Evaluación y Seguimiento Ambiental

EQUIPO DE TRABAJO

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN AGUA Y SANEAMIENTO – GIAS
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

Director

Diego Paredes Cuervo
Ingeniero Sanitario
M.Sc. in Water and Environmental Resources Management
Ph.D. Ingeniería

Asesora

María del Pilar Pulgarín
Ingeniera Ambiental
M.Sc. Ecotecnología
Ph.D. (C) Ciencias Ambientales

Coordinadora Proyecto

Janneth Cubillos Vargas
Ingeniera Ambiental
M.Sc. Ecotecnología

Apoyo Técnico

Julian Enrique Lasso Rosero
Ingeniero Agrícola
M.Sc. Ciencias Ambientales

Alexander Sánchez
Geólogo

Jesica Leandra Ramírez Cardona
Administradora Ambiental
M.Sc. Medio Ambiente y Desarrollo

Juan Carlos Sierra Ríos
Administrador Ambiental
M.Sc. Sistemas de Información Geográfica

Manizales, Colombia

Julio de 2016

Contrato 246-2015

Informe “Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales”



TABLA DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. GENERAL.....	12
2.2. ESPECÍFICOS.....	12
3. METODOLOGÍA.....	13
4. GENERALIDADES DE LAS MICROCUENCAS.....	19
5. COMPONENTES DE LA AMENAZA.....	25
5.1. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICROCUENCAS ABASTECEDORAS.....	25
5.2. HIPSOMETRÍA.....	27
5.3. PENDIENTES.....	28
5.4. PRECIPITACIÓN.....	32
5.5. COBERTURAS Y USOS DEL SUELO.....	41
5.6. GEOLOGÍA.....	48
5.6.1. <i>Geología Regional</i>	48
5.6.2. <i>Geología Estructural</i>	57
5.6.3. <i>Formaciones Superficiales</i>	58
5.6.4. <i>Geomorfología Regional</i>	59
6. DIAGNOSTICO DE LA AMENAZA.....	64
6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS AMENAZAS QUE PUEDEN AFECTAR EL SISTEMA.....	66
6.1.1. <i>Amenaza Movimientos por Cambio Climático</i>	66
6.1.2. <i>Amenaza por variabilidad Climática</i>	71
6.1.3. <i>Amenaza por calidad del agua</i>	84
6.1.4. <i>Amenaza Movimientos en Masa o Procesos Erosivos</i>	91
6.1.5. <i>Amenaza por Inundación</i>	95
6.1.6. <i>Amenaza Sísmica</i>	98
6.1.7. <i>Amenaza Volcánica</i>	101
6.1.8. <i>Amenaza por Incendios Forestales</i>	104
6.1.9. <i>Amenaza de Origen Antrópico</i>	104
7.1. VULNERABILIDAD SOCIAL.....	107
7.2. VULNERABILIDAD ECONÓMICA.....	108
7.3. VULNERABILIDAD FÍSICA.....	109
7.4. VULNERABILIDAD AMBIENTAL O ECOSISTÉMICA.....	109
7.5. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD.....	110
7.5.1. <i>Vulnerabilidad a Movimientos en masa</i>	112

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



7.5.2.	<i>Vulnerabilidad a Inundaciones</i>	112
7.5.3.	<i>Vulnerabilidad a Movimientos Sísmicos</i>	115
7.5.4.	<i>Vulnerabilidad a Fenómenos Volcánicos</i>	115
7.5.5.	<i>Vulnerabilidad a Incendios Forestales</i>	116
8.	ANÁLISIS DEL RIESGO	117
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
10.	BIBLIOGRAFÍA	124



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de valores para la ponderación dependientes.....	16
Tabla 2. Tabla de valores para la ponderación de usos del suelo.....	16
Tabla 3. Tabla de valores para la ponderación para unidades o formaciones geológicas.....	16
Tabla 4. Tabla de valores para la ponderación para fallas geológicas.....	17
Tabla 5. Tabla de valores para la ponderación de las geoformas presentes en el área de interés.....	17
Tabla 6. Tabla de valores para la ponderación de variables en el área de interés.....	17
Tabla 7. Tabla de valores para la valoración de la amenaza en el área de interés.....	18
Tabla 8. Tabla de valores para la valoración de la vulnerabilidad en el área de interés.....	18
Tabla 9. Áreas de las microcuencas evaluadas.....	21
Tabla 10. Información técnica de las microcuencas abastecedoras de la Plantas Niza y Luis Prieto.....	24
Tabla 11. Resultados del análisis morfométrico de las microcuencas aferentes al acueducto de Manizales.....	25
Tabla 12. Valores utilizados para el cálculo de pendientes en el área del proyecto.....	30
Tabla 13. Relaciones para la categorización del índice morfométrico en las microcuencas de estudio.....	38
Tabla 14. Clasificación del índice Morfométrico para las microcuencas de estudio.....	38
Tabla 15. Clasificación del Índice de Variabilidad.....	39
Tabla 16. Tabla de clasificación del IVET.....	39
Tabla 17. Determinación de IVET para las microcuencas de estudio.....	40
Tabla 18. Áreas de las microcuencas evaluadas.....	44
Tabla 19. Formaciones superficiales.....	59
Tabla 20. Escala de valores de probabilidad de ocurrencia de la precipitación en la zona de estudio (Adaptado de Sánchez et al., 2013).....	77
Tabla 21. Criterios de calidad del recurso RAS 2000 Título C.....	85
Tabla 22. Criterios de calidad para destinación del recurso Decreto 1594 de 1984.....	86
Tabla 23. Estaciones monitoreo calidad de fuentes abastecedoras.....	86
Tabla 24. Matriz de análisis de exposición integral de las zonas aferentes e infraestructura asociada al acueducto del municipio de Manizales. Fuente. Propia.....	110



LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Discriminación de las amenazas sobre el recurso hídrico.....	15
Figura 2. Localización de las áreas aferentes a las plantas de tratamiento Niza y Luis Prieto, pertenecientes al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.	20
Figura 3. Captación Quebrada La Arenosa. Fuente: Propia.	22
Figura 4. Bocatoma Minitas, Quebrada Olivares. Fuente: Propia.	22
Figura 5. Captación Quebrada La Ye, tributaria de la Quebrada Olivares.....	22
Figura 6. Captación Quebrada Pinares. Fuente: Propia.....	22
Figura 7. Captación de la Quebrada Rio Blanco. Fuente: Propia.....	22
Figura 8. Captación Quebrada Cajones, cerca de la Planta Luis Prieto. Fuente: Propia. 22	
Figura 9. Captación Río Chinchiná, cerca de la Planta Luis Prieto. Fuente: Propia.	23
Figura 10. Captación de las Quebradas La María y California. Fuente: Propia.....	23
Figura 11. Captación de la Quebrada Romerales. Fuente: Propia.	23
Figura 12. Captación de la Quebrada Termales. Fuente: Propia.....	23
Figura 13. Mapa de Pendientes de las zonas aferentes a las bocatomas del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.	29
Figura 14. Zona pendientes bajas entre 0% y 3%, con planicies asociadas a depósitos de caída o flujos piroclásticos, sector de Laguna Negra. Fuente: Propia.	32
Figura 15. Zona pendientes muy altas >75%, en las cuales se observan escarpes asociados a lavas antiguas, sector de La Gruta. Fuente: Propia.....	32
Figura 16. Precipitación media anual para años en periodos modales.....	34
Figura 17. Precipitación media anual para años en periodos Niño.	35
Figura 18. Precipitación media anual para años en periodos Niña.....	36
Figura 19. Comportamiento anual de la precipitación en la zona de estudio.....	37
Figura 20. Mapa de Áreas Naturales protegidas presentes en las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.	43
Figura 21. Mapa de Usos del Suelo de las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.....	45
Figura 22. Zona de Pasto con Bosques localizados en la parte media alta de la zona abastecedora de Río Blanco. Fuente: Propia.....	46
Figura 23. Zona de Pastos localizada entre los ABACOs de las Quebradas Romerales y Termales. Fuente: Propia.	46
Figura 24. Zona de Pasto con Bosques localizados en la parte media alta del área aferente de Río Blanco. Fuente: Propia.	46



Figura 25. Zona de Pasto con cultivos localizados en la parte media alta del ABACO del Río Chinchiná. Fuente: Propia.	46
Figura 26. Zona de Reserva Forestal localizada en el área de influencia de Tolda Fría, parte media alta del ABACO de la Quebrada La María. Fuente: Propia.	47
Figura 27. Zona de Reserva Forestal con potreros, localizada en el la parte media alta del ABACO de la Quebrada Rio Blanco. Fuente: Propia.	47
Figura 28. Cultivo de papa localizado en la parte alta de la Quebrada Manizales. Fuente: Propia.....	48
Figura 29. Zona de uso minero, sector mina California. Fuente: Propia.	48
Figura 30. Zona de uso minero, sector Mina Tolda fría. Fuente: Propia.	48
Figura 31. Zona de uso minero, sector Mina Pipinta. Fuente: Propia.	48
Figura 32. Mapa Geológico-Estructural de las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.....	50
Figura 33. Intercalación de Esquistos Negros con Esquistos Verdes, con presencia de banda de cuarzo, sector Planta Luis Prieto. Fuente: Propia.....	51
Figura 34. Esquistos Negros aflorantes en la conducción del ABACO de la Quebrada Pinares, zona de movimiento en masa activo. Fuente: Propia.....	51
Figura 35. Afloramiento del Intrusivo Néisico de Manizales o Milonita Granítica del Guacaica, sector La Gruta. Fuente: Propia.....	52
Figura 36. Afloramiento asociado al Miembro Sedimentario del Complejo Quebrada grande, sector parte alta Quebrada La Arenosa. Fuente: Propia.....	53
Figura 37. Afloramiento métrico del Stock o Granodiorita de Manizales, localizado entre las áreas aferentes de la Quebrada Termales y Romerales. Fuente: Propia.	53
Figura 38. Afloramiento correspondiente a lavas andesíticas, sector parte alta Quebrada Río Blanco. Fuente: Propia.....	55
Figura 39. Afloramiento asociado a depósitos de caída piroclástica, sector parte alta del Río Blanco. Fuente: Propia.	55
Figura 40. Afloramiento asociado flujos de escombros o lodo volcánicos, sector La Gruta, Quebrada Termales. Fuente: Propia.	57
Figura 41. Deposito aluvial reciente, sector bocatoma de la Quebrada Romerales. Fuente: Propia.....	57
Figura 42. Mapa Geomorfológico de las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.	60
Figura 43. Paisaje de valle fluvio - volcánico y altiplanicie Hidrovolcánica del Río Blanco. Fuente: Propia.	61
Figura 44. Paisaje relieve montañoso erosional del Río Chinchiná. Fuente: Propia.	61



Figura 45. Relieve Montañoso Estructural-erosional observado en el ABACO de Río Blanco. Fuente: Propia.....	63
Figura 46. Relieve montañoso glaciar- volcánico terciario observado en la quebrada Cajones, sector la Oliva. Fuente: Propia.....	63
Figura 47. Evapotranspiración potencial media.....	70
Figura 48. Descripción del comportamiento en la precipitación a partir de histogramas de frecuencia (Fuente: Adaptado de Lasso, 2016; Magaña, 2010).....	72
Figura 49. Histograma de frecuencias de precipitación en de estaciones cercanas a las áreas aferentes de estudio.	74
Figura 50. Distribución de la variación histórica de la precipitación en la zona de estudio.	76
Figura 51. Mapa de probabilidad de precipitación periodo modal.....	80
Figura 52. Mapa de probabilidad de precipitación periodo Niño.....	82
Figura 53. Mapa de probabilidad de precipitación periodo Niña.....	84
Figura 54. Calidad de las fuentes en función de la concentración de DBO_5 (mg/L).....	87
Figura 55. Calidad de las fuentes en función de la concentración de Coliformes Totales.....	88
Figura 56. Calidad de las fuentes en función de la concentración de pH (UpH).....	89
Figura 57. Calidad de las fuentes en función de la concentración de Cloruros (mg/L) ..	89
Figura 58. Calidad de las fuentes en función de la concentración de Turbiedad (UNT) ..	90
Figura 59. Calidad de las fuentes en función de la concentración de Color (UPC)	90
Figura 60. Movimiento en Masa en rocas del Complejo Quebradagrande-Sedimentario, localizado en la Quebrada La Arenosa. Fuente: Propia.....	92
Figura 61. Fenomenos de socavacion y carcavamiento en pasos de herradura. Sector parte alta de la Quebrada La Arenosa. Fuente: Propia.	92
Figura 62. Movimiento en masa desarrollado en bosque secundario, este se localiza en la Quebrada Termales. La línea roja indica la corona del deslizamiento. Fuente: Propia.	92
Figura 63. Movimiento en masa tipo reptación en predios del título minero RPP-282, observada en la quebrada California. La flecha indica el sentido del proceso. Fuente: Propia.....	92
Figura 65. Mapa de Amenaza por Procesos Erosivos de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia y POMCA.	93
Figura 66. Movimiento en masa observado en el ABACO del Río Chinchiná, sector Las margaritas. Fuente: Propia.	94



Figura 67. Movimiento en masa observado en la parte alta del ABACO del Río Blanco. Fuente: Propia.....	94
Figura 68. Movimiento en masa observado en la parte alta de la Quebrada La Arenosa, el cual presenta obra de estabilización. Fuente: Propia.....	95
Figura 69. Movimiento en masa observado en la ladera SE de la Quebrada Olivares, Vereda Buenavista, sector Las margaritas, presenta obra de estabilización. Fuente: Propia.....	95
Figura 70. Mapa de Amenazas por Inundación y Avenidas Torrenciales de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.	97
Figura 71. Mapa de Amenaza Sísmica de las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.....	100
Figura 72. Mapa de Amenaza Volcánica (Caída y Flujos Piroclásticos) de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.	103
Figura 73. Mapa de Amenaza por Incendios Forestales de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.....	105
Figura 74. Cambio de Tubería por ruptura, localizado en Hotel Ares localizado en la vía que lleva del Barrio La Enea al SENA, donde anteriormente no existía la edificación y se realizó un importante movimiento de tierra. Fuente: Propia.	108
Figura 75. Deslizamiento el cual afecto la base del talud generado por infiltración generado por el canal de aducción de aguas de Manizales. Ubicada en el área de influencia de la Quebrada La Guerra. Fuente: Propia.	108
Figura 76. Mapa de Vulnerabilidad Total de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.	114
Figura 77. Mapa de Riesgo Total de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.	120



1. ANTECEDENTES

La Gestión Integral de Recurso Hídrico-GIRH en el país requiere información y conocimiento adecuados sobre el comportamiento y estado del agua (en cantidad y calidad), expresados en la distribución espacial y variación temporal de la oferta y disponibilidad, calidad, uso y demanda, amenazas y vulnerabilidad del recurso, asociadas con variabilidad y posibles escenarios de cambio climático (IDEAM, 2014).

Por lo tanto, el IDEAM, adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS y como autoridad encargada de la materia, ha reportado desde sus inicios en el año 1994, datos, información y conocimiento sobre el estado y dinámica de las aguas en el país y particularmente ha sintetizado ese conocimiento en los Estudios Nacionales del Agua-ENA divulgados en los años 1998, 2000, 2004 y 2008 (IDEAM, 2010). En los años 2010 y 2014 el IDEAM continuó con la generación de los ENA correspondientes; el del año 2010 fue un insumo de soporte para la promulgación de la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico-PNGIRH.

Dado que para obtener mayor conocimiento sobre los recursos hídricos del país, se hace necesario realizar evaluaciones a partir de unidades hídricas de análisis espaciales y temporales de mayor resolución que las utilizadas inicialmente en los ENA y teniendo en cuenta que el IDEAM debe proponer al MADS, protocolos, metodologías, normas y estándares para el acopio de datos, el procesamiento, transmisión, análisis y difusión de la información que sobre el medio ambiente y los recursos naturales realicen los institutos de investigación ambiental, las corporaciones y demás entidades que hacen parte del Sistema de Información Ambiental, se consideró necesario avanzar en la construcción conceptual y metodológica para la realización de Evaluaciones Regionales del Agua-ERA, coherentes con los desarrollos y resultados del ENA 2010, sus actualizaciones y los objetivos de la PNGIRH.

En este orden de ideas, en el año 2013 se generaron los “Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua-ERA” en el marco del Decreto 1640 de 2012 (IDEAM, 2014) y se comenzaron a realizar proyectos piloto de aplicación con las autoridades ambientales regionales, uno de éstos fue el caso de CORPOCALDAS, que junto con CORNARE, la CAR y la Secretaria de Ambiente de Bogotá iniciaron la implementación de la metodología diseñada por el IDEAM (BIOSPHERA S.A.S y CORPOCALDAS, 2015).

Así las cosas, CORPOCALDAS inició con la aplicación de la ERA Fase I, mediante la cual bajo contratos de consultoría buscó apoyo para la implementación del marco conceptual y metodológico en sus componentes de oferta hídrica, calidad de agua e indicadores asociados y uso y demanda del recurso; a partir de esto, se generaron documentos síntesis para la Corporación, se participó en las reuniones técnicas orientadas por el IDEAM para analizar los

Contrato 246-2015

Informe “Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales”



lineamientos emitidos -teniendo en cuenta las características específicas del departamento de Caldas-, se elaboró un diagnóstico detallado del estado de la evaluación del agua en las temáticas anteriormente expuestas y se dictaron cuatro módulos de capacitación virtual para administradores de acueductos veredales y municipales, entes territoriales y funcionarios públicos.

La aplicación de la ERA Fase II en jurisdicción de CORPOCALDAS, consistió de manera similar a la Fase I, en definir bajo contrato de consultoría el diagnóstico del estado de evaluación del agua en las diferentes unidades de análisis, una matriz DOFA y de Marco Lógico para la implementación de la ERA, la Geodatabase con información estructurada considerando los estándares nacionales en relación al sistema de coordenadas y memorias técnicas, los protocolos y estándares para el manejo de la información armonizados con el aplicativo Geoambiental y fichas para el seguimiento de la gestión formuladas y un documento preliminar de criterios de priorización de subzonas hidrográficas en el departamento de Caldas para implementación de la ERA, de acuerdo con los lineamientos del IDEAM y el Decreto 1640 de 2012.

Actualmente, CORPOCALDAS mediante Contrato N° 246-2015 suscrito con el GIAS-UTP, se encuentra aplicando la Fase III de la ERA, con el fin de dar continuidad a la implementación de los lineamientos y directrices del IDEAM; por ende, avanzar en el conocimiento, síntesis de información y gestión integral del recurso hídrico en su jurisdicción, alimentar el Estudio Nacional del Agua y el Sistema de Información del Recurso Hídrico-SIRH y contribuir con la PNGIRH y el cumplimiento de la normatividad ambiental relacionada.

A partir de lo anterior, se deben generar tres productos específicos: 1. Identificar zonas estratégicas de abastecimiento de agua en los municipios del departamento de Caldas, a partir de información secundaria, 2. Definir balance hídrico en cuatro cuencas del oriente de Caldas que cuentan con inventario de usuarios y procesos de reglamentación y 3. Inventariar los riesgos sobre la infraestructura de abastecimiento de agua de los usuarios del municipio de Manizales ante amenazas naturales o antrópicas que afecten la disponibilidad hídrica, subzona hidrográfica del río Chinchiná, generando el modelo conceptual de amenazas y vulnerabilidad del sistema hídrico. El objeto del presente informe, es presentar el resultado del producto N° 3 antes mencionado.



2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Inventariar los riesgos sobre la infraestructura de abastecimiento de agua de los usuarios del municipio de Manizales ante amenazas naturales y antrópicas que afecten la disponibilidad hídrica, generando a su vez el modelo conceptual de amenazas y vulnerabilidad.

2.2. ESPECÍFICOS

- Definir las amenazas por cambio climático, variabilidad climática, naturales y antrópicas sobre las áreas abastecedoras del acueducto urbano del municipio de Manizales.
- Determinar la vulnerabilidad del sistema hídrico superficial y subterráneo del acueducto urbano de Manizales, considerando sus características hidrológicas y de asimilación-depuración.
- Realizar el análisis de riesgos para el acueducto urbano del municipio de Manizales, generando a su vez el modelo conceptual que evidencie las amenazas y vulnerabilidades definidas.



3. METODOLOGÍA

Este capítulo tuvo la finalidad de inventariar los riesgos sobre la infraestructura de abastecimiento de agua de los usuarios del municipio de Manizales ante amenazas naturales o antrópicas que afecten la disponibilidad hídrica, subzona hidrográfica del río Chinchiná y junto con ésta, realizar el planteamiento del modelo conceptual de amenazas y vulnerabilidad del sistema hídrico. Para ello se consideró la siguiente metodología sugerida en el ERA, al igual que las metodologías sugeridas o propuestas en el Decreto Número 1807 del 19 de septiembre de 2014, la metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa del IDEAM-INGEOMINAS (2012), el Plan de Acción Institucional 2016-2019 (CORPOCALDAS; 2016) y el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca (POMCA) del río Chinchiná (CORPOCALDAS, 2013), como se indica a continuación:

- Para el análisis de las amenazas al sistema hídrico se analizó la disminución de la capacidad de los sistemas hídricos para retener y regular los caudales dada la pérdida de los ecosistemas reguladores (páramos, humedales) por la ocurrencia de incendios, movimientos en masa y erosión, y por actividades sectoriales como la minería, la agricultura y la ganadería, al igual que la amenaza por efectos de Cambio Climático y Variabilidad Climática.
- En cuanto a la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de las fuentes superficiales y subterráneas se tuvo en cuenta las características propias de un acuífero que determinan su sensibilidad a ser afectado por contaminación derivada de actividades antrópicas o fenómenos naturales (vulnerabilidad intrínseca de acuíferos); además de las características propias de un sistema hídrico natural que determinan su capacidad para degradar sustancias, elementos o formas de energía proveniente de procesos naturales o antrópicos.
- Se recolectó y verificó la información secundaria tomada de la Corporación Autónoma Regional de Caldas, Aguas de Manizales, la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC), Agencia Nacional de Minería y alcaldías de los municipios de Manizales y Villamaría del Departamento de Caldas, con referencia a términos, metodologías y amenaza sísmica, amenaza por inundación, por flujos de lodo y avalanchas, por deslizamientos y amenaza volcánica.



- Se revisó toda la información cartográfica, papel o medio magnético, como curvas de nivel, hidrografía, geología de las unidades superficiales y determinación de puntos críticos, localizados entre los municipios de Manizales y Villamaría.
- Se evaluó de forma general las áreas aferentes a las plantas Luis Prieto y Niza respecto a los siguientes temas: Geología, Geomorfología, Hidrogeología, Formaciones Superficiales, Procesos Denudativos (georeferenciación de deslizamientos), Usos del Suelo, Obras de Infraestructura, entre otros.
- Asimismo, se determinó factores asociados a las amenazas en las áreas aferentes a las planta de tratamiento Niza y Luis Prieto, como son Topografía (pendientes), Geología (litológicos y estructurales), Geotecnia (características de los materiales), Hidrogeología (capacidad de almacenamiento, retención y conducción del agua), Hidrología (principales drenajes, análisis histórico de la precipitación, probabilidad de ocurrencia de precipitación a corto plazo) y factores antrópicos (Vías, Obras, usos del suelo).
- Por su parte se identificó e inventarió los fenómenos asociados a los sistemas hídricos de las áreas aferentes Quebrada Olivares, Quebrada Guerra, Quebrada Pinares, Quebrada Rio Blanco, río Chinchiná, Quebrada Cajones, Quebrada Termales, Quebrada Romeral, Quebrada California y Quebrada La María, según la discriminación de los mismos como se indica en la Figura 1.
- Se revisó parámetros para la zonificación de amenaza basados en características intrínsecas (material, relieve, drenaje y vegetación) y detonantes (erosión, Cambio Climático y Variabilidad Climática, sismo y factor antrópico).
- Se reclasificaron variables de acuerdo a las características físicas propias de cada área (valores posibles), presentándose los mapas en formato vector (variable discreta) de las que se valoraron para realizar el mapa reclasificado para la agrupación de los registros en virtud de su mayor o menor desventaja para la ocurrencia de un proceso erosivo, para éstos se tomaron los mapas de pendientes, usos del suelo, formaciones geológicas, fallas y geomorfología (Ver Tablas 1- 5).

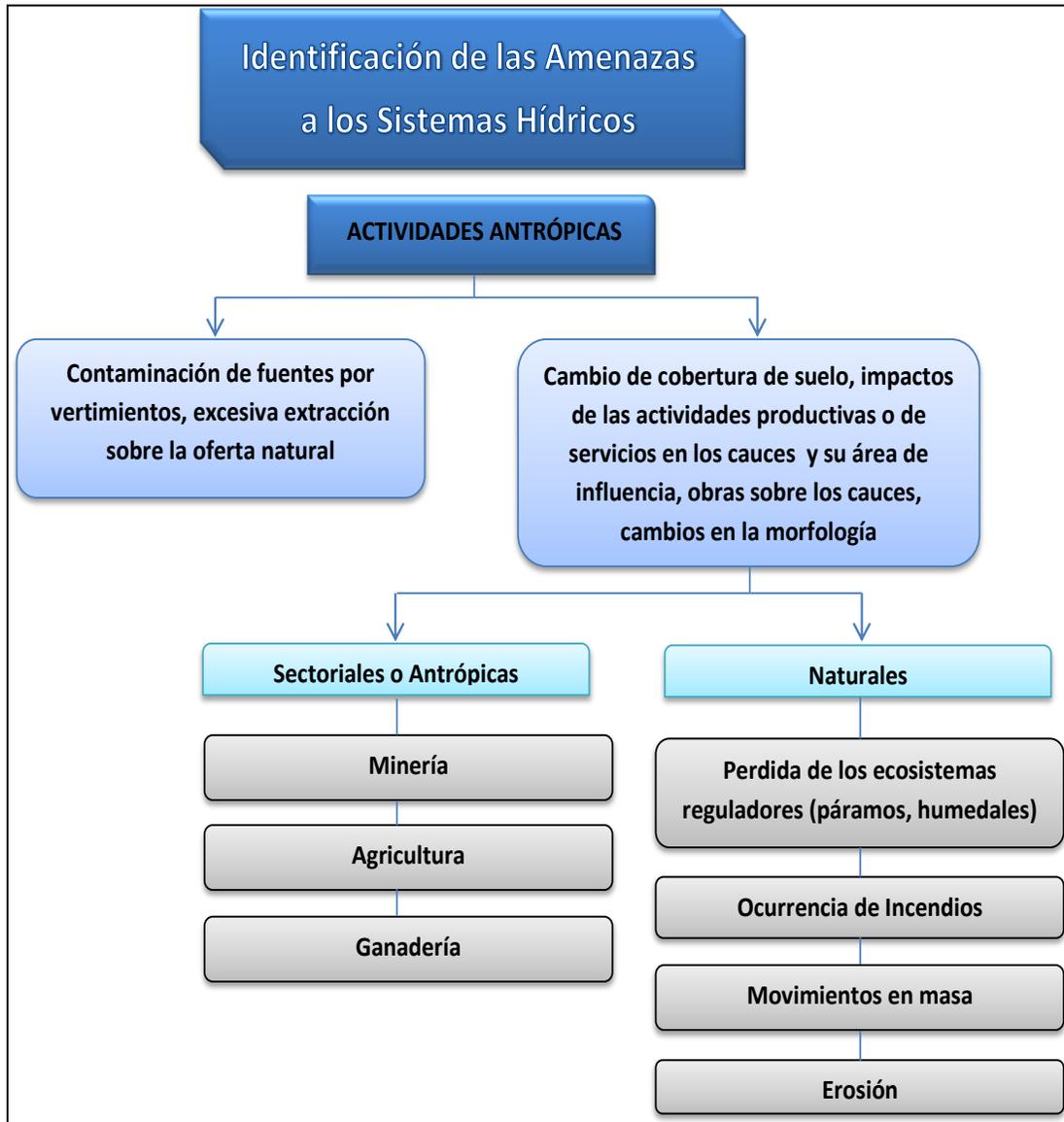


Figura 1. Discriminación de las amenazas sobre el recurso hídrico

Tabla 1. Tabla de valores para la ponderación dependientes.

VARIABLE PENDIENTES		
INCIDENCIA	GRADIENTE %	PONDERACIÓN
Muy Baja	0 – 3	1
Baja	3 – 7	2
Media Baja	7 – 12	3
Media	12 – 25	4
Media alta	25 – 50	5
Alta	50 -75	6
Muy Alta	>75	7

Tabla 2. Tabla de valores para la ponderación de usos del suelo.

VARIABLE USOS DEL SUELO		
INCIDENCIA	NOMBRE	PONDERACIÓN
Muy Baja	Bosques	1
Baja	Minero	2
Media	Áreas de Vegetación Herbácea y/o Arbustiva	3
Media Alta	Áreas agrícolas Heterogéneas	4
Alta	Cultivos anuales Transitorios	5
Muy Alta	Pastos	6

Tabla 3. Tabla de valores para la ponderación para unidades o formaciones geológicas.

VARIABLE FORMACIONES GEOLÓGICAS		
ID	NOMBRE	PONDERACIÓN
Pinm	Intrusivo Néisico de Manizales	2
Pes	Complejo Cajamarca, Esquistos Sericíticos	4
Pev	Complejo Cajamarca, Esquistos Verdes	1
Ksc	Complejo Quebradagrande	2
Ktcdm	Stock de Manizales	3
TQa	Flujos Andesíticos	1
Qto	Depósitos Piroclásticos-Glaciofluviales	5
Qfl	Flujos de Lodo Volcánicos	1

Tabla 4. Tabla de valores para la ponderación para fallas geológicas.

VARIABLE GEOLOGÍA FALLAS		
DISTANCIA	NOMBRE	PONDERACIÓN
>500	Muy baja	1
150 m - 500	Baja	2
100 m - 150 m	Media	3
0 m - 100 m	Alta	5

Tabla 5. Tabla de valores para la ponderación de las geoformas presentes en el área de interés.

VARIABLE GEOMORFOLOGÍA		
INCIDENCIA	DISTANCIA	PONDERACIÓN
Muy Baja	Ondulado o ligeramente quebrado	1
Baja	Moderadamente escarpado o moderadamente empinado	2
Media	Fuertemente Ondulado o moderadamente quebrado	3
Alta	Fuertemente quebrado o Ligeramente escarpado	4
Muy Alta	Fuertemente Escarpado o Fuertemente empinado	5

- De este modo, se asignó pesos ponderados de los diferentes factores y clases, y se realizó la categorización de los mismos en clases de amenaza y susceptibilidad, los cuales fueron definidos según las características de cada uno de los datos y su ubicación espacial (Ver Tabla 6).
- Se calculó mediante álgebra de mapas del Argis 10.2.1. zonal entre las celdas con deslizamientos y los mapas de factores para obtener el número de celdas afectadas por clase de cada factor (densidad de deslizamientos, entre otros), para asignar pesos a cada factor y cada clase (ponderación de las variables).

Tabla 6. Tabla de valores para la ponderación de variables en el área de interés.

PONDERACIÓN VARIABLES	
VARIABLE	% ASIGNADO
Pendientes	30%
Usos del suelo	20%
Formaciones geológicas	20%
Fallas geológicas	15%
Unidades geomorfológicas	15%
TOTAL	100%

- En este sentido, se determinó y analizó la amenaza, generando los mapas con la información tomada de campo y en revisiones bibliográficas, con el fin de determinar los diferentes mapas de amenaza a escala 1:100.000 para las zonas abastecedoras del acueducto de Manizales y para la red de aducción entre las plantas Luis Prieto y Niza, para la cual se utilizó la siguiente valoración (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Tabla de valores para la valoración de la amenaza en el área de interés.

LIMITE	NIVEL DE LA AMENAZA	AMENAZA	
1	Nivel amenaza 1	Muy Baja	
2	Nivel amenaza 2	Baja	
3	Nivel amenaza 3	Media	
4	Nivel amenaza 4	Alta	
5	Nivel amenaza 5	Muy Alta	

- Seguidamente se desarrolló la evaluación de la vulnerabilidad total en las redes de aducción a las bocatomas y Plantas Luis Prieto y Niza, utilizando la siguiente valoración (Ver Tabla 8).

Tabla 8. Tabla de valores para la valoración de la vulnerabilidad en el área de interés.

LIMITE	NIVEL DE LA VULNERABILIDAD	VULNERABILIDAD	
1	Nivel de vulnerabilidad 1	Muy Baja	
2	Nivel de vulnerabilidad 2	Baja	
3	Nivel de vulnerabilidad 3	Media	
4	Nivel de vulnerabilidad 4	Alta	

- Finalmente, se definió el Riesgo total en las redes de aducción a las bocatomas y Plantas Luis Prieto y Niza.



4. GENERALIDADES DE LAS AREAS ABASTECEDORAS (ABACOs)

Los ABACOs se encuentran ubicados al Suroeste del departamento de Caldas, en jurisdicción de los municipios de Villamaría y Manizales; en la vertiente occidental de la Cordillera Central. El límite occidental está definido por la Cordillera Central donde los ríos o quebradas principales de estas cuencas nacen a una altura promedio aproximada de 3.800 m.s.n.m, y al Oriente el límite es determinado por el río Cauca. En un tramo del valle del río Cauca en cercanías al municipio de Arauca, sector El Retiro, desemboca el río Chinchiná principal receptor de estas zonas abastecedoras, conformando de esta manera una cuenca de forma elongada hacia el Noroccidente con un área de 1.113 Km² (Betancourt et al., 1998).

Las áreas aferentes de las quebradas Olivares, La Y, La Arenosa, Pinares, La Guerra y Río Blanco limitan al Norte y al Oeste con el municipio de Manizales, al Sur con el municipio de Villamaría y al Este con el municipio de Marulanda en el Departamento de Caldas; y las zonas abastecedoras de las Quebradas La María, California, Romeral, Termales, Cajones y el Río Chinchiná limitan al Norte con el municipio de Manizales y Marulanda, al Sur con el municipio de Villamaría, el cual las contiene aproximadamente en un 80% y al Este del Departamento del Tolima (Ver Figura 2).

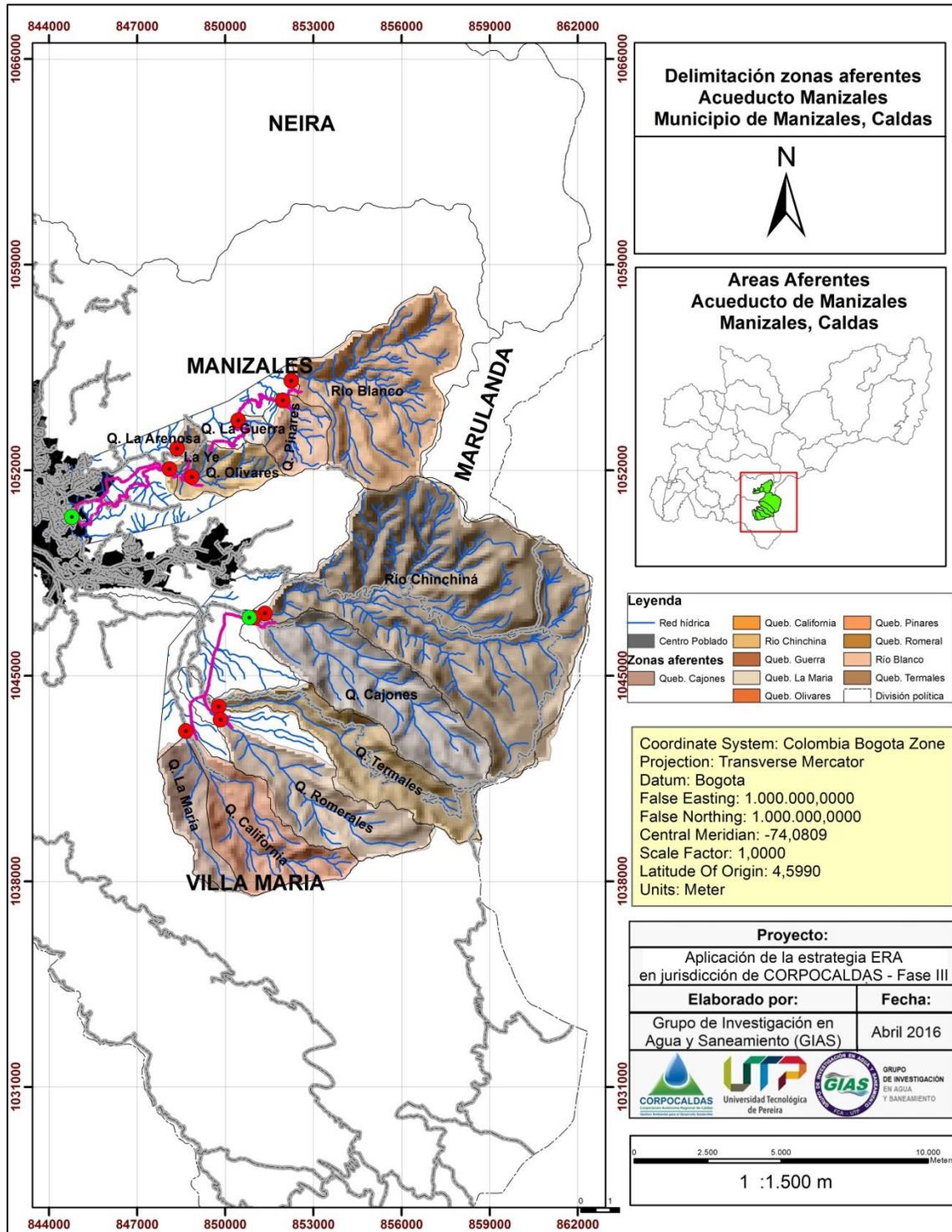


Figura 2. Localización de las áreas aferentes a las plantas de tratamiento Niza y Luis Prieto, pertenecientes al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

El área aproximada de cada uno de los ABACOs, objeto de la presente evaluación, en orden de tamaño son (Tabla 9):

Tabla 9. Áreas de las zonas abastecedoras evaluadas

MICROCUCENCA	AREA	% DE ÁREA EVALUADA
Quebrada La Guerra	91,04 Ha	0,6%
Quebrada Pinares	466,00 Ha	2,9%
Quebrada Olivares	489,96 Ha	3,0%
Quebrada La María	594,00 Ha	3,7%
Quebrada California	1244,29 Ha	7,7%
Quebrada Termales	1454,36 Ha	9,0%
Quebrada Romeral	1790,31 Ha	11,1%
Quebrada Cajones	2013,55 Ha	12,4%
Quebrada Río Blanco	2366,84 Ha	14,6%
Río Chinchiná	5681,13 Ha	35,1%

Los ABACOs relacionados en la zona de estudio, alimentan dos plantas de potabilización (PTAP) como son:

- **Planta de Tratamiento Niza:** Esta planta se encuentra principalmente alimentada, en orden de escala, por los ABACOs de Río Blanco (Quebrada La Liberia, Martinico, Hoyo Grande y Las Palomas), Quebrada La Guerra, Quebrada Olivares (Quebrada La Peña y Alisales), Quebrada Pinares (Quebrada Calvarios), Quebrada La Arenosa y Quebrada La Y, zonas que alimentan la Bocatoma de Minutas, de las cuales posteriormente se trasfiere el agua hacia la Planta de Tratamiento. Estas áreas abastecedoras se localizan al Noroeste con referencia al casco urbano del municipio de Manizales (Ver Figuras 3 - 7).



Figura 3. Captación Quebrada La Arenosa.
Fuente: Propia.



Figura 4. Bocatoma Minutas, Quebrada Olivares. Fuente: Propia.



Figura 5. Captación Quebrada La Ye, tributaria de la Quebrada Olivares.
Fuente: Propia.



Figura 6. Captación Quebrada Pinares.
Fuente: Propia.



Figura 7. Captación de la Quebrada Rio Blanco. Fuente: Propia.



Figura 8. Captación Quebrada Cajones, cerca de la Planta Luis Prieto. Fuente: Propia.

- **Planta de Tratamiento Luis Prieto:** Esta infraestructura se alimenta principalmente de la Quebrada Romeral, Cajones y Rio Chinchiná principalmente y

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

en menor proporción de las Quebradas La María, California y Termales; estas áreas se localizan al Este y Sureste del municipio de Manizales y al Este del Municipio de Villamaría (Ver Figuras 8 - 12).

El sistema de captación de las áreas abastecedoras del acueducto se realiza a través de una rejilla transversal, la cual deposita el agua sobre un canal colector, que posteriormente dirige el agua hacia una caja de derivación, desde el cual se realiza la aducción y su pretratamiento en desarenadores; por último, el agua es entregada a conducciones individuales en tubería o canales en concreto para posteriormente ser entregada a las plantas de tratamiento para su almacenaje y distribución (Ver Tabla 10).



Figura 9. Captación Río Chinchiná, cerca de la Planta Luis Prieto. Fuente: Propia.



Figura 10. Captación de las Quebradas La María y California. Fuente: Propia.



Figura 11. Captación de la Quebrada Romerales. Fuente: Propia.



Figura 12. Captación de la Quebrada Termales. Fuente: Propia.



Tabla 10. Información técnica de las áreas abastecedoras de la Plantas Niza y Luis Prieto.

INFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS MICROCUENCAS										
MICROCUENCA	MUNICIPIO	VEREDA	COORDENADAS ORIGEN BOGOTÁ		ALTITUD (m.s.n.m.)	DRENAJE TIPO	CUENCA	UNIDAD HIDROGRÁFICA	TIPO DE CAPTACIÓN	TIPO
			LONGITUD	LATITUD						
PINARES	Manizales	El Paraíso	1184170	1054686	2600	Quebrada	Río Blanco	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	Lateral
TERMALES	Manizales	Montaño	1184078	1052412	2440	Quebrada	Río Chinchiná	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	Lateral
CALIFORNIA	Villamaría	Montaño	1181059	1043623	2401	Quebrada	Río Chinchiná	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	Lateral
LA MARÍA	Villamaría	Montaño	1181059	1043623	2401	Quebrada	Río Chinchiná	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	De Fondo
ROMERALES	Villamaría	Montaño	1183309	1043623	2444	Quebrada	Río Chinchiná	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	Lateral
CHINCHINÁ	Villamaría	Gallinazo	1183709	1047495	2333	Río	Río Chinchiná	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	De Fondo
CAJONES	Villamaría	Gallinazo	1183278	1047280	2293	Quebrada	Río Chinchiná	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	De Fondo
RIO BLANCO	Manizales	El Paraíso	1184817	1055485	2651	Río	Río Blanco	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	Lateral
OLIVARES	Manizales	Las Palomas	1180381	1053579	2237	Quebrada	Río Blanco	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	De Fondo
LA YE	Manizales	Las Palomas	1181182	1052566	2250	Quebrada	Río Blanco	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	De Fondo
LA ARENOSA	Manizales	Las Palomas	1058162	1147457	2579	Quebrada	Río Blanco	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	Lateral
LA GUERRA	Manizales	Las Palomas	1182845	1054040	2241	Quebrada	Río Blanco	Cuenca del Río Chinchiná	Gravedad	Lateral

Fuente: Plan de Ahorro y Uso Eficiente de Agua 2015-2019 (2015).

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

5. COMPONENTES DE LA AMENAZA

5.1. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS ÁREAS ABASTECEDORAS

El comportamiento hídrico en una unidad hidrográfica depende en gran medida de las características físicas de las zonas, por lo que el análisis morfométrico es necesario para comprender los elementos geométricos básicos del sistema hídrico y su reacción ante precipitaciones extremas que pueden llegar a dar origen o activar procesos geomorfológicos de vertientes y aludes torrenciales (Méndez y Marcucci, 2006). En este sentido, se desarrolló el análisis de morfometría de las fuentes abastecedoras del sistema de acueducto de Manizales, encontrándose las siguientes generalidades (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Resultados del análisis morfométrico de las áreas aferentes al acueducto de Manizales.

Parámetro	AREA AFERENTE											
	Q. La Arenosa	Q. La María	Q. Termales	Q. Olivares	Q. La Ye	Q. La Guerra	Q. California	Q. Pinares	R. Blanco	R. Chinchiná	Q. Cajones	Q. Romerales
Área (Km ²)	0,78	6,22	14,31	5,44	0,64	0,98	12,49	4,31	23,7	56,57	19,87	13,88
Orden	5	3	5	4	5	5	4	5	4	2	3	4
Perímetro (Km)	3,58	13,92	24,08	10,66	0,64	4,28	18,49	8,23	22,1	35,72	22,39	19,96
Pendiente	0,51	0,42	0,56	0,57	0,48	0,65	0,56	0,61	0,5	0,47	0,57	0,54
Factor de forma	0,5	0,19	0,14	0,31	0,34	0,39	0,23	0,56	0,6	0,46	0,21	0,2
Índice de alargamiento	1,15	2,68	3,53	2,02	1,57	1,52	1,77	1,12	0,86	1,6	3,44	2,95
Índice asimetría	3,39	2,38	1,15	1,3	3,92	3,2	1,04	3,72	4,08	1,17	1,07	1
Coefficiente de compacidad	1,14	1,56	1,78	1,28	0,22	1,21	1,46	1,11	1,27	1,33	1,41	1,5
Longitud cauce ppal (Km)	1,02	6,11	9,71	4,22	1,36	1,69	8,52	1,27	7,17	14,75	10,68	8,68
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1,32	1,15	0,97	2,39	2,14	2,97	1,8	2,36	2,4	2,17	1,69	1,54
Sinuosidad	1,01	1,02	1,02	1,03	1,01	1	1,02	1,01	1,08	1,04	1,02	1,02



En la sectorización hidrográfica de Caldas, todas las áreas aferentes que suministran el agua al acueducto hacen parte de la Cuenca del río Chinchiná, donde se encuentran fuentes abastecedoras con áreas variables, comprendidas entre 0,64 Km² para la quebrada La Ye y 56,57 Km² para el ABACO del río Chinchiná, clasificándolas como áreas muy pequeñas, exceptuando el área abastecedora del río Chinchiná que se clasifica como pequeña. En la mayoría de las fuentes abastecedoras se presenta un orden de corriente cinco (n=5), demostrando que la infraestructura de captación está instalada principalmente en las zonas altas y cercanas a sus nacimientos, sin embargo se encuentra a su vez una área aferente con orden dos (n=2) como aquella trazada sobre el río Chinchiná y dos fuentes con orden tres (n=3) como la quebrada La María y la quebrada Cajones. En estas zonas abastecedoras se cuenta localmente con pendientes pronunciadas que van desde el 42% en la quebrada La María hasta el 65% en quebrada La Guerra, con un tipo de terreno muy escarpado para la mayoría de los ABACOs; lo cual es característico de las fuentes hídricas de alta montaña.

El Factor de forma de Horton de la Quebrada Termales es de 0,14, el cual indica que tiene tendencias a ser muy alargada y que los hidrogramas de caudales máximos se ven afectados en el tiempo de concentración con relación a las avenidas máximas; igualmente las áreas aferentes de las Quebradas La María, Cajones y Romerales cuya forma de cuenca es muy alargada. El área abastecedora de la Quebrada California es de forma alargada y las áreas de las Quebradas Olivares y La Ye presentan formas ligeramente alargadas; la Quebrada La Guerra según su factor de forma es clasificada como ni alargada ni ensanchada, y por último, los ABACOs de las Quebradas de los ríos Chinchiná, Blanco y las quebradas Pinares y La Arenosa presenta una forma de cuenca ligeramente ensanchada siendo las más susceptibles a generar crecidas.

Las áreas aferentes en estudio, dentro de su comportamiento hidrológico debido a su características morfométricas son muy similares, tienen un factor de forma mayor a 1, indicando que presentan forma alargada y cuando son cercanas a uno (1) presentan una red de drenaje en forma de abanico con corriente de agua corta, como es el caso de las Quebradas La Arenosa y Pinares, cuyo índice de alargamiento en su mayoría es moderadamente alargada y por lo tanto, se espera que tengan una baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales. De igual forma para el coeficiente de compacidad (Kc) que también determina la forma de la cuenca asociada con un círculo, se puede observar que cinco (5) de éstas son oval redonda a oval oblonga (Q. Olivares, Q. California, R. Blanco, R. Chinchiná y Q. Cajones), cuatro (4) son redonda a oval redonda (Q. La



Arenosa, Q. La Ye, Q. La Guerra y Q. Pinares) y tres (3) son oval oblonga a rectangular oblonga (Q. La María, Q. Termales y Q. Romerales). Las Quebradas La Arenosa, La Guerra, Pinares y Río Blanco son las áreas que tienden más a estar cerca a uno (1), lo que permite según su coeficiente de compacidad (K_c) a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuando es más cercano a uno (1).

La densidad de drenaje de las zonas de estudio oscilan entre $0,97 \text{ Km/Km}^2$ (Q. Termales) y $2,97 \text{ Km/Km}^2$ (Q. La Guerra), lo que indica una red de drenaje con una eficiencia que esta clasificada entre baja (cuena pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta, materiales duros y resistentes) a alta (materiales impermeables a nivel superficial, vegetación dispersa y relieves montañosos), generando volúmenes considerables de escurrimiento (Reyes et al., 2010) y respuesta hidrológicas lentas. En cuanto al índice asimétrico, las áreas abastecedoras tienen un índice mayor a uno (1), lo que implica que se presenta una heterogeneidad en la distribución de la red de drenaje, incrementando en cierto grado los niveles de erodabilidad a causa de los eventos de escorrentía superficial.

Guardando coherencia con dichas apreciaciones se encuentra que los cauces principales están entre muy cortos y cortos, y el índice de sinuosidad es bajo para las zonas en estudio, y como esta última variable guarda relación con la topografía de la cuenca, se infiere que las zonas de estudio son áreas quebradas, sus cauces son torrenciales y por lo tanto, hay una alta probabilidad de que sus suelos sean calcáreos que no se degradan fácilmente y con altos procesos erosivos.

5.2. HIPSOMETRÍA

La hipsometría se realizó con base en la visualización e interpretación de histogramas de frecuencia de los modelos de elevación digital, en los que se compara el número de celdas por cada valor en altura, es así como se puede apreciar el comportamiento y los rasgos geomorfológicos generales del terreno, identificando grandes segmentos correspondientes a los distintos sub-relieves dentro de la zona de las áreas aferentes que alimentan a las plantas Niza y Luis Prieto.

Mediante modelos de elevación digital de treinta (30) metros de resolución se realizó un análisis estadístico de las alturas que componen las áreas aferentes de las bocatomas que suministran el agua a las plantas de tratamiento Niza y Luis Prieto del



acueducto de Manizales, concluyendo que dentro del perímetro de estas existe una mínima altura de 1.800 m.s.n.m, una altura máxima cercana a 4.550 m.s.n.m y una altura promedio de 3.074 m.s.n.m.

5.3. PENDIENTES

La cuantificación de la máxima inclinación de una vertiente es lo que se denomina como pendiente, herramienta que permite zonificar los diferentes relieves de un área de una manera clara y objetiva. Utilizando el software ArcGis se elaboró el mapa de pendientes de la zona de análisis dado en porcentajes que muestra distintos rangos de zonificación (Ver Figura 13). Este mapa se elaboró mediante un modelo de elevación digital generado a partir de curvas de nivel cada treinta (30) metros para el área de análisis.

La pendiente es una variable determinante la cual controla la velocidad de la escorrentía superficial y afecta el tiempo que tarda la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales, que constituyen la red de drenaje de la cuenca. El histograma de frecuencias de las pendientes muestra una distribución espacial unimodal asimétrica con tendencia a las pendientes bajas, en donde se tiene una pendiente promedio de 32,71% y una pendiente máxima de 79%.

El rango de pendientes bajas entre 0 % a 3 % representa más del 30% del perímetro de los ABACOs, en general estas áreas corresponden a las superficies aluviales de las terrazas de las quebradas y sus tributarios, como también a las partes altas de las cuencas, en las cuales se encuentran potentes depósitos de caída piroclástica. El intervalo de pendientes de 3 % a 7 %, está igualmente asociado a dichos depósitos y algunos flujos de lavas presentes en la parte alta de las áreas aferentes. El intervalo 7% a 12% representa la cercanía a los bordes de las cuencas en los cuales se presentan algunos relieves suavizados. El rango entre 12% a 25% y el intervalo 25% a 50% se encuentra principalmente a zonas fuertemente onduladas.

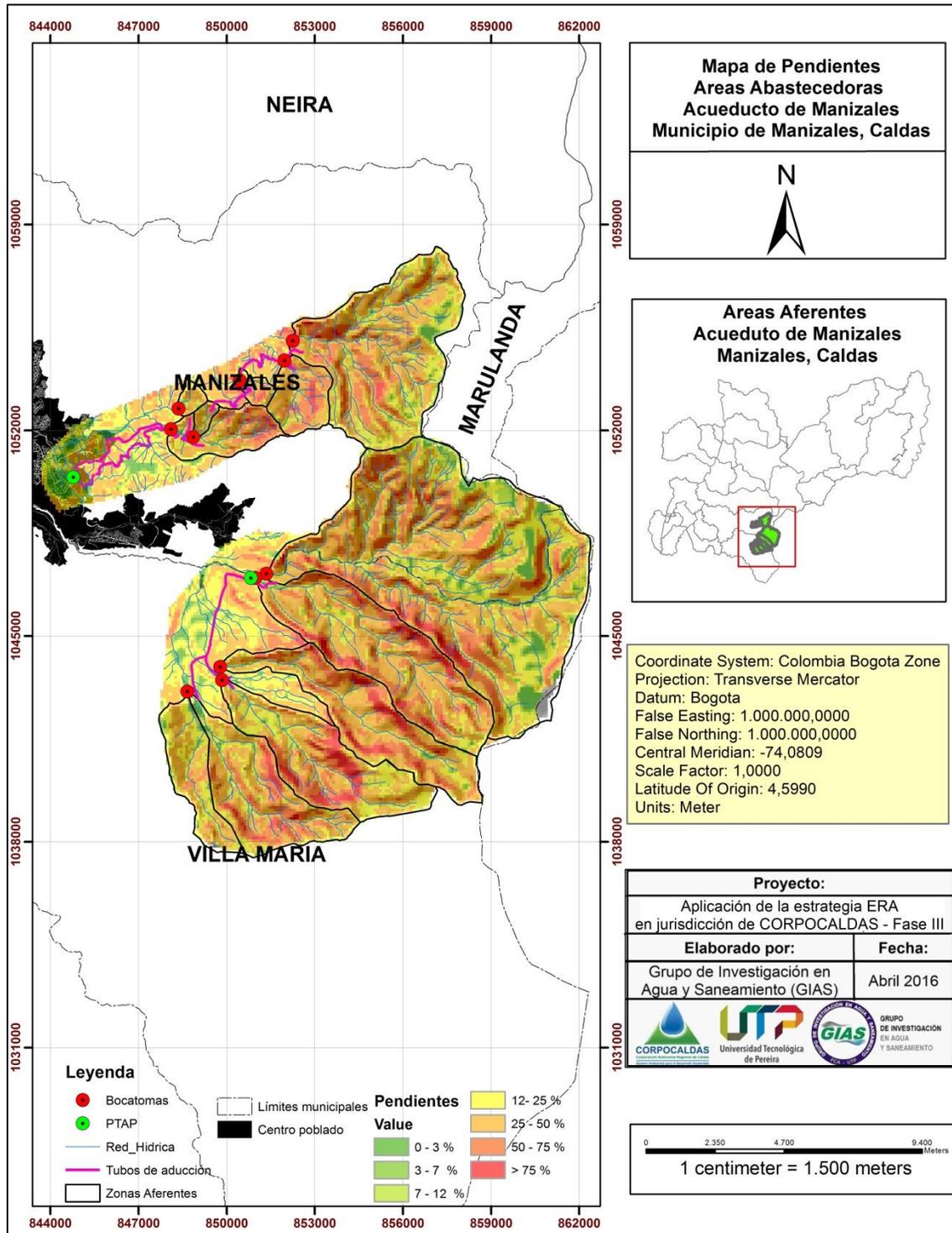


Figura 13. Mapa de Pendientes de las zonas aferentes a las bocatomas del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

Los intervalos de 50% a 75% son los más significativos, toda vez que éstos se encuentran conformando los escarpados cañones en V que se asocian parcialmente a las áreas abastecedoras y tributarios de menor orden en éstas, con un importante control estructural como es el caso de las áreas aferentes demarcadas en las Quebradas Cajones y Termales, parte aguas limitado por la Falla Villamaría-Termal (Ver Tabla 10).

Tabla 12. Valores utilizados para el cálculo de pendientes en el área del proyecto.

VARIABLE PENDIENTES	
INCIDENCIA	GRADIENTE %
Muy Baja	0 - 3
Baja	3 - 7
Media Baja	7 - 12
Media	12 - 25
Media alta	25 - 50
Alta	50 - 75
Muy Alta	>75

Ocampo (2012) menciona que la cuenca del río Chinchiná presenta pendientes marcadas en la cuenca alta, las cuales ayudan a la escorrentía superficial, mientras que bajos valores, menores a 6,5% en la pendiente, como los de la cuenca baja, favorecen la infiltración o zonas de encharcamiento. Además identifica tres zonas o tramos de pendientes diferentes a lo largo del río Chinchiná, como es la cuenca alta con pendientes fuertes (63,7% a 35,7) y cuenca media con pendientes medias (35,7% a 21%), éstas de interés para dicho análisis.

A continuación se hace una descripción detallada de los rangos de pendientes en la zona de estudio:

- **Pendientes Muy Bajas (0% - 3%):** Son las pendientes predominantes de los depósitos de caída piroclástica, coladas de lava, llanuras y terrazas aluviales, formaciones superficiales y partes bajas de los ABACOs, en las cuales se observan superficies planas, rectas a ligeramente cóncavas, conformadas por superficies retrabajadas por labores de agricultura y modelado glacial antiguo, potenciales para inundaciones cuando se asocian a corrientes de agua (Ver Figura 14).



- **Pendientes Bajas (3% - 7%):** Estas zonas corresponden a superficies ligeramente inclinadas que se concentran al igual que las pendientes muy bajas, en el área de influencia de las quebradas. De este grupo hacen parte también las cimas de las colinas, las terrazas aluviales altas, que pueden ser potenciales para inundaciones y avenidas torrenciales.
- **Pendientes Media Bajas (7% - 12%):** Pendientes que asocian a las superficies moderadamente inclinadas de depósitos de vertiente, rampas alargadas, laderas moderadamente onduladas y algunos segmentos de las cimas de las colinas, correspondientes a terrazas aluviales o antiguos flujos de escombros y flujos piroclásticos, con procesos erosivos limitados a las márgenes de estos o en zonas de disección por drenajes.
- **Pendientes Medias (12% - 25%):** Se definen como laderas superiores de colinas fuertemente inclinadas y onduladas así como, escarpes en los cuales el escurrimiento es más acelerado, lo que permite a una rápida profundización de los causes, generando carcavamientos en zonas de trochas y caminos de ganado, como también erosión leve a moderada en los depósitos de caída piroclástica.
- **Pendientes Media alta (25% - 50%):** Zonas de pendientes ligeramente escarpadas, fuertemente onduladas a empinadas, en las cuales se observan muchos de los bosques presentes en las áreas aferentes, estas pueden estar desarrolladas en suelos de arena y limo en algunos depósitos de talud o remanentes de movimientos en masa, en estos los paisajes en forma de artesas glacio-fluviales están presentes donde las laderas son fuertemente onduladas.
- **Pendientes Altas (50% - 75%):** Pendientes que generan relieves moderadamente escarpados, los cuales se asocian principalmente a las rocas del basamento a las unidades volcánicas y volcanoclásticas en zonas de interfluvios y parte aguas, formando cuchillas alargadas con pendientes altas, valles en V con crestas sub-angulosas y de tipo erosional, son comunes los fenómenos de remoción en masa.
- **Pendientes Muy altas (>75%):** Fuertemente escarpado (Ver Figura 15), se presentan como un área homogénea en los escarpes de alta inclinación y filos alargados. Estos corresponden a formas derivados de rocas o flujos volcánicos y coladas de lava de los Volcanes Cerro Bravo y del Nevado del Ruíz como también

del basamento cristalino, generando valles fuertemente incisados, las cuales aparecen en las partes altas de las cuencas generando relieves invertidos y taludes verticales, en los cuales es común observar caída de roca puntuales, generando depósitos de talud (depósitos o acumulación de fragmentos depositados en la base de las paredes o escarpes de roca).



Figura 14. Zona pendientes bajas entre 0% y 3%, con planicies asociadas a depósitos de caída o flujos piroclásticos, sector de Laguna Negra. Fuente: Propia.



Figura 15. Zona pendientes muy altas >75%, en las cuales se observan escarpes asociados a lavas antiguas, sector de La Gruta. Fuente: Propia.

5.4. PRECIPITACIÓN

El comportamiento de la precipitación anual de manera general en la zona de estudio tiende a ser alta en la Q. La Arenosa y Q. La Ye, y menor hacia la parte sur de la zona de estudio (Q. Cajones) (Ver Figura 16). Para un periodo modal, se observó que ésta oscila entre 1.500 y 2.600 mm/año y bajo ocurrencia de un año de El Niño, se visualiza una leve reducción en la precipitación total anual, debido a que ésta se encuentra entre 2.451 y 1.493 mm/año, en gran parte por el aumento (también leve) de los días secos o de no lluvia en el año, el cual es característico de la región cafetera colombiana durante algunos meses del año, especialmente cuando tienen ocurrencia periodos de El Niño de intensidad Débil o Moderada (Figura 17). Finalmente, bajo la ocurrencia de un año y presencia del fenómeno de La Niña, se observa a escala anual un incremento en la precipitación que oscila aproximadamente entre 1.800 y 3.000 mm/año, debido tanto al aumento de los días de lluvia en el año como a la cantidad de precipitación en la mayoría de meses en el año (Peña et al., 2014; Lasso, 2016) (Figura 18).



A partir del análisis anterior, para efectos de la vulnerabilidad de la zona de estudio, se espera que durante periodos modales ésta tienda a ser mayor en los meses húmedos, debido al aumento de la fragilidad de infraestructura en las bocatomas de los acueductos, en la estabilidad de las zonas de altas pendientes, entre otros.

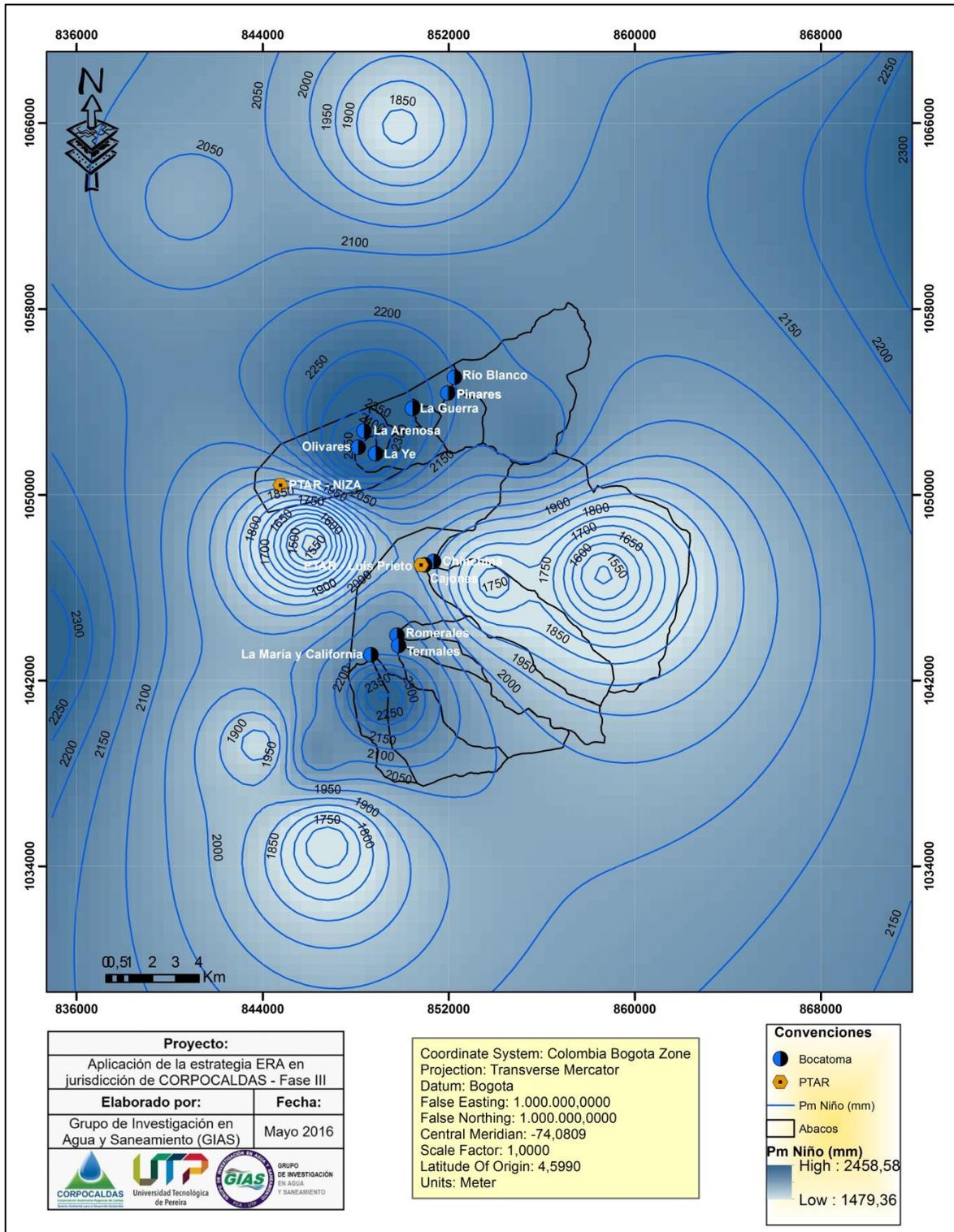


Figura 17. Precipitación media anual para años en periodos Niño.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

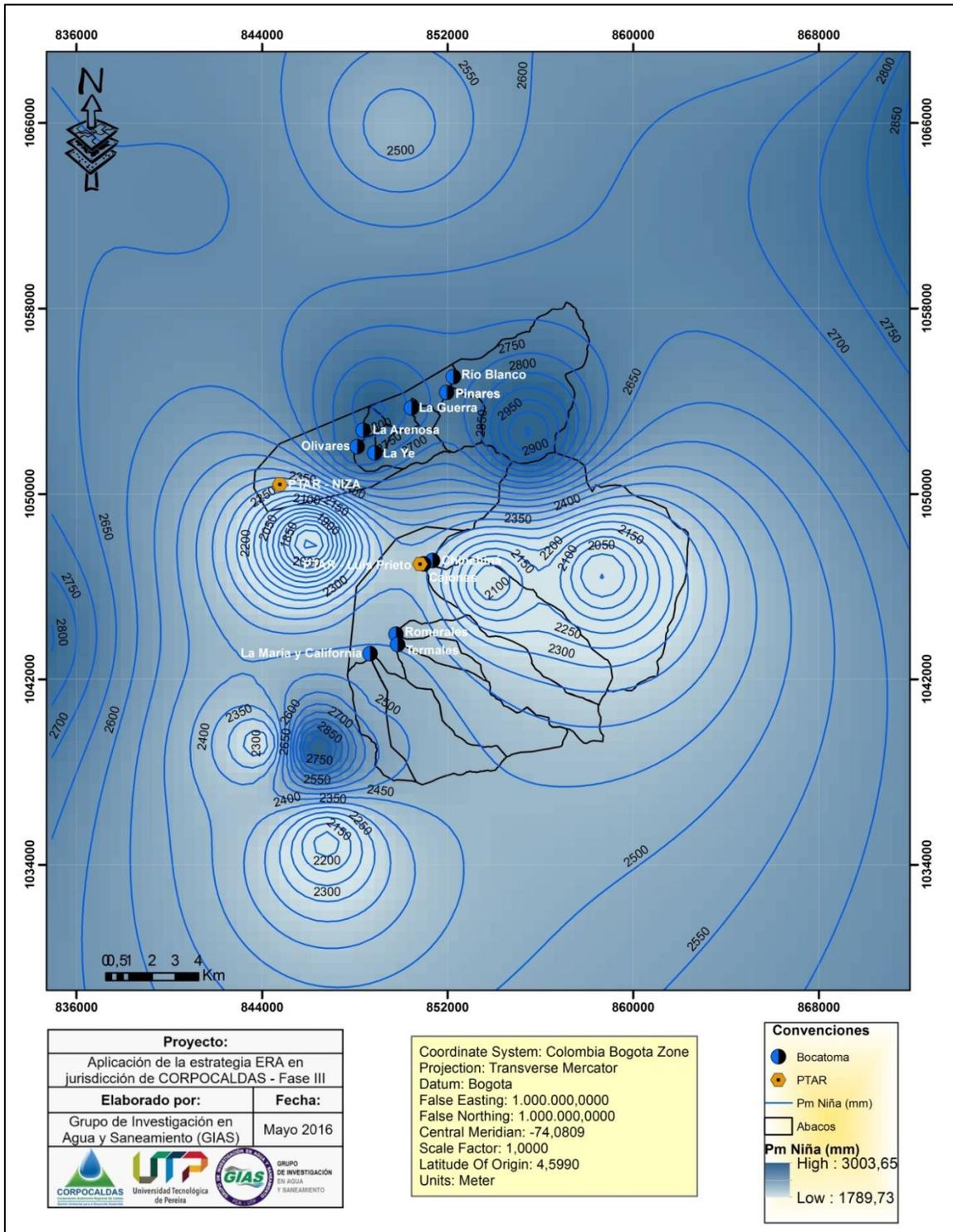


Figura 18. Precipitación media anual para años en periodos Niña.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

En la Figura 19 se relacionó el comportamiento histórico de la precipitación media anual para las áreas abastecedoras de la zona de estudio, observándose que durante años de ocurrencia de El Niño no se evidenció una disminución considerable en ésta durante los periodos catalogados como Débil o Moderado (ejemplo: año 2009, año 2006), pero sí en los periodos catalogados como de intensidad Fuerte (ejemplo año 1998, año 1992), generando en términos de vulnerabilidad que ésta igual (para el primer caso especialmente) o levemente menor (para el segundo caso especialmente). Esta alteración posiblemente indicó en términos de vulnerabilidad y amenaza para la zona de estudio, que durante la ocurrencia de La Niña se incrementarán los días de lluvia al igual que la frecuencia e intensidad de los eventos de precipitación, aumentando la amenaza de deslizamientos, inundaciones u otras identificadas para cada una de los ABACOs de estudio.

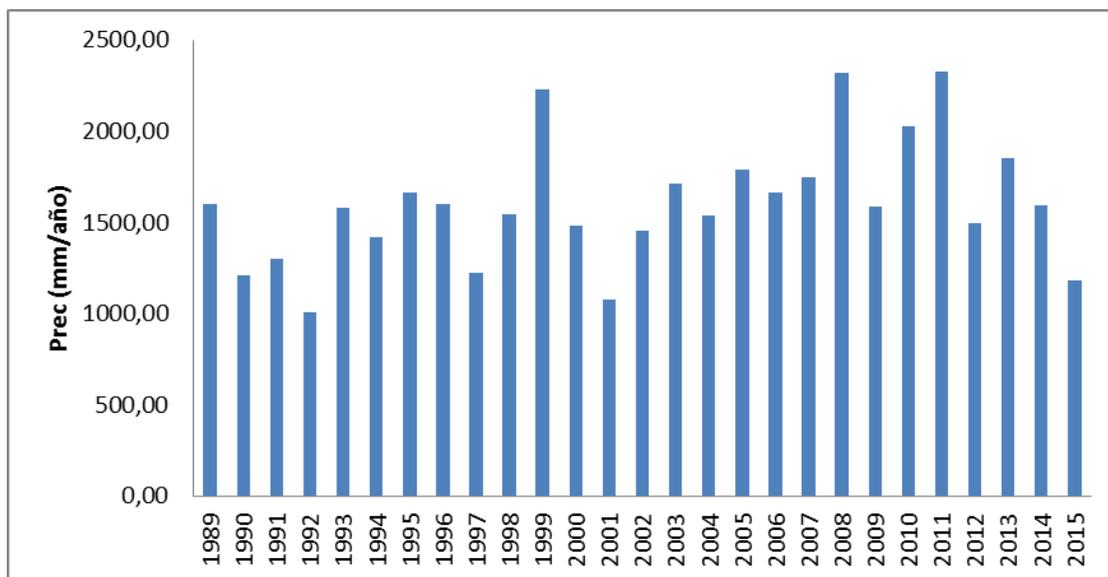


Figura 19. Comportamiento anual de la precipitación en la zona de estudio.

Para respaldar la evaluación realizada a la precipitación y dada las condiciones geográficas y morfométricas analizadas al inicio de este capítulo, se realizó un análisis de las áreas aferentes de estudio en función de su torrencialidad para definir las zonas que puede presentar mayor amenaza a eventos torrenciales, aumentos de precipitación y por ende, presentar alta vulnerabilidad. Para ello, se aplicó el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales -IVET- sugerido para los ERA.

Para la estimación del IVET, se consideraron índices morfométricos estimados para cada una de los ABACOs en la Tabla 11, tales como la densidad de drenaje, el coeficiente de compacidad, la pendiente media y el área para la determinación del índice de torrencialidad, de acuerdo con las categorizaciones relacionadas en la Tabla 13.

Tabla 13. Relaciones para la categorización del índice morfométrico en los ABACOs de estudio.

Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (Km ²)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2.00	2,01 – 2.50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2.00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2.00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 -1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga	Casi redonda a oval-redonda		

Fuente: Tomado de IDEAM, 2014

De la tabla anterior, el Índice Morfométrico se clasificó de acuerdo con los rangos establecidos en la Tabla 14 y los criterios de categorización sugeridos en IDEAM (2014).

Tabla 14. Clasificación del índice Morfométrico para los ABACOs de estudio

CATEGORÍA	COLOR
Muy Baja	
Baja	
Moderada	
Alta	
Muy Alta	

Fuente: Tomado de IDEAM, 2014

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

Luego, con la curva de duración de caudales simulados a escala diaria de las estaciones limnimétricas ubicadas en cada una de las áreas aferentes de estudio, se obtuvo el Índice de Variabilidad y a partir de éste la vulnerabilidad aplicando los rangos relacionados en la Tabla 15.

Tabla 15. Clasificación del Índice de Variabilidad

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
< 10°	Muy baja
10.1° - 37°	Baja
37.1° - 47°	Media
47.1° - 55	Alta
>55°	Muy alta

Fuente: Tomado de IDEAM, 2014

En la Tabla 16 se relacionó la clasificación de la Vulnerabilidad para la determinación del IVET.

Tabla 16. Tabla de clasificación del IVET

Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Tomado de IDEAM, 2014

Finalmente, en la Tabla 17 se relacionaron los resultados de la determinación del IVET para las zonas de estudio. Se analizó respecto al índice morfométrico que las cuencas en general presentaron una vulnerabilidad entre moderada y baja, lo que indica que son poco inestables y tienden a presentar pocos eventos de avenidas torrenciales, debido a que su respuesta a eventos de lluvia de corta duración y alta frecuencia no es tan violenta, o sea, que tienen mayor capacidad tanto de amortiguar y regular caudales de respuesta por efecto de este tipo de evento mencionado, como también

retardar avenidas torrenciales que se pueden presentar en periodos de alta precipitación en el año o en un año de ocurrencia del fenómeno de La Niña.

Tabla 17. Determinación de IVET para las zonas de estudio.

Parámetro	AREA AFERENTE											
	Q. La Arenosa	Q. La María	Q. Termales	Q. Olivares	Q. La Ye	Q. La Guerra	Q. California	Q. Pinares	R. Blanco	R. Chinchiná	Q. Cajones	Q. Romerales
Área (Km ²)	0,78	6,22	14,31	5,44	0,64	0,98	12,49	4,31	23,7	56,57	19,87	13,88
Pendiente	0,51	0,42	0,56	0,57	0,48	0,65	0,56	0,61	0,5	0,47	0,57	0,54
Coefficiente de compacidad	1,14	1,56	1,78	1,28	0,22	1,21	1,46	1,11	1,27	1,33	1,41	1,5
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1,32	1,15	0,97	2,39	2,14	2,97	1,8	2,36	2,4	2,17	1,69	1,54
Índice Morfométrico	154	131	141	143	145	144	142	145	433	433	242	142
Índice de Variabilidad	18	37,2	19,7	62,1	67,1	18	37,7	51,9	51,9	43,6	7,58	44,4
IVET	MEDIA	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	BAJA	ALTA

Respecto al índice de variabilidad, se observó que la quebrada Olivares y La ye (vulnerabilidad Muy Alta), al igual que la quebrada Pinares y río Blanco (vulnerabilidad Alta) presentaron caudales altos muy por encima de los caudales promedios y bajos generados en cada una de éstas, lo cual posiblemente se deba a áreas pequeñas y/o pendientes altas. Por lo tanto, se espera que en estas áreas abastecedoras se generen caudales muy pronunciados o con picos muy altos durante eventos de lluvia de alta intensidad, frecuencia y duración, que eleva la vulnerabilidad a presentar avenidas torrenciales y procesos erosivos independiente del periodo (modal o no modal) donde tenga ocurrencia este tipo de eventos, caso contrario a las quebradas Cajones, la Arenosa, Termales y La Guerra donde se presentaron índices de variabilidad entre Bajo y Muy Bajo.

Finalmente, se obtuvo una IVET Alta para aquellas zonas que presentan condiciones Medias o Moderadas tanto del índice morfométrico como del índice de variabilidad.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



En este caso, la quebrada La María, quebrada Olivares, quebrada La Ye, quebrada California, quebrada Pinares y quebrada Romerales presentaron este comportamiento. También se observó que aquellas áreas abastecedoras que presentaron un índice morfométrico o de variabilidad Baja, presentan una IVET Media y la quebrada Cajones al presentar una diferencia muy pequeña entre los caudales máximos, medios y mínimos reportados tiene una IVET Baja.

De manera general, al relacionar el comportamiento y distribución de la precipitación media anual con el IVET en cada una de las zonas de estudio, se define que éstas tienen una influencia considerable sobre la torrencialidad, debido a que la ubicación de éstas se da en una zona húmeda, con precipitaciones altas y un balance hídrico que indica exceso hídrico durante la mayoría del año (IDEAM et al., 2015), los cuales se alteran durante la ocurrencia de La Niña (intensidad Débil, Moderada o Fuerte) por el aumento de la precipitación, y durante la ocurrencia de El Niño (intensidad Fuerte) por la disminución en la precipitación, pero un posible aumento de lluvias de alta intensidad, frecuencia y corta duración pueden influir en la vulnerabilidad por movimientos de masa o por inundación (lo cual respalda el análisis realizado anteriormente).

5.5. COBERTURAS Y USOS DEL SUELO

La vegetación juega un papel importante en la estabilidad del suelo, cuya función radica en el efecto mecánico del sistema radicular de las plantas y arbustos que favorecen la estabilidad de las laderas al incrementar la resistencia del suelo a deslizarse. Además, la vegetación influencia en la estabilidad de las laderas mediante la reducción de la humedad del suelo por evapotranspiración e interceptación.

Las áreas de los ABACOs evaluados se caracterizan por presentar, según el catastro Minero Colombiano, dos áreas de reserva como son:

1. RESERVA FORESTAL LEY 2DA DE 1959 - RAD ANM 20155510225722 - INCORPORADO 28/07/2015.
2. ZONA DE PARAMO LOS NEVADOS - ESCALA 100K RADICADO ANM 20145510329222 - INCORPORADO 03/09/2014.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



Según CORPOCALDAS las áreas de reserva definidas son (Ver Figura 20):

- La Reserva Forestal Protectora de Río Blanco y Quebrada Olivares, la cual posee un área aproximada de 4.932 hectáreas, comprendiendo las veredas Alto el Guamo, Buenavista, El Desquite, El Paraíso, La Esperanza, Las Palomas, Río Blanco y Sinaí, del municipio de Manizales, con alturas entre los 2.150 m.s.n.m. y los 3.700 m.s.n.m (CORPOCALDAS, 2010).
- El Parque Nacional Natural Los Nevados está ubicado entre cuatro Departamentos del país. En Caldas, está localizado al sur y se extiende 58.200 hectáreas, donde nacen las principales fuentes hídricas del Departamento, como son el río Claro y el río Chinchiná. Además de su riqueza hídrica se destaca la presencia de ecosistemas de páramos y zonas nivales.
- La Reserva Forestal Protectora Bosques de La CHEC, ubicada en los municipios de Villamaría y Manizales, comprende un área de 3.893 hectáreas. Se caracteriza por la presencia de bosques altos andinos y su alta oferta hídrica, la cual surte el acueducto de Manizales y permite la generación hidroeléctrica a lo largo del río Chinchiná.
- Contiguo a los bosques de la CHEC se encuentra la Reserva Forestal Protectora La Marina, que pertenece al municipio de Villamaría, comprende un área de 168 hectáreas y cumple funciones reguladoras para las áreas aferentes de la quebrada Chupaderitos, la cual surte el acueducto municipal.
- La Reserva Forestal Protectora Torre 4, localizada en el municipio de Manizales, cuenta con un área de 310 hectáreas, dada su forma y ubicación, sirve de conector o corredor biológico entre las reservas de La CHEC y Río Blanco, así mismo por tratarse de una zona de alta pluviosidad y boscosa, permite la regulación hídrica sobre la cuenca del río Chinchiná; ésta se encuentra entre los 2.650 m.s.n.m. y los 3.750 m.s.n.m. y se localiza entre las veredas la Esperanza y La Enea.

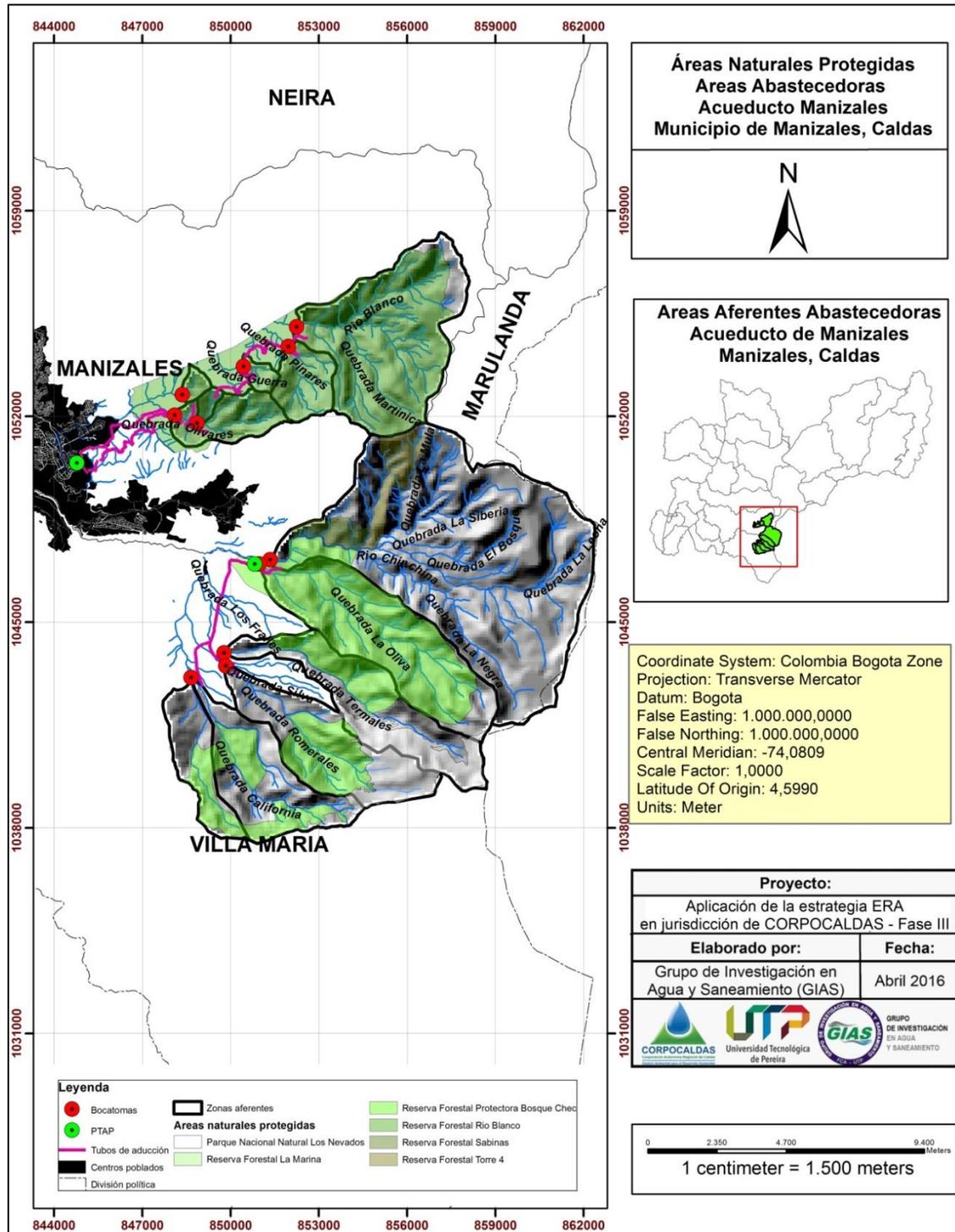


Figura 20. Mapa de Áreas Naturales protegidas presentes en las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

- La Reserva Forestal Protectora Río Blanco se encuentra en el municipio de Manizales y tiene una extensión de 4.900 hectáreas que van desde los 2.300 hasta los 3.800 msnm, posee ecosistemas de bosques Alto andinos y páramos, es la principal cuenca abastecedora del acueducto de la capital caldense y es el hábitat del venado de cola blanca, el cusumbo, el perro de monte, entre otras especies de fauna silvestre.
- La Reserva Forestal Protectora de Sabinas, ubicada en el municipio de Manizales y contigua a la Reserva Forestal de Torre 4, comprende un área de 186 Hectáreas. Con esta reserva se pretende dar un uso y manejo adecuado de los suelos de ladera, teniendo en cuenta su aptitud.

Según lo descrito anteriormente, en las zonas aferentes a las plantas de tratamiento, el Parque natural de Los Nevados, posee un área de 966,8 Ha equivalentes al 11% del área total, la Reserva Forestal de Rio Blanco con 3214,2 Ha equivalentes al 38% del área total de los ABACOs, Reserva Forestal Torre 4 con 310,4 Ha equivalentes al 4% del área de trabajo, Reserva Forestal La Marina con 1,1 Ha <1% del área, Reserva Forestal Protectora Bosques de La CHEC con 3793,7 Ha equivalentes al 44,8% del área total de las áreas abastecedoras y la Reserva Forestal de Sabinas con 185,6 Ha equivalentes al 2,2% del área de evaluación.

Con las observaciones realizadas durante los recorridos de campo y la revisión bibliográfica, se concluyó que las coberturas existentes en el territorio son principalmente: pastos, bosques, áreas agrícolas heterogéneas, áreas de vegetación herbácea o arbustiva, mineros y cultivos anuales transitorios (Ver Figura 21); que según la bibliografía ocupan el área como se relaciona en la siguiente Tabla (18):

Tabla 18. Áreas de las zonas abastecedoras evaluadas

COBERTURAS	AREA	% DE ÁREA EVALUADA
Aguas Continentales	1,20 Ha	0,01%
Cultivos anuales y transitorios	10,79Ha	0,07%
Áreas Húmedas Continentales	94,60 Ha	0,58%
Títulos Mineros	652,86 Ha	4,03%
Áreas de Vegetación Herbácea y Arbustiva	1652,29 Ha	10,20%
Áreas Agrícolas Heterogéneas	2076,81 Ha	12,76%
Pastos	5580,88 Ha	35,47%
Bosques	6129,75 Ha	36,86 %
Otros	3,66 Ha	0,02%

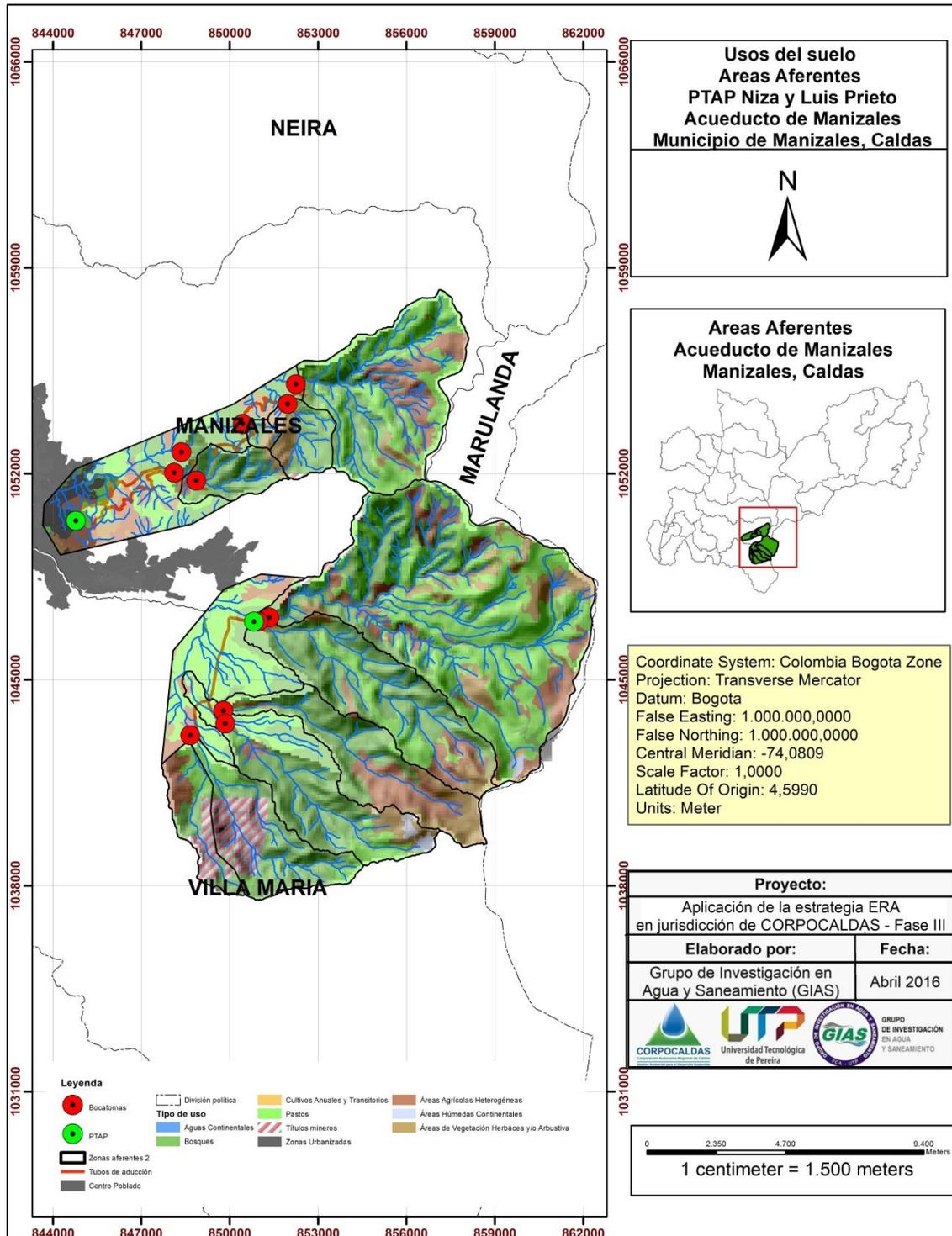


Figura 21. Mapa de Usos del Suelo de las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

En ese orden de ideas, el uso de los pastos los cuales se implementan de forma extensiva ocupan el 35,47% del área total de los ABACOs, alterando las propiedades físicas del suelo, tornándolos más susceptibles a deslizamientos y reptación, ya que es evidente en los potreros ubicados en laderas de moderadas a altas pendientes, procesos erosivos con formaciones de caminos y escalones por terraceo, producto de la ganadería extensiva y mal usos de los mismos, generando efectos negativos en las partes altas de las zonas de estudio, como es el caso de las áreas aferentes ubicadas en el río Chinchiná, río Blanco, Romerales, California y La María (ver Figuras 22 - 25).



Figura 22. Zona de Pasto con Bosques localizados en la parte media alta de la zona abastecedora de Río Blanco. Fuente: Propia.



Figura 23. Zona de Pastos localizada entre los ABACOs de las Quebradas Romerales y Termales. Fuente: Propia.



Figura 24. Zona de Pasto con Bosques localizados en la parte media alta del área aferente de Río Blanco. Fuente: Propia.



Figura 25. Zona de Pasto con cultivos localizados en la parte media alta del ABACO del Río Chinchiná. Fuente: Propia.

La segunda cobertura preponderante en la zona de análisis está dada por bosques, bosques intervenidos y rastrojos, los cuales se localizan en zonas de reserva privadas

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

(aguas de Manizales y CHEC, entre otros.) y puntualmente de particulares. Esta coberturas ocupan el 36,86 % del área de cobertura total de las zonas de estudio, las cuales se observan en varios sectores de estas como en las Quebradas La María, California, Romerales, Termales, La Arenosa, Pinares, La Guerra, La Y, Olivares, Rio Blanco y Rio Chinchiná. El establecimiento de plantaciones con especies foráneas como Pinos, Eucaliptos y Ciprés, son comunes también en estas áreas (Ver Figuras 26 y 27).



Figura 26. Zona de Reserva Forestal localizada en el área de influencia de Tolda Fría, parte media alta del ABACO de la Quebrada La María. Fuente: Propia.



Figura 27. Zona de Reserva Forestal con potreros, localizada en la parte media alta del ABACO de la Quebrada Rio Blanco. Fuente: Propia.

Otros usos localizados en la parte media alta de las áreas aferentes son de tipo agrícola con el 12,76% del área del proyecto (cultivos de papa) y usos mineros con un 4,03% del área total de proyecto; usos que son potenciales fuentes de contaminación química y de aporte de sedimentos a las fuentes de agua (Ver Figuras 28 - 31), además de ser modeladores del paisaje por la remoción de los suelos y por el aporte de materiales rocosos y sedimentos a las laderas de los ABACOs.



Figura 28. Cultivo de papa localizado en la parte alta de la Quebrada Manizales. Fuente: Propia.



Figura 29. Zona de uso minero, sector mina California. Fuente: Propia.



Figura 30. Zona de uso minero, sector Mina Tolda fría. Fuente: Propia.



Figura 31. Zona de uso minero, sector Mina Pipinta. Fuente: Propia.

5.6. GEOLOGÍA

5.6.1. Geología Regional

El mapa geológico de las zonas aferentes y del área de aducción de las bocatomas fue proporcionado por la Corporación Autónoma Regional de Caldas –CORPOCALDAS–, como también la geología de las planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruiz, en los cuales se indican las diferentes unidades presentes en dichas áreas. Estas unidades se caracterizan por presentar edades y composiciones diferentes, como también gran complejidad tectono-estructural, como es el caso del basamento paleozoico-Terciario aflorante en la parte media alta de la cuenca del Río Chinchiná y áreas abastecedoras asociadas al acueducto de Manizales.



Sánchez (2005) menciona en la revisión bibliográfica realizada para un sector de la parte media de la cuenca del Río Chinchiná, que estructuralmente la cuenca se encuentran enmarcada por tres sistemas de fallas de carácter regional, como son: Sistema de Fallas de Palestina, Sistema de Fallas de Romeral (Paris y Romero, 1993) y Sistemas de Fallas Cauca-Almaguer (Maya y González, 1995), sistema considerado por Maya y González (1995) como Falla Romeral o Zona de Falla de Romeral. Este sistema al parecer es el límite estructural más occidental de la cuenca (CRCh).

La descripción geológica de dichas unidades se describe a continuación (ver Figura 32):

- **Complejo Cajamarca (Pev-Pes)**

Conformado principalmente por Esquistos negros (esn) y Esquistos verdes (esv), los cuales varían composicionalmente entre esquistos de cuarzo sericíticos a actinolíticos-cloríticos. Aguirre y López (2003) describen esta unidad como una franja conformada por esquistos verdes grises, negros y cuarcitas (Ver Figura 33), afectados por metamorfismo dinámico, deformados de manera frágil y dúctil, con desarrollo de pliegues y micropliegues con buzamientos regionales al Este.

González (2001) menciona que los Esquistos Negros o sericíticos por gradación pasan a cuarcitas o esquistos grafiticos y por textura a filitas. Montoya y Torres (2005) indican que a lo largo de la Quebrada La Oliva y en el Río Chinchiná presentan una disposición estructural NS buzando al NE, como también en la bocatoma del Río Blanco y a lo largo de la conducción; en afloramiento presentan brillo sedoso con tonos entre negro grisáceo plateado, azul oscuro a gris oscuro, con presencia de venas y lentes centimétricos de cuarzo lechoso y de segregación metamórfica comúnmente concordantes con la foliación, que imprimen texturas porfidoblásticas y bandeamientos composicionales, estructuralmente presentan pliegues, estructuras augen y clivaje de crenulación, con cuarzo ribbons y boudines concordantes con la foliación (Aguirre y López, 2003).

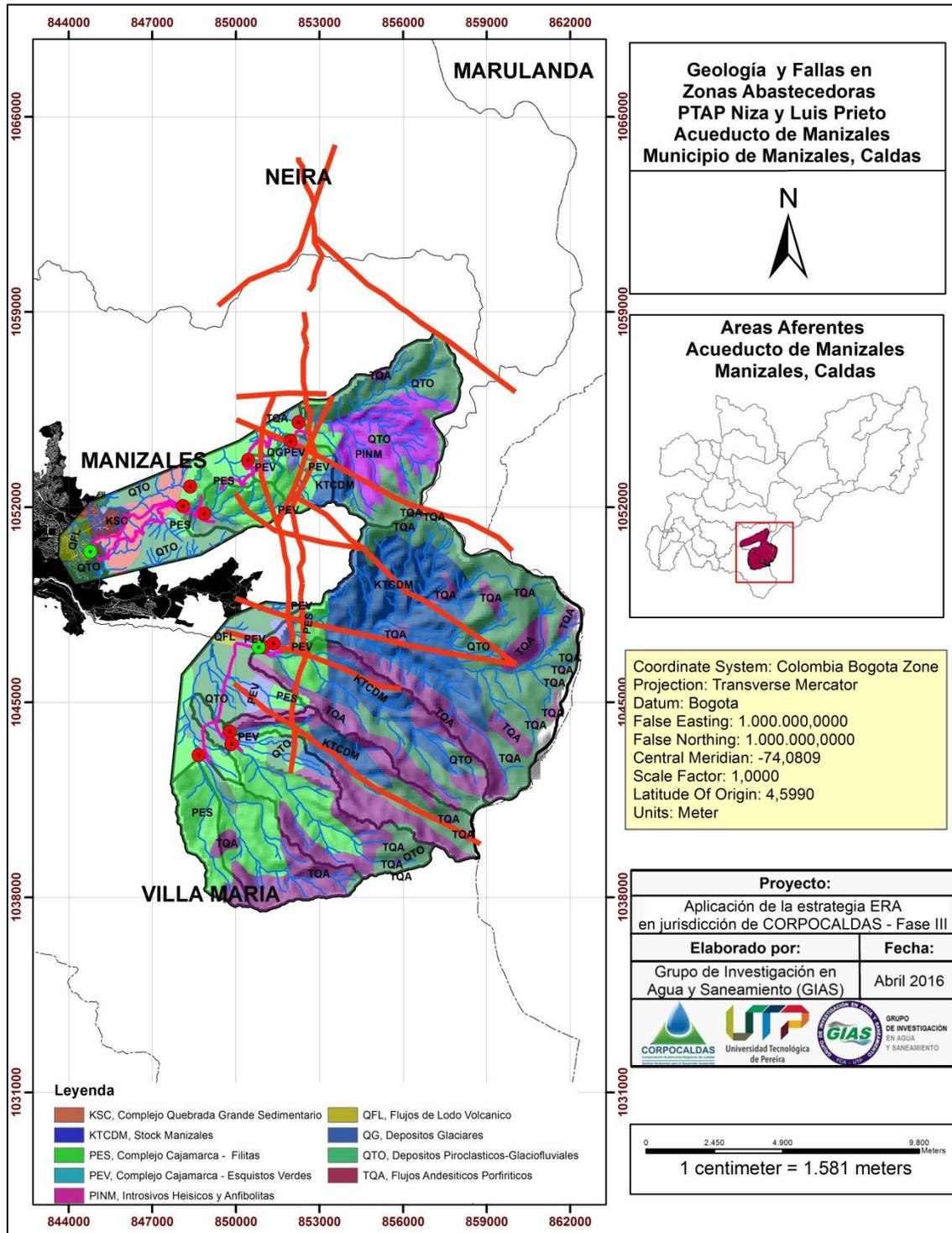


Figura 32. Mapa Geológico-Estructural de las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

Los esquistos verdes se encuentran comúnmente intercalados con los esquistos negros, siguiendo la misma tendencia estructural de estos, con espesores que varían entre centimétricos a métricos. Montoya y Torres (op. cit.) mencionan que esta unidad aflora a lo largo del río Chinchiná y en la Quebrada La Oliva, sectores en los cuales se presenta en afloramientos de centimétricos a métricos, con foliaciones entre NS y buzamientos al NE, con presencia de bandas de cuarzo lechoso y de segregación concordantes con la foliación comúnmente (Ver Figuras 33 y 34).



Figura 33. Intercalación de Esquistos Negros con Esquistos Verdes, con presencia de banda de cuarzo, sector Planta Luis Prieto.
Fuente: Propia.



Figura 34. Esquistos Negros aflorantes en la conducción del ABACO de la Quebrada Pinares, zona de movimiento en masa activo.
Fuente: Propia.

- **Intrusivo Néisico de Manizales (Pinn)**

Nombre asignado por Mosquera (1978, En: González, 2001), el cual se encuentra cubierto por rocas volcánicas del volcán Cerro Bravo y por depósitos piroclásticos del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima. Intruye a las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca y es intruido por el Stock de Manizales y algunas apófisis de este; los mejores afloramientos se presentan en los cauces de Río Blanco y en el camino Letras-Aguabonita.

Cuellar et al. (2003, En: Aguirre y López, 2003) describen la Milonita Granítica del Guacaica (Tm_{gg}) como un granitoide deformado dúctilmente, con estructura néisica y foliaciones de banda de cizalla C que cortan las foliaciones con tendencia NS, con presencia de estructuras tipo augen de cuarzo y feldespatos, venas y boudines de cuarzo de forma lenticular y de escala centimétrica, con desarrollo de pliegues isoclinales y apretados de dimensiones centimétricas a métricos. Esta unidad es

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

correlacionable con el Intrusivo Néisico de Manizales por su composición, posición y relación con las unidades circundantes (Ver Figura 35).



Figura 35. Afloramiento del Intrusivo Néisico de Manizales o Milonita Granítica del Guacaica, sector La Gruta. Fuente: Propia.

- **Complejo Quebradagrande (Ksc)**

Se presenta con intercalaciones de rocas volcánicas con contactos tectónicos producto de la mecánica del macizo rocoso; estos sedimentos son empaquetamientos de lutitas carbonosas, disminuyendo en ocurrencia a grauvacas, areniscas feldespáticas, limolitas y liditas. En diferentes sectores son comunes las venas de cuarzo lechoso paralelos a la estratificación y en algunos casos asociados a zonas de cizalla, los que generalmente le imprime un metamorfismo de bajo grado y dinámico probablemente sobreimpuesto, generando esquistosidad incipiente con orientaciones variables (González, 2001).

Esta unidad en el área, en general presenta moderado estado de meteorización a localmente fresco en algunos cauces asociados a los ABACOs, como es el caso de la Quebrada La Arenosa (Ver Figura 36).

- **Stock de Manizales (KTcdm)**

Nombre asignado por Mosquera (1978) y reportado por López (1991, En: Aguirre y López, 2003) como Stock cuarzodiorítico al oriente de Manizales y definido por Gonzales y Londoño (2001, en: López y Aguirre, op. cit.) como Granodiorita de Manizales (Ver Figura 37).

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



Figura 36. Afloramiento asociado al Miembro Sedimentario del Complejo Quebrada grande, sector parte alta Quebrada La Arenosa. Fuente: Propia.



Figura 37. Afloramiento métrico del Stock o Granodiorita de Manizales, localizado entre las áreas aferentes de la Quebrada Termales y Romerales. Fuente: Propia.

López y Aguirre (op. cit.) describen esta unidad como un granitoide orogénico cuyas características físicas son definidas por ser una roca leucocrática, fanerítica de tamaño de grano medio a fino, con fábricas planares, con presencia de enclaves microgranulares félsicos y xenolitos de la Milonita Granítica del Guacaica de formas elipsoidales y alargados en su eje concordante con la fábrica anisotrópica planar.

Montoya y Torres (2005) mencionan que esta unidad se encuentra en contacto intrusivo forzado con las milonitas del Guacaica; presenta tamaños de grano a medio, leucocrática, en muestra de mano se observan minerales como cuarzo, plagioclasa, anfíboles y micas; en el sector de la Cuchilla de la Fe se observan buenos afloramientos al igual que en el río Chinchiná y la quebrada la Oliva donde es frecuente encontrar esta roca diaclasada. En la quebrada La Oliva se observan enclaves y xenolitos de esquistos asociados por su textura y composición con las milonitas del Guacaica, los cuales son definidos por su escala de ocurrencia, descritos por López y Aguirre (2003).

Mejía (2012) indica que esta unidad aflora en las quebradas Termales y La Oliva, en la carretera Gallinazo – La Gruta, sectores en los cuales los afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos piroclásticos del Complejo Volcánico Ruíz – Tolima. Menciona además, que los afloramientos de la vía Hotel Termales- La Enea, después del sitio conocido como “La Gruta”, la describe como una roca ígnea holocristalina, de textura fanerítica, grano grueso a fino (cristales con tamaño < 1 cm), leucocrática,



composición tonalítica, conformada por cuarzo, plagioclasa y en menor proporción feldespatos alcalinos, como minerales accesorios contiene biotita y hornblenda.

Plazas (2010, en Mejía, 2012) lo clasifica como un intrusivo catázoneo, con base en el análisis de estabilidad de la epidota magmática y encuentra condiciones de emplazamiento de presión mayor a 5 kbar, temperatura mayor a 680°C y estima una profundidad de emplazamiento mayor a 15 km.

Es de resaltar que esta unidad es fuertemente susceptible a los efectos meteóricos debido a sus características composicionales, texturales y estructurales, a pesar de encontrarse cubierta por una espesa capa de depósitos de caída piroclástica, volcánicla y volcánicas efusivas en la zona, es donde se generan con mayor frecuencia procesos de remoción en masa de gran magnitud e importancia en el área, como también por la presencia de saprolitos de espesor variable.

- **Flujos Andesíticos (TQa)**

Montoya y Torres (op. cit.) describen informalmente dentro de esta unidad a las rocas volcánicas La Oliva (Qvlo) como rocas de composición andesítica, melanocrática de matriz fanerítica, conformando paredes verticales y morfologías con pendientes fuertemente escarpadas; y las rocas volcánicas de La Negra (Qvln), la cual es composicionalmente conformada por plagioclasa, cuarzo y minerales máficos, embebidos en una matriz afanítica. González (2001) menciona que esta unidad se caracteriza por estar conformada por coladas de lavas de gran espesor, las cuales fueron depositadas en dos periodos de emisión (Mioceno tardío-Plioceno y Holoceno), conformados lavas andesítico - dacíticas a localmente basáltica en coladas superpuestas y flujos andesíticos sin evidencias de efectos glaciarios (Ver Figura 35).

- **Depósitos Piroclásticos-Glaciofluviales (QTo)**

INGEOMINAS (1993) describe esta unidad en la zona del Volcán Nevado del Ruiz, por encima de los 4.500 m s.n.m., como registro geológico de la última glaciación. Hoy en día con la reactivación del volcán se observa un retroceso de estas capas y una cubierta de tefras, pero aún pueden reconocerse geformas glaciares como circos, valles en "U", morrenas laterales y terminales y rocas estriadas en las paredes de las artesas. Existe evidencia de campo y dataciones que indican al menos dos avances de

los glaciares durante el Pleistoceno y uno durante el Holoceno. Los glaciares no diferenciados se encuentran en los alrededores del Nevado del Ruiz y corresponden a una cubierta de detritos glaciares "drift" compuesta por diversas clases de depósitos glaciares (Franco, 2001).

Montoya y Torres (2005) describen que estos depósitos están conformados por fragmentos rotos de pómez de composición dacítica, así como de fragmentos de andesitas porfíricas, que forman niveles de ceniza inter-estratificados con depósitos de piedemonte; gran parte de estos depósitos se observan en las partes altas de las cabeceras de las zonas aferentes y en las partes bajas del área de estudio (Ver Figura 38).

Los depósitos de Caída Piroclástica son materiales inconsolidados constituidos por cenizas, arenas volcánicas y pómez de tamaño lapilli provenientes de la actividad eruptiva del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima; en afloramiento presentan colores que varían desde gris hasta café oscuro. Presenta horizontes de materia orgánica y generalmente se encuentra alterada a arcillas, ocasionalmente arenosas y por lo general muy plásticas (Aguirre et. al., 1993).



Figura 38. Afloramiento correspondiente a lavas andesíticas, sector parte alta Quebrada Río Blanco. Fuente: Propia.



Figura 39. Afloramiento asociado a depósitos de caída piroclástica, sector parte alta del Río Blanco. Fuente: Propia.

En el área esta unidad presenta importantes procesos erosivos como son en la parte alta de la quebrada La Arenosa, Río Blanco y en algunos tributarios de las áreas objeto de estudio.



- **Flujos de Lodo Volcánico (Qfl)**

González (2001) menciona esta unidad en la Geología de las Planchas 206 y 225, como flujos de lodo volcánico (Lahares), los cuales son generalmente el producto del colapso de edificios volcánicos con depósitos de ceniza y bloques. Estos flujos de lodo volcánico corresponden a depósitos dejados por el arrastre y retrabajamiento de material volcánico de tipo piroclástico (ceniza, arena, lapilli pumítico, rocas volcánicas y bloques de rocas metamórficas y granodioritas), algunos de estos depósitos se observan en el sector de la gruta y en la divisoria entre la quebrada termales-Volcanes-California (Ver Figura 39), algunos ejemplos de estas unidades son la secuencia volcanoclástica del valle de la Enea y el abanico de materia (sensu Naranjo y Ríos, 1989).

- **Depósitos Glaciares (Qg)**

Estos se encuentran conformados por acumulaciones de bloques de lavas andesíticas y andesitas basálticas embebidos en una matriz areno arcillosa de color amarillo a blanco amarillento, las cuales aparecen descubiertas y estriada, cenizas y lapilli retrabajado, los cuales marcan los límites de las glaciaciones alcanzadas en la zona de influencia (González, 2001).

- **Aluviones Recientes (Qar)**

Unidades geológicas generadas como producto de los procesos exógenos en la superficie, los cuales ayudan al modelado del relieve y a la dinámica terrestre. Estos depósitos en el área de interés se presentan como zonas de acumulación de materiales aluviales y coluviales no consolidados de espesores variables ya que dependen de la dinámica de la cuenca y del clima. Los espesores pueden varían entre <1 metro y <=20 metros y se limitan a los cauces de las corrientes de agua, en las cuales el desarrollo del canal permiten acumulaciones importantes de estos materiales; sectores en los cuales se acumulan gravas que varían en tamaño de gruesa a fina, diferente composición (polimíctica) acompañados por matriz arenosa a arcillosa, generando barras puntuales, laterales y en algunos casos terrazas aluviales (Ver Figura 40).



Figura 40. Afloramiento asociado flujos de escombros o lodo volcánicos, sector La Gruta, Quebrada Termales. Fuente: Propia.



Figura 41. Deposito aluvial reciente, sector bocatoma de la Quebrada Romerales. Fuente: Propia.

5.6.2. Geología Estructural

El área en la cual se encuentran contenidas los ABACOs objeto de este estudio fue descrita por Aguirre y López (2003) quienes mencionan la existencia de dos (2) sistemas de lineamientos principales presentes en el área como son (Ver Figura 41):

- **Fallas Asociadas al Sistema de Fallas de Palestina**

Las fallas de este sistema presentan tendencias NS a N30E y buzamientos entre 39 y 80 al este. En este conjunto de fallas se encuentran la Falla Samaná Sur (dextralateral inversa), Falla Termopilas (sinistral inversa con zona de cizalla de 6 metros), Falla Mangabonita (dextralateral Inversa, N5E, con actividad neotectónica), Falla Gallinazo (sinistral, N20E, con actividad neotectónica), Falla Pinares (dextralateral), Falla N5E a N10E (generación de zonas de cizalla frágil) y zonas de cizalla frágil dentro del Stock de Manizales (componente de rumbo).

- **Fallas con dirección Noroeste**

En este grupo de fallas se encuentran asociadas las Fallas Salamina-Marulanda al norte y Salento al Sur (Calvache y Monsalve, 1983; en: Aguirre y López, 2003).

Las fallas asociadas a este grupo son la Falla Villamaría-Termales (sinistral, N65W), Falla La Oliva (zonas de cataclasis soldadas de 35 metros de espesor y componente en



rumbo), Falla Neira 2 (Brecha de Falla de 20 metros de espesor), Falla La Quiebra, Falla con disposición estructural N80W a N85W (deformación en roca dúctil) y zona de cizalla frágil dentro del Stock de Manizales y de la Milonita Granítica del Guacaica (desarrollo de zonas de cizalla locales).

- **Caldas Tear**

Falla de tendencia E-W que tiene interacción con otras fuentes de alineamiento N-S como Murindó, Romeral, Palestina, Salinas y la Frontal Cordillera Oriental. Se considera como un punto de rotura de la Placa Nazca y de ahí que las tasas de desplazamiento y ángulo de buzamiento en los sectores Norte y Sur a partir de ella tengan valores diferentes.

5.6.3. Formaciones Superficiales

El dominio de los depósitos de caída piroclástica en las zonas objetos de este estudio genera suelos jóvenes, lo que no permite un amplio desarrollo de los procesos pedogenéticos en estos; sin embargo, los suelos residuales derivados de las cenizas volcánicas están presentes ampliamente distribuidos y con espesores variables.

Ocampo (2012) describe en general los suelos presentes en la cuenca del Río Chinchiná en general como se indica a continuación (Ver Tabla 19), descripción que es acogida en esta evaluación:

Tabla 19. Formaciones superficiales.

Materia parental	Características Suelo Residual				
	Profundidad	Drenaje	Textura	pH	Materia orgánica
Arcillotitas y Arenisca (QR1)	Profundos	Bien drenados	Arcillosa a arenosa	ácidos	Medio a bajo
Depósitos superficiales de arenas y cenizas volcánicas (QR2)	Superficiales	Bien drenados	Gruesa	ácidos	Medio
Cenizas volcánicas y arcillas (QR3)	Profundos	Bien drenados	Franco arcillosa	Neutro	Bajo
Depósitos profundos de arenas y cenizas volcánicas (QR4)	Profundos	Bien drenados	Variable	Ligeramente ácidos	Medio a alto
Depósitos profundos de ceniza volcánica (QR5)	Muy profundos	Bien drenados	Franco arenosa	Ligeramente ácidos	Alto
Depósitos profundos de ceniza volcánica y roca metamórfica (QR6)	Profundos	Excesivamente drenados	Variable	Ligeramente ácidos	Alto
Rocas Ígneas y capas de ceniza volcánica (QR7)	Muy profundos	Bien drenados	Variable	Ligeramente ácidos	Alto
Rocas Ígneas intrusivas (QR8)	Poco profundos	Bien drenados	Variable	Ligeramente ácidos	-
Rocas ígneas sedimentaria (QR9)	Superficiales	Bien drenados	Finas	Ligeramente ácidos	Bajos
Rocas sedimentarias e ígneas. Inclusión de roca metamórfica (QR10)	Superficiales	Excesivamente drenados	Finas	Ligeramente ácidos	Bajos
Depósitos fluviales y fluviovolcánicos (Qfv)	Moderada	Moderadamente drenados	Variable	Ligeramente ácidos	Bajo
Sedimentos Coluviones, aluviales (Qcv)	Moderada	Moderadamente drenados	Franco arcillosa a arenosa	Ligeramente ácidos	Bajo

Ocampo (2012, adaptada de Alcaldía de Manizales, 2003)

5.6.4. Geomorfología Regional

Regionalmente el área se encuentra caracterizada por presentar una gran variedad de geoformas producto de la interacción de factores como intemperismo, hidrológicos, tectónica y vulcanismo que a su vez encuentran directamente relacionados con las pendientes de la región; estos relieves son descritos en el Plan de Manejo de la Reserva Forestal protectora de las Cuencas Hidrográficas de Río Blanco y Quebrada Olivares (CORPOCALDAS, 2010), cuyas características son similares en las zonas de estudio, las cuales se describe a continuación (Ver Figura 42):

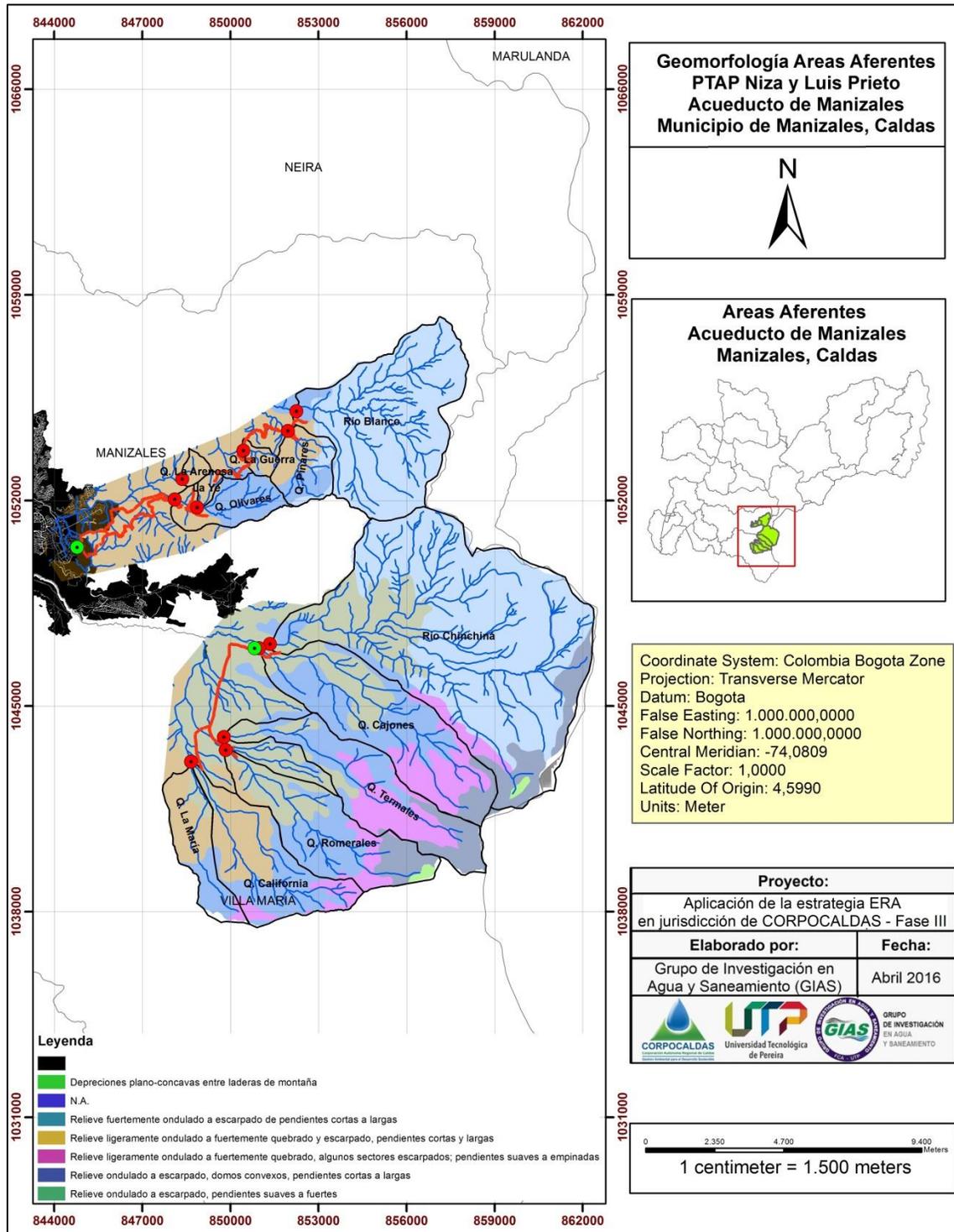


Figura 42. Mapa Geomorfológico de las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

- **Relieve de valle fluvio - volcánico y altiplanicie Hidrovolcánica**

Es una unidad atípica en la región. Se dispone a lo largo de los cauces, agrupando formaciones superficiales de origen fluvial y fluvio-volcánico recientes. La geología de estas unidades se caracteriza por presentar terrazas de primer y segundo nivel y corrientes piroclásticas densas, presentando pendientes entre 7 al 12% con evidencia de procesos erosivos leves (Ver Figura 43). La unidad climática de este gran paisaje es Páramo Bajo, semi húmedo (PBsh). Es catalogada también, como unidad atípica por sus autores dentro del proceso de caracterización (CORPOCALDAS, 2.000; en CORPOCALDAS, 2010).

- **Relieve montañoso erosional**

Unidad climática frío húmedo (FH). Se caracteriza por presentar un relieve montañoso de tipo erosional y por presentar pendientes entre 25-75% y erosión leve. Esta unidad fisiográfica se encuentra asociada al Complejo Cajamarca, Stock de Manizales (Ver Figura 44), Complejo Quebradagrande litodéma o miembro sedimentario a localmente el litodéma o miembro volcánico.

Las unidades de paisaje que hacen parte de este gran paisaje son: Montañas erosionables en rocas sedimentarias con resistencia variable, montañas erosionables en rocas ígneas resistentes, montañas erosionables en rocas metamórficas de baja resistencia y montañas erosionables en rocas intrusivas de baja resistencia (CORPOCALDAS, op. cit.).



Figura 43. Paisaje de valle fluvio - volcánico y altiplanicie Hidrovolcánica del Río Blanco.

Fuente: Propia.



Figura 44. Paisaje relieve montañoso erosional del Río Chinchiná. Fuente: Propia.



- **Relieve Montañoso Fluvio-erosional.**

Paisaje erosional producto de la erosión hídrica combinado con otros procesos, como los causados por la remoción en masa. Se asocia a paisajes de tipo volcánico y glaciáricos, con alturas que oscilan entre 2.200 m.s.n.m. y 3.200 m.s.n.m. Las pendientes van de escarpadas a fuertemente quebradas (de 12% a 30%) y son atravesadas por numerosas corrientes de agua.

En cuanto a la capa tectónica, este gran paisaje presenta frecuentemente lineamientos, con un grado de erosión en general ligero, aumentando eventualmente el número de eventos de deslizamientos (CORPOCALDAS, op. cit.).

- **Relieve Montañoso Estructural-erosional.**

Hacen parte de este grupo, las montañas cuya altura y forma son producto del grado de deformación de la roca. En este contexto se conservan aún las estructuras originales a pesar de los procesos denudativos presentes y cabe anotar que los patrones de drenaje (dendríticos y subdendríticos), procesos que están presentes en este relieve (Ver Figura 45). Es posible identificar esta unidad, Complejo Cajamarca, alrededor de Río Blanco y Olivares, como también alrededor de las quebradas la Guerra y Pinares, donde su pendiente va de escarpado ha quebrado y tiene gran connotación los eventos de remoción en masa muy marcados (CORPOCALDAS, 2010).

- **Relieve montañoso glaciárico - volcánico con control estructural.**

La unidad climática dominante es el frío húmedo. En este paisaje las pendientes fluctúan desde el 3% hasta pendientes superiores al 75%, registrando erosiones leves. Está conformado por las siguientes litologías: Coladas de lavas andesíticas antiguas y coladas de lavas andesíticas recientes (CORPOCALDAS, op. cit.).

- **Relieve montañoso glaciar - volcánico terciario.**

Está localizado en la unidad climática de páramo bajo húmedo (PBH). Se caracteriza por la presencia de lavas indiferenciadas y algunos depósitos morrénicos: cenizas, tefras, depósitos de corrientes Piroclásticas densas y glacio-fluviales, con pendientes entre 12% y 25% y con erosión leve hasta moderada (Ver Figura 46).

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



Figura 45. *Relieve Montañoso Estructural-erosional observado en el ABACO de Río Blanco. Fuente: Propia.*



Figura 46. *Relieve montañoso glaciario-volcánico terciario observado en la quebrada Cajones, sector la Oliva. Fuente: Propia.*

Se encuentra conformando las siguientes litologías: Coladas de lava antigua denudacionales, que han perdido su morfología original; coladas de lava reciente con denudación de baja intensidad las cuales conservan sus rasgos geomorfológicos originales, artesa glacio-fluvial y laderas de artesa glacio - fluvial.

- **Gran paisaje relieve montañoso glaciario - volcánico cuaternario.**

Se presenta en la unidad climática de páramo alto súper húmedo, caracterizado por tener lavas indiferenciadas, depósitos morrénicos: cenizas tefras, depósitos piroclásticos y glacio - fluviales.

Se encuentra asociado a las siguientes litologías: Artesa glacio - fluvial y coladas de lava reciente con denudación de baja intensidad que conservan su morfología original. En general la erosión que se registra en esta unidad fisiográfica es catalogada como leve (CORPOCALDAS, 2010).

Está conformado por unidades de origen glaciario, erodados inicialmente de flujos de lavas. Se presentan entre los 3.000 m.s.n.m. y 3.700 m.s.n.m., localizados en la unidad climática de páramo bajo, semi húmedo (PBsh) (CORPOCALDAS, op. cit.).



6. DIAGNÓSTICO DE LA AMENAZA

Una amplia revisión de antecedentes es presentada en el Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la cuenca del Río Chinchiná (POMCA), en el cual indican que las amenazas obtenidas para esta cuenca fueron tratadas en el documento de INGESAM (2007), como también estudios de CORPOCALDAS (2011) presentados en el Plan de Acción para la Atención de la Emergencia y la Mitigación de sus Efectos en el Departamento de Caldas (PAAEME).

A continuación se hace referencia de las amenazas de acuerdo a la revisión bibliográfica realizada en el POMCA para la Cuenca del Río Chinchiná (CRCh):

- **Amenaza sísmica:** La Cuenca del Río Chinchiná se encuentra ubicada en una zona de amenaza sísmica alta, debido a la tectónica nacional (interacción entre las placas tectónicas afines con Suramérica) con fenómenos de subducción y transcurrancia de las placas, como también de las fallas de orden regional, siendo la falla Romeral la fuente más cercana y de más relevancia en el área de estudio, con eventos de magnitud 6 e intensidades VII a VIII (CIMOC & CEDERI, 2002).
- **Amenaza por inundación:** En Manizales las zonas inundables se ubican en los niveles de terraza y llanura de inundación conformadas por depósitos aluviales y flujos de escombros, con pendientes menores a 15°, esta amenaza no es claramente determinada en las áreas de influencia de las plantas Niza, Luis Prieto y de las bocatomas asociadas al acueducto de Manizales.
- **Amenazas por flujos de lodo y avalanchas:** La dinámica de la cuenca del Río Chinchiná es de características torrenciales determinadas en el registro geológico por flujos y avalanchas, deslizamientos y represamientos ocurridos en la parte alta de la cuenca; como también la generación de flujos en sus afluentes, con gran potencial destructivo como es el caso de la quebrada Manizales (y afluentes como la Quebrada Cristales y La Castrillona), quebrada Olivares, y en la zona urbana fenómenos de remoción en masa (Cuenca la Quebrada El Perro), afectando la red vial y las redes de servicios públicos. Las fuertes pendientes, suelos incompetentes geotécnicamente, altas precipitaciones, cambios en los usos de los suelos son detonantes para la generación de estos procesos.



- **Amenaza por deslizamientos:** Se puede advertir que gran parte de la cuenca, se encuentra en zona de amenaza alta por deslizamiento, con variables accionantes como las lluvias y los sismos. La ocurrencia de estos fenómenos depende de factores tales como la calidad y estado del macizo rocoso y la clase de suelo, el intemperismo y erosión, la actitud de las discontinuidades relictas y fracturas, la intensidad y cantidad de lluvia, la fuerza sísmica, y la actividad e intervención antrópica, en el manejo de las aguas, en talas y cambios de coberturas, en vertimientos de aguas, etc. En la cuenca del río Chinchiná, a causa del carácter bimodal del clima, son más probables los movimientos en masa en las dos temporadas invernales: después de marzo 21 hasta finales de junio, y después de septiembre 21 hasta finales de noviembre (INGESAM, 2007: en POMCA del Río Chinchiná).

La litología en la cual ocurren los deslizamientos en la cuenca son la interface de secuencia piroclástica o suelo residual con las rocas de basamento, en especial el miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande, en menor proporción en las rocas metamórficas de Cajamarca. El principal elemento detonante para la inestabilidad de laderas lo constituye la sobresaturación por lluvias (2.000 mm precipitación media anual aproximadamente) y la pérdida de soporte lateral, asociado con excavaciones de carreteras o socavación de los ríos de régimen torrencial y la explotación de materiales de arrastre. Las principales variables contribuyentes a la erosión lo constituyen el cambio en el uso del suelo de coberturas densas a cultivos limpios, la deforestación en zonas de fuerte pendiente y la apertura de vías y caminos. Dentro de los factores intrínsecos que favorecen la inestabilidad se destaca el grado de trituración de la roca en zonas de falla, la disposición de las discontinuidades, la longitud y el ángulo de la pendiente, el contacto entre unidades de diferente permeabilidad o la interface existente entre roca meteorizada-roca sana (CORPOCALDAS, 1999: En POMCA del Río Chinchiná).

- **Amenaza volcánica:** La zona se ve restringida principalmente a caída de piroclastos y lahares que pueden afectar zonas más lejanas de la fuente, ya que se encuentran restringidos a los canales nacientes en el macizo volcánico o en cercanías del mismo.



6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS AMENAZAS QUE PUEDEN AFECTAR EL SISTEMA

Es el proceso mediante el cual se determina la probabilidad de ocurrencia y la severidad de un evento o fenómeno en un periodo de tiempo y en un área determinada, además en su zonificación se representa la recurrencia estimada y ubicación geográfica de eventos probables.

La evaluación se realizó partiendo del análisis de las amenazas de primer orden como lluvias y sismos; de segundo orden o provocadas por las anteriores como erosión y movimientos en masa; y de tercer orden que serían las inundaciones. La identificación de las zonas más susceptibles a los fenómenos evaluados, igualmente fueron valoradas según la afectación y localización en las cuencas.

En los sistemas de abastecimiento de agua, la amenaza según su origen, fueron tipificadas como de origen natural o generadas por la actividad del hombre (antrópicas), las cuales pueden ser a su vez inherentes a la operación, mantenimiento o ajena a estos.

Para las plantas de Niza y Planta Luis Prieto, como también las áreas abastecedoras a estas, se determinaron cinco (5) tipos de amenaza como son:

6.1.1. Amenaza Movimientos por Cambio Climático

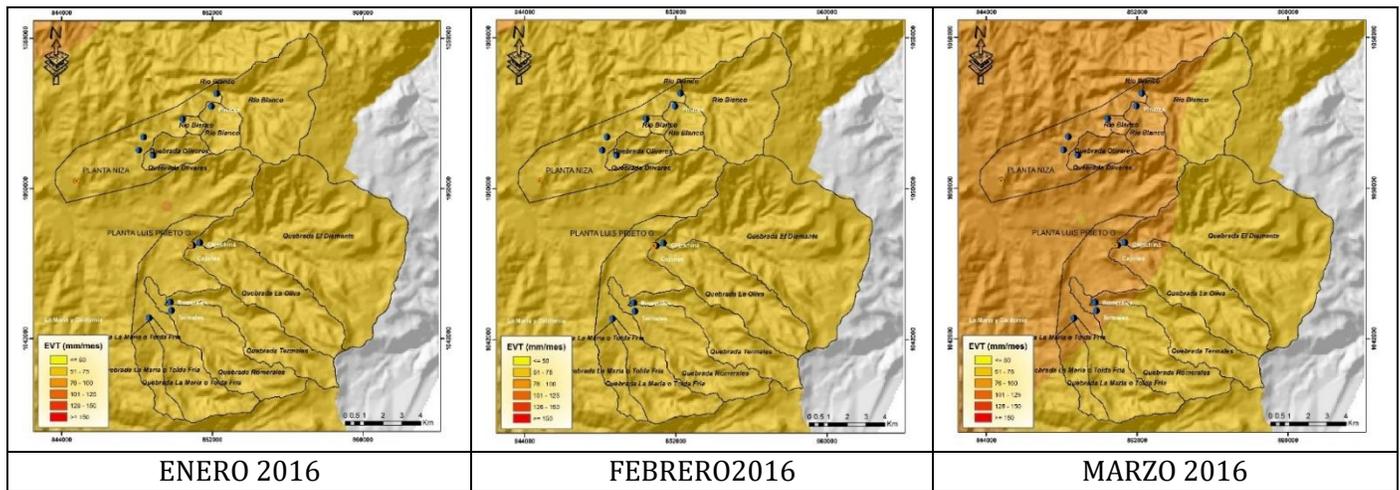
El análisis de la amenaza por Cambio Climático para la zona de estudio se realizó a partir de registros de temperatura históricos tomados de estaciones climáticas cercanas, la estimación de la evapotranspiración potencial media y la proyección de ésta a largo plazo contemplando escenarios de comportamiento de temperatura promedio.

- **Estimación de la evapotranspiración potencial**

La evapotranspiración se define como el principal parámetro de pérdida de cantidad de lluvia disponible dentro del balance hídrico (Aparicio, 1982; Trezza, 2006). En un estudio de ERA esta variable juega un papel importante, ya que permite confrontarse de manera preliminar con el aporte de precipitación y establecer o dar una aproximación de los periodos en que se puede presentar déficit y/o exceso hídrico.

Para la zona de estudio se aplicó el método de Penman - Monteith, debido a que tiene en cuenta un mayor número de registros climáticos y además contempla todas las variables que afectan de manera directa la evapotranspiración.

En la Figura 47 se relacionó la distribución y comportamiento medio de la evapotranspiración en la zona de estudio a escala mensual histórica y proyectada al año 2040, asumiendo un aumento en la temperatura de 0.9°C de acuerdo con la proyección de temperatura al año 2040 en el Departamento de Caldas (IDEAM et al., 2015). Se observó que en los meses de Enero, Febrero, Abril, Agosto y Diciembre un comportamiento constante en las zonas de aferencias de estudio con una leve reducción en la evapotranspiración en las zonas externas a éstos. En los meses de Septiembre y Octubre se observó una reducción muy leve en las áreas de estudio, y finalmente, en los meses de Marzo, Junio, Julio y Diciembre un leve aumento en el comportamiento de la evapotranspiración tanto en el área cercana a las áreas de estudio, como en éstas.



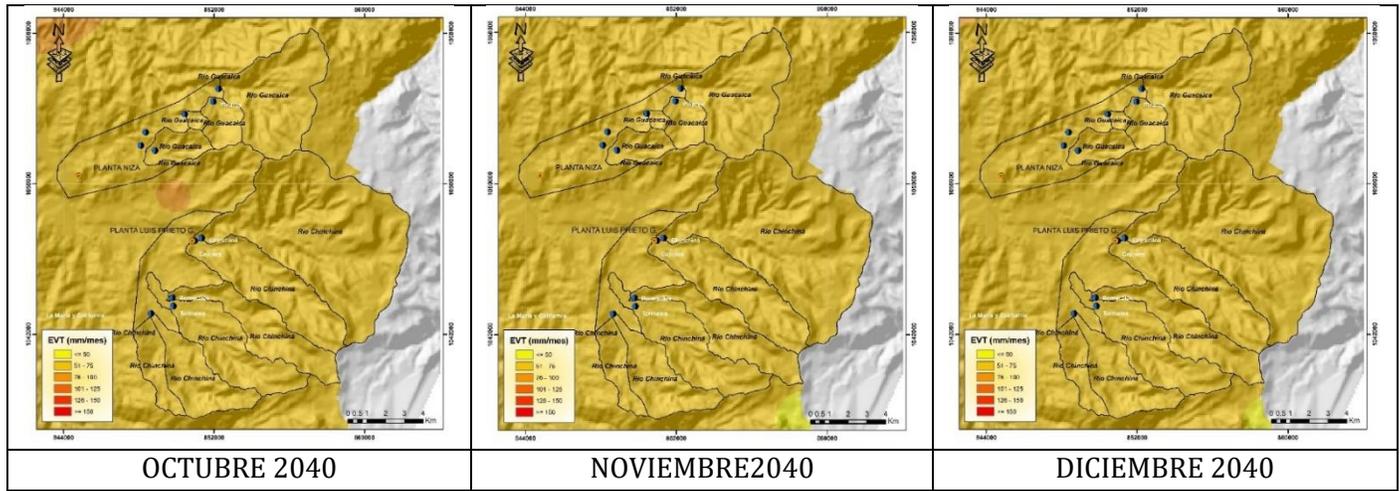


Figura 47. Evapotranspiración potencial media

A partir del análisis anterior, para la zona de estudio de manera general se observó que un aumento en la temperatura en la zona altera la distribución de ésta, la cual tiende en la mayoría de los meses a aumentar en la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Chinchiná, lo que significaría un descenso en el caudal de oferta disponible, especialmente en las corrientes hídricas abastecedoras.

Al relacionar el comportamiento en la evapotranspiración con la tendencia en el comportamiento de la precipitación para la zona de estudio y para el Departamento de Caldas, se analiza que un aumento de ésta última (20.16% al año 2040), se define para la zona de estudio que ésta será afectada por la acentuación de periodos y días tanto secos como de lluvias prolongados, que implicaría para toda la zona de estudio una alteración en la disponibilidad hídrica mensual (IDEAM, 2016) que tendería a que los meses con exceso hídrico o almacenamiento presenten más exceso y en los meses de baja precipitación se comiencen a presentar condiciones de déficit hídrico especialmente en la ciudad de Manizales.

Por otro lado, también se espera en términos de disponibilidad hídrica en las partes altas de las zonas de estudio, posibles amenazas en el desabastecimiento hídrico debido a caudales de oferta por debajo de la demanda requerida en periodos o días secos prolongados, al igual que limitantes en el acceso al recurso hídrico por calidad de agua en periodos de lluvia.



Aunque el efecto de Cambio Climático se estima que se pronuncie a muy largo plazo (IPCC, 2007; Lasso, 2016), se debe comenzar a analizar los futuros efectos como estrategias de adaptación a éste. Ello implica que en la zona de estudio se debe enfocar en el análisis de los efectos de Variabilidad Climática como principal herramienta de análisis en el corto plazo para visibilizar estrategias que garanticen la oferta hídrica en acueductos rurales y urbanos.

6.1.2. Amenaza por variabilidad Climática

El análisis por Variabilidad Climática se realizó para identificar la incidencia de los Eventos Climáticos Extremos en el comportamiento histórico y proyectado de la precipitación. Para el primero, se aplicó un análisis de histogramas de frecuencia dado que este permite evidenciar gráficamente el cambio en la frecuencia y cantidad de precipitación en el tiempo (Lasso, 2016). Para el segundo, se determinó la probabilidad de que un evento mensual de precipitación que suceda en el corto plazo sea por debajo del promedio mensual, por encima del promedio mensual o dentro del comportamiento promedio mensual, tanto para periodos modales (no ocurrencia del ENOS) como no modales (ocurrencia del ENOS por medio de sus fase cálida o fenómeno de El Niño) y fría o fenómeno de La Niña).

- **Análisis de frecuencia e intensidad de Eventos Climáticos Extremos**

El análisis de histogramas de frecuencia se empleó para analizar si la precipitación de la zona de estudio ha presentado un cambio, si éste ha sido mayor o menor y la incidencia de eventos extremos de precipitación y/o sequía. Para ello, el procedimiento llevado a cabo fue separar los registros históricos en periodos iguales, obtener el histograma de frecuencia de cada uno, utilizado la herramienta MINITAB 17.0 y posteriormente, con base en la Figura 48 se definió la variación en la precipitación del segundo periodo obtenido respecto al primero, asumiendo en la abscisa que un desplazamiento hacia la derecha indica un aumento en la cantidad de precipitación, y al contrario, un desplazamiento hacia la izquierda indica una disminución de ésta. En el eje de las ordenadas se analizó el aumento o disminución en la frecuencia de los registros de precipitación, asumiendo que una reducción de la curva indica que la cantidad de precipitación en el mes es menor en el segundo periodo evaluado respecto al primero, y al contrario, un estiramiento de la curva y/o

un aumento en su pico indica un aumento dentro un rango de precipitación definido (Lasso, 2016; Baethgen, 2013; Magaña, 2010).

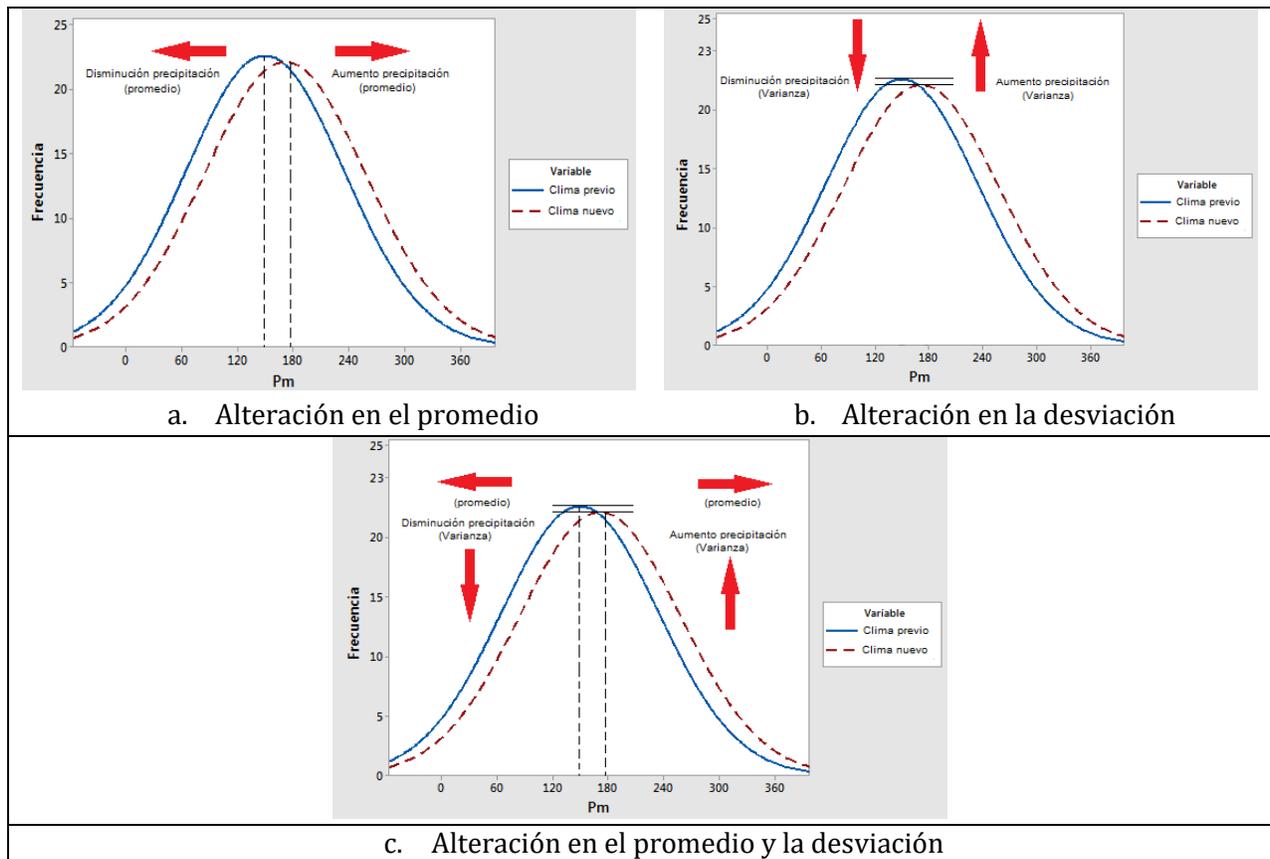
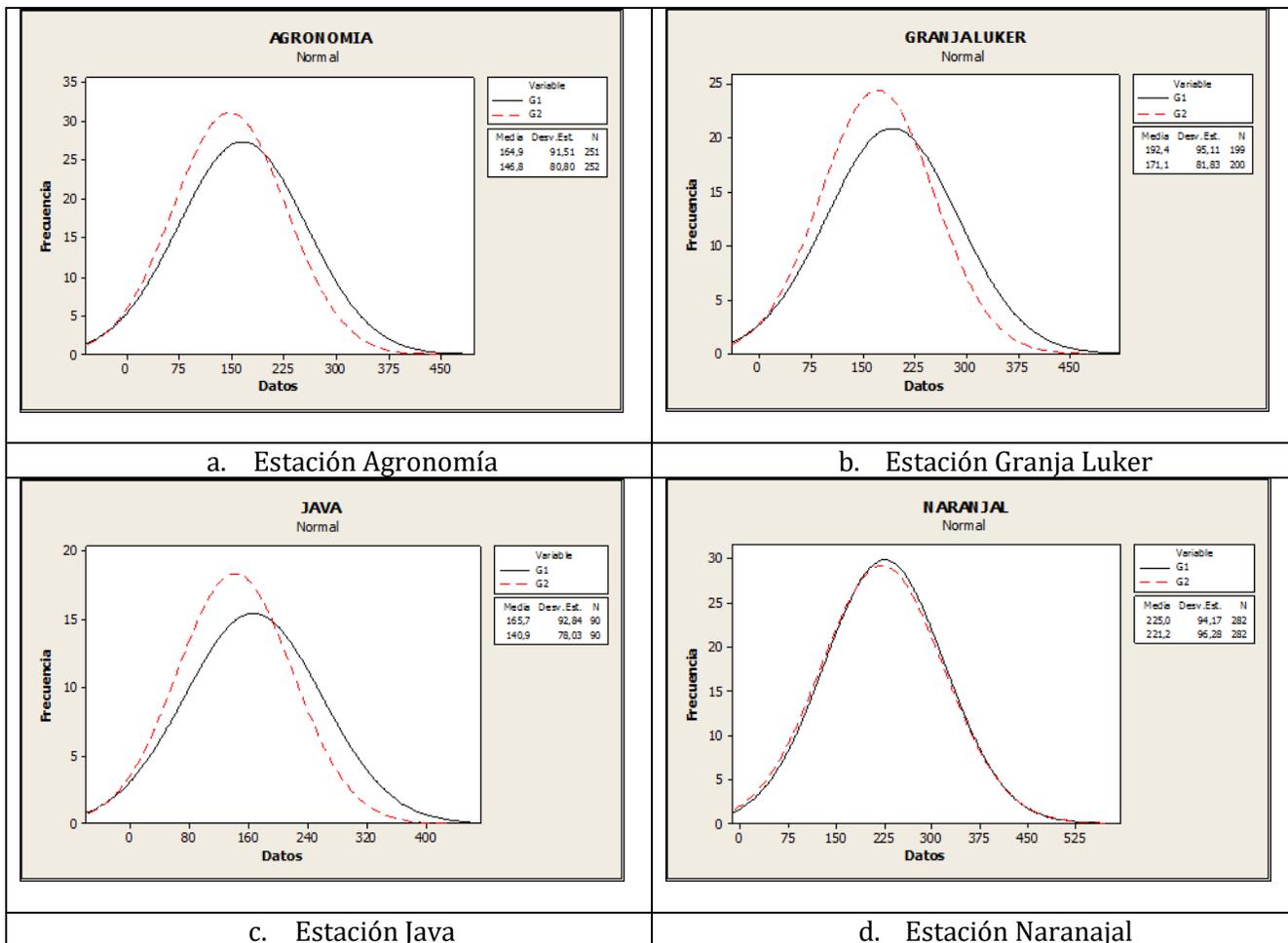


Figura 48. Descripción del comportamiento en la precipitación a partir de histogramas de frecuencia (Fuente: Adaptado de Lasso, 2016; Magaña, 2010)

En la Figura 49 se relacionaron los histogramas de frecuencia de cada una de las estaciones y su influencia en la zona de estudio. Se observó en la Figura 50 un desplazamiento hacia la izquierda del histograma del segundo periodo (punteada de color rojo) respecto al histograma del primer periodo (continua de color azul), lo que deduce una reducción en términos de cantidad de la precipitación total mensual para todas las estaciones con excepción de la Estación Sancancio, quien mantuvo un comportamiento constante. Esta deducción se respaldó con la variación en la precipitación media de cada una de dichas estaciones, la cual fue más variable en el área de influencia de las estaciones Granja Luker, Java, Santa Ana y Aeropuerto La Nubia.

Respecto a su frecuencia, se analizó en las estaciones cercanas a la zona de estudio que las precipitaciones altas (por encima del promedio) tienden a presentarse menos en estas áreas aferentes a las bocatomas, ubicándose más dentro del rango de comportamiento promedio.



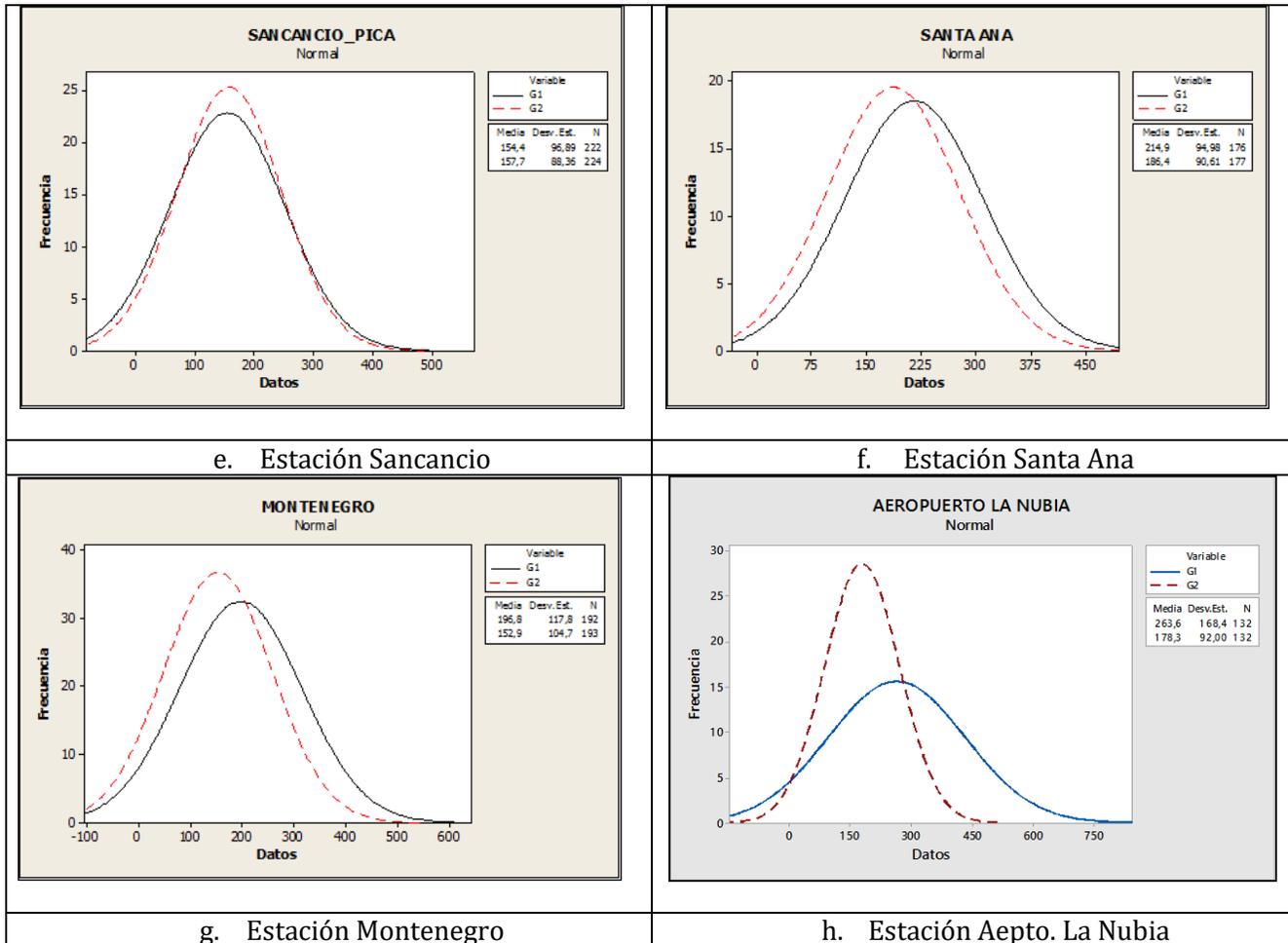


Figura 49. Histograma de frecuencias de precipitación en de estaciones cercanas a las áreas aferentes de estudio.

En la Figura 50 se presenta la espacialización en el cambio de la precipitación a partir del comportamiento observado en los histogramas. Se observó para la zona de estudio que la mayor disminución se ha mostrado hacia la parte alta de la cuenca del río Chinchiná, la quebrada Cajones y la quebrada Termales (entre -35 a -25 mm) al igual que en la quebrada Pinares, quebrada Olivares y parte baja del río Chinchiná y quebrada Cajones en menor cantidad (entre -15 a -5 mm).

Este comportamiento evidenciado en la zona de estudio refleja en términos de oferta hídrica que ésta haya variado en algunos meses de los últimos años, específicamente en zonas donde se han evidenciado cambios de usos del suelo por efecto de expansión agrícola, erosión y/o deslizamientos de tierra que no aumenten la retención o



regulación hídrica en las partes altas, pero a pesar de la reducción, se advierte por efecto de la alteración de los días de lluvia que éstos se estén presentando como eventos de precipitación de alta intensidad y frecuencia, pero de corta duración, alterando también la torrencialidad de cada una de las áreas aferentes.

Al comparar estos resultados a partir del análisis de histogramas con los emitidos por IDEAM et al., (2105) para el Departamento de Caldas, se aclara que éstos se generan específicamente para la zona de estudio (análisis de la frecuencia y cantidad de los eventos de precipitación generados), más no analiza la variación mensual o anual presenta y/o proyectada que haya sufrido el Departamento en un periodo determinado (quien aduce que para la zona de estudio existe un aumento en la variación de la precipitación, o sea que tiende a llover más).

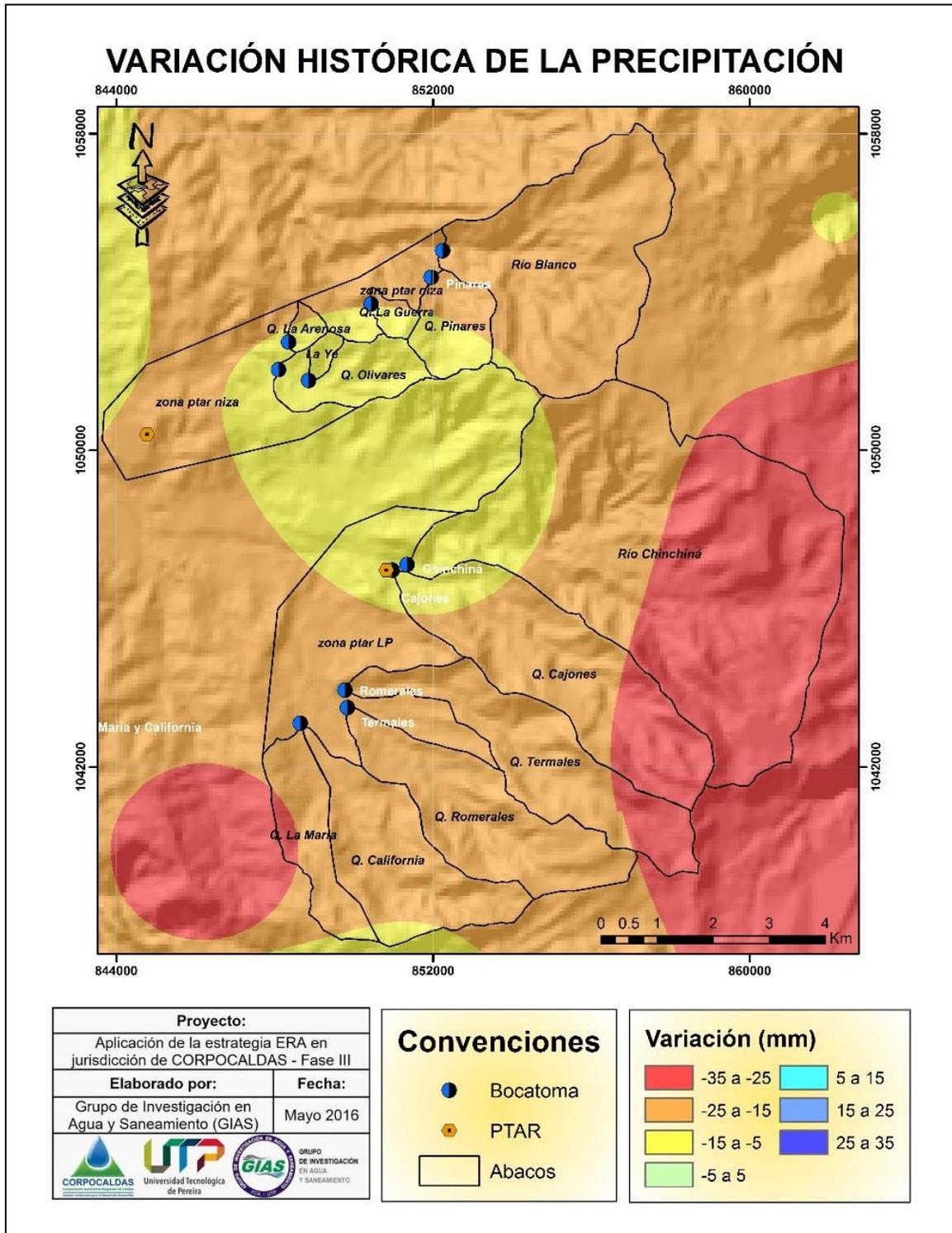


Figura 50. Distribución de la variación histórica de la precipitación en la zona de estudio.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

- **Proyección de la precipitación**

La predicción mensual en la zona de estudio se realizó aplicando la metodología de Análisis Compuesto (Sánchez et al., 2013), con el fin de determinar la probabilidad de que un evento de precipitación total mensual a corto plazo se presente en la zona de estudio y tienda a comportarse dentro de lo normal (cercano al valor promedio esperado para un mes), por debajo de lo normal (un valor menor al esperado para un mes) por encima de lo normal (un valor mayor esperado para un mes), bajo un periodo modal o no modal, aplicando el teorema de probabilidad total (ecuación 1).

Ecuación 1. Expresión para la determinación de probabilidad

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i) P(B|A_i)$$

El Análisis Compuesto se llevó a cabo basado en observaciones de la variable dependiente bajo las fases conocidas del fenómeno de Variabilidad Climática que tiene influencia sobre ésta (Sánchez et al., 2013). En la Tabla 20 se relacionaron los valores de probabilidad representados para la zona de estudio.

Tabla 20. *Escala de valores de probabilidad de ocurrencia de la precipitación en la zona de estudio (Adaptado de Sánchez et al., 2013).*

Prob. (%)	Representación	Prob. (%)	Representación	Prob. (%)	Representación	Prob. (%)	Representación
+100		+40		-10		-60	
+90		+30		-20		-70	
+80		+20		-30		-80	
+70		+10		-40		-90	
+60		0		-50		-100	

A partir de la tabla anterior, se halló en la Figura 51 que para un periodo de ocurrencia Modal en los meses de Enero, Agosto y Septiembre existe una probabilidad de que la precipitación tienda a ser por encima de lo normal, siendo más notable hacia



el norte de la zona de estudio en el mes de Enero, hacia el sur en el mes de Agosto y en Octubre hacia la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Chinchiná.

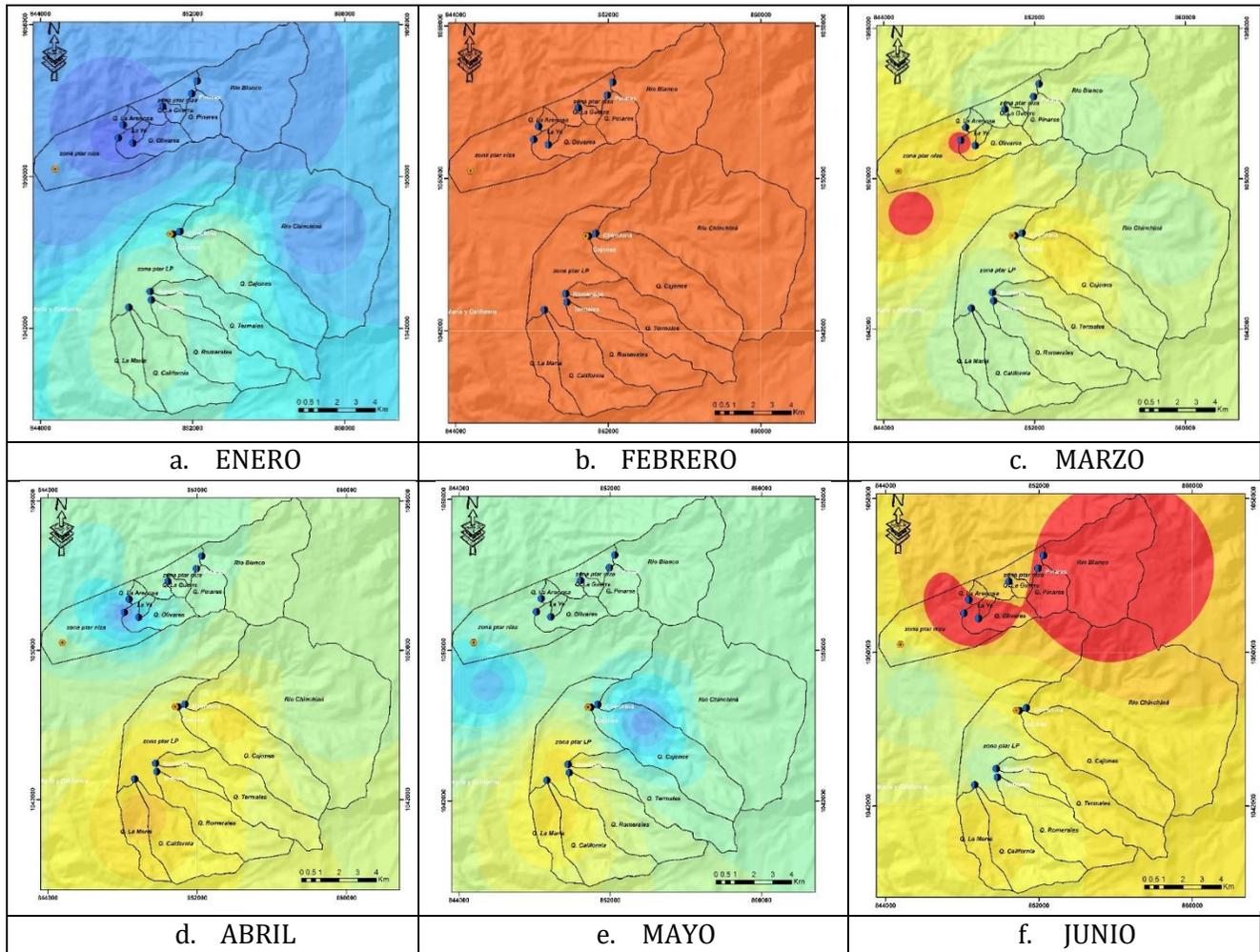
Para los otros meses, se observó una tendencia a ser por debajo de lo normal especialmente en los meses de Noviembre, Febrero y Julio de acuerdo con la escala de valores de la Tabla 20, en comparación de los meses de Septiembre, Diciembre y Junio donde la probabilidad de disminución es más leve. Por último, se analizó una probabilidad de comportamiento en la precipitación cerca de lo normal hacia el norte de la zona de estudio, durante los meses de Marzo, Abril, Mayo y Agosto.

De esta figura, se analizó de manera general que la tendencia en el segundo periodo húmedo del año (Septiembre-Octubre-Noviembre), es que haya un aumento de la precipitación y en los meses secos, se presente una disminución (excepto en los meses de Enero), definiendo que los meses húmedos tiendan a ser igual o más húmedos y los meses secos, más secos. Este comportamiento visualiza que diversos sectores socioeconómicos instalados en la zona de estudio tengan un impacto considerable en la disponibilidad, acceso y uso del agua. En el sector hidroeléctrico, se espera que en el mes de enero se presenten días en que se garantice la producción energética promedio para éste, contrario a lo que sucedería en el resto de los meses donde la probabilidad de que se presenten precipitaciones por debajo del comportamiento normal mensual generaría una reducción en el caudal y por ende una reducción en la producción de energía por efectos de calidad.

En el sector agrícola, se espera que en los meses secos haya un aumento de plagas o enfermedades especialmente en el cultivo de café, debido a que éstos tienden a aumentar en los periodos secos y/o de ocurrencia del fenómeno de El Niño, aunque para el mes de Enero por ser el mes más seco en la zona de estudio, se presentarían aumentos en la precipitación que garantiza al cultivo suplir sus necesidades hídricas.

Para las plantas que surten de agua a la ciudad de Manizales, se espera que se generen disminuciones en la oferta hídrica especialmente en los meses de Febrero, Noviembre, Octubre, Junio, Julio y Diciembre, lo que se espera de parte de las empresas prestadoras del servicio es la búsqueda de fuentes alternas de abastecimiento y de almacenamiento de agua. De igual manera, se espera que la industria que se ubica cercana a la zona de estudio implemente Programas de Ahorro y Uso Eficiente del

Agua (PAUEA) y optimicen sus procesos industriales, lo que les permitiría tener una menor demanda de agua y garantizar una producción continua.



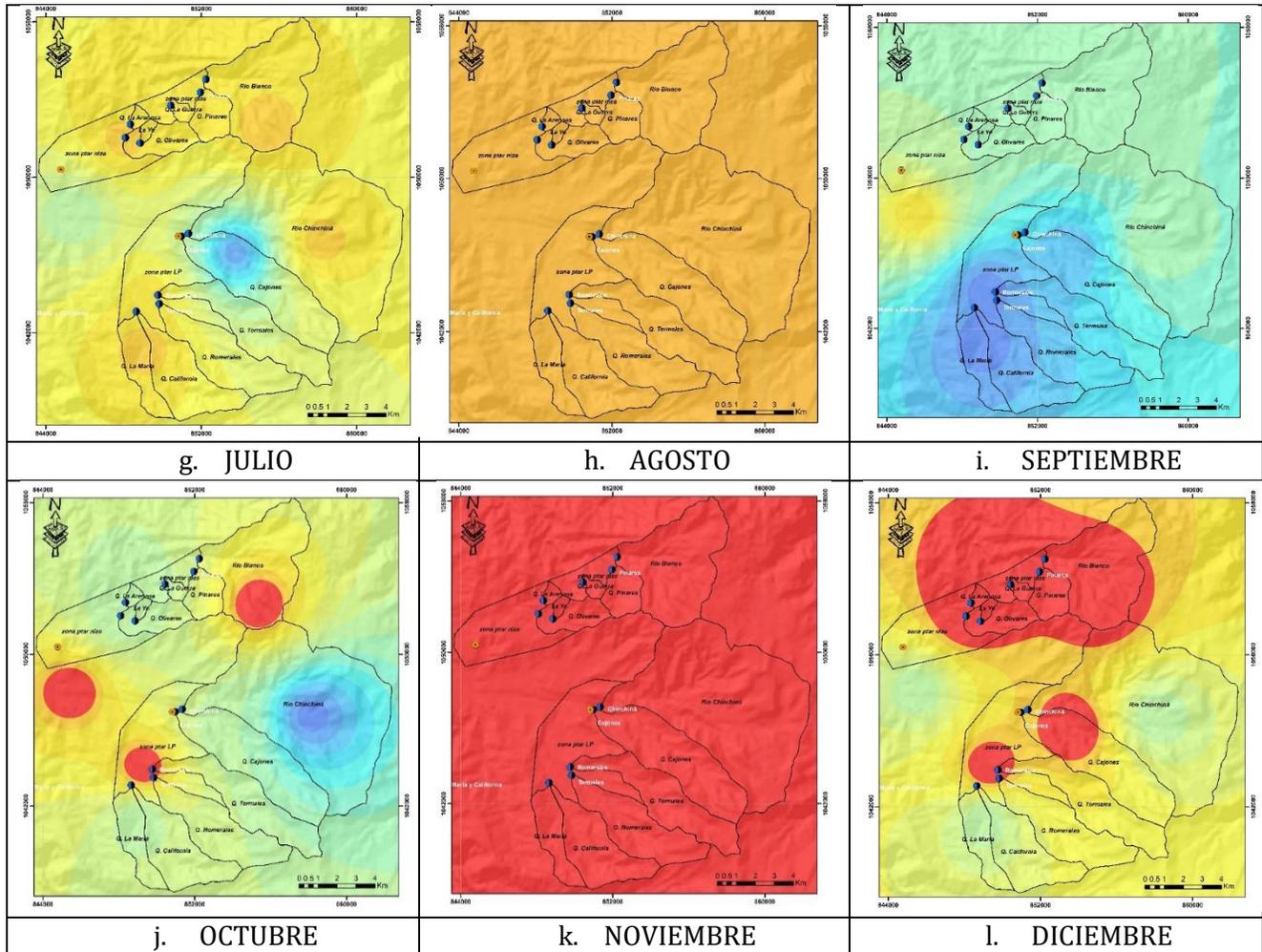
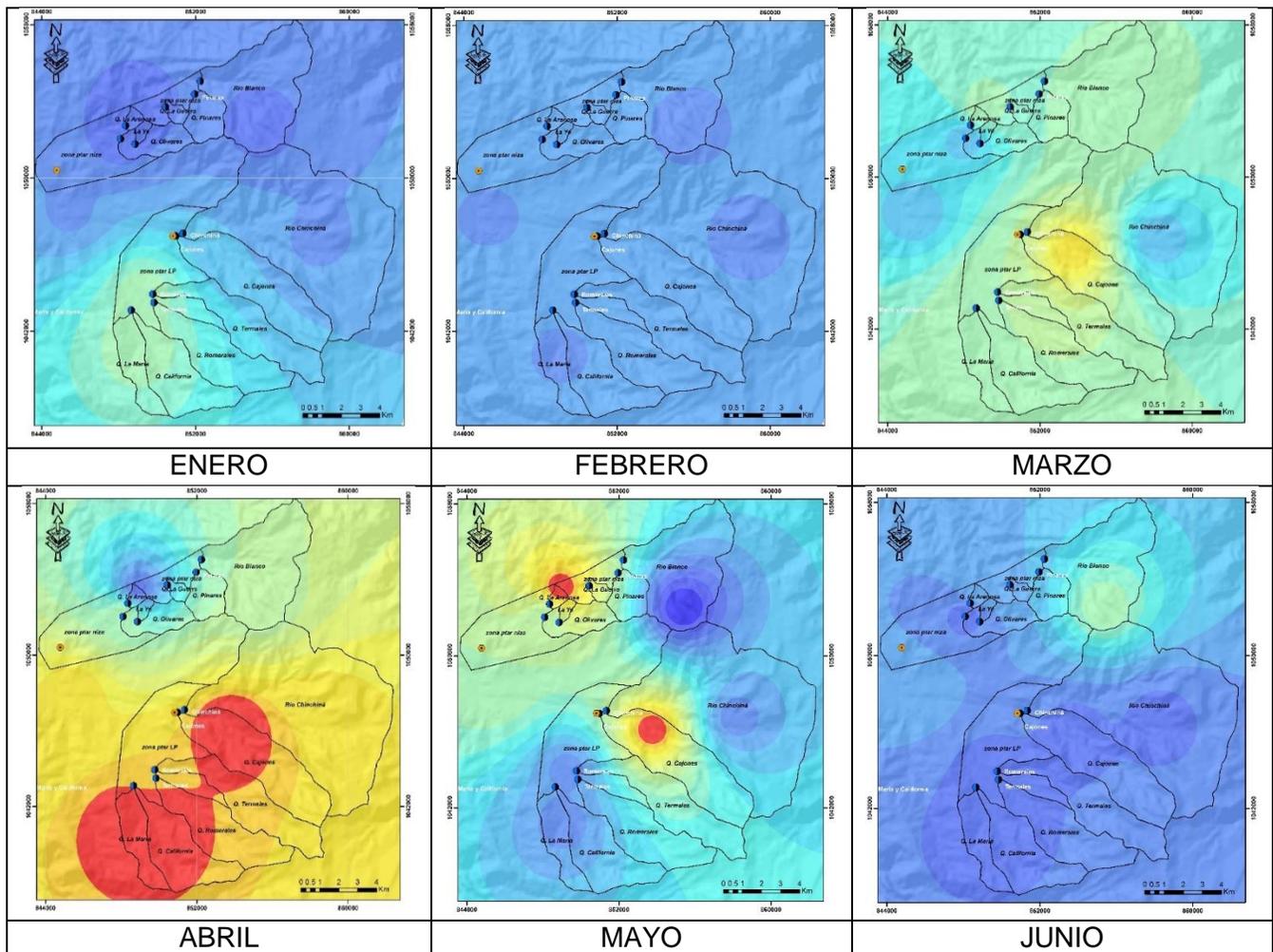


Figura 51. Mapa de probabilidad de precipitación periodo modal

• **Periodo de El Niño**

Para un periodo de ocurrencia de El Niño (Figura 52), se observó en la mayoría de los meses del año una probabilidad alta de que la precipitación se comporte por encima de lo normal, es decir, que hay una tendencia a un aumento de ésta, especialmente en los meses secos. También se analizó que hay una probabilidad de aumento en la precipitación en el segundo periodo húmedo del año (meses de Septiembre-Octubre y Noviembre) respecto al primero (meses de Marzo, Abril y Mayo), el cual tiende a ser cerca o debajo de lo normal.

Lo expresado anteriormente puede indicar que este comportamiento puede obedecer a que en ocurrencia de fenómeno de El Niño de intensidad débil o moderada, no se tenga en la zona de estudio un impacto considerable en el comportamiento de la precipitación mensual, el cual tiende a comportarse (en términos de cantidad) similar a la precipitación media mensual de un periodo modal y por ende, a la oferta hídrica superficial disponible. Por lo tanto, se concluye que en esta zona el impacto del fenómeno de El Niño es considerable cuando éste es de intensidad fuerte, siendo más vulnerables las plantas que abastece de agua a la ciudad de Manizales, el sector hidroeléctrico y el sector agrícola, por efecto de la reducción de la disponibilidad hídrica para los cultivos y zonas destinadas a la ganadería que conducen a una compactación de suelos.



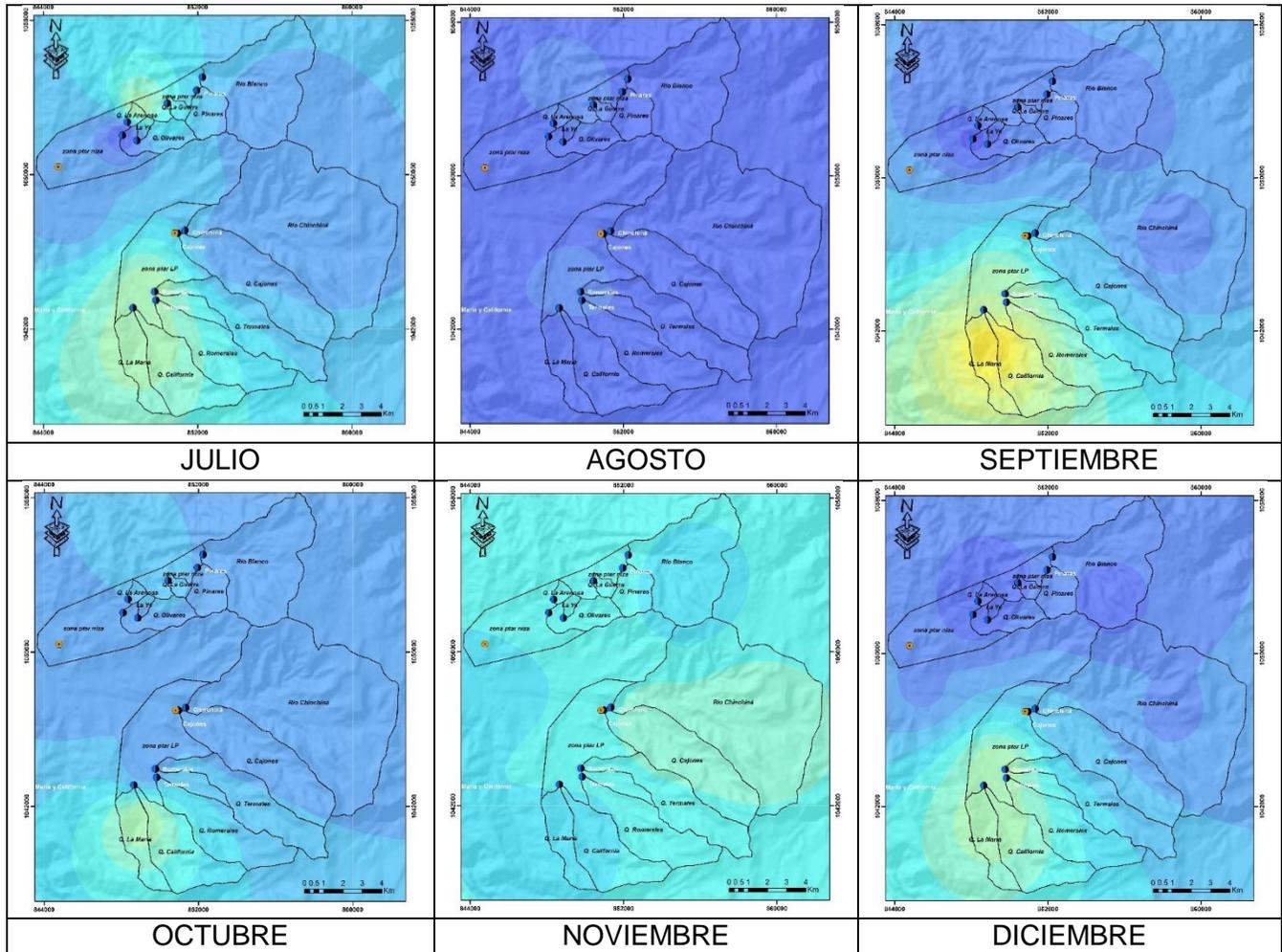
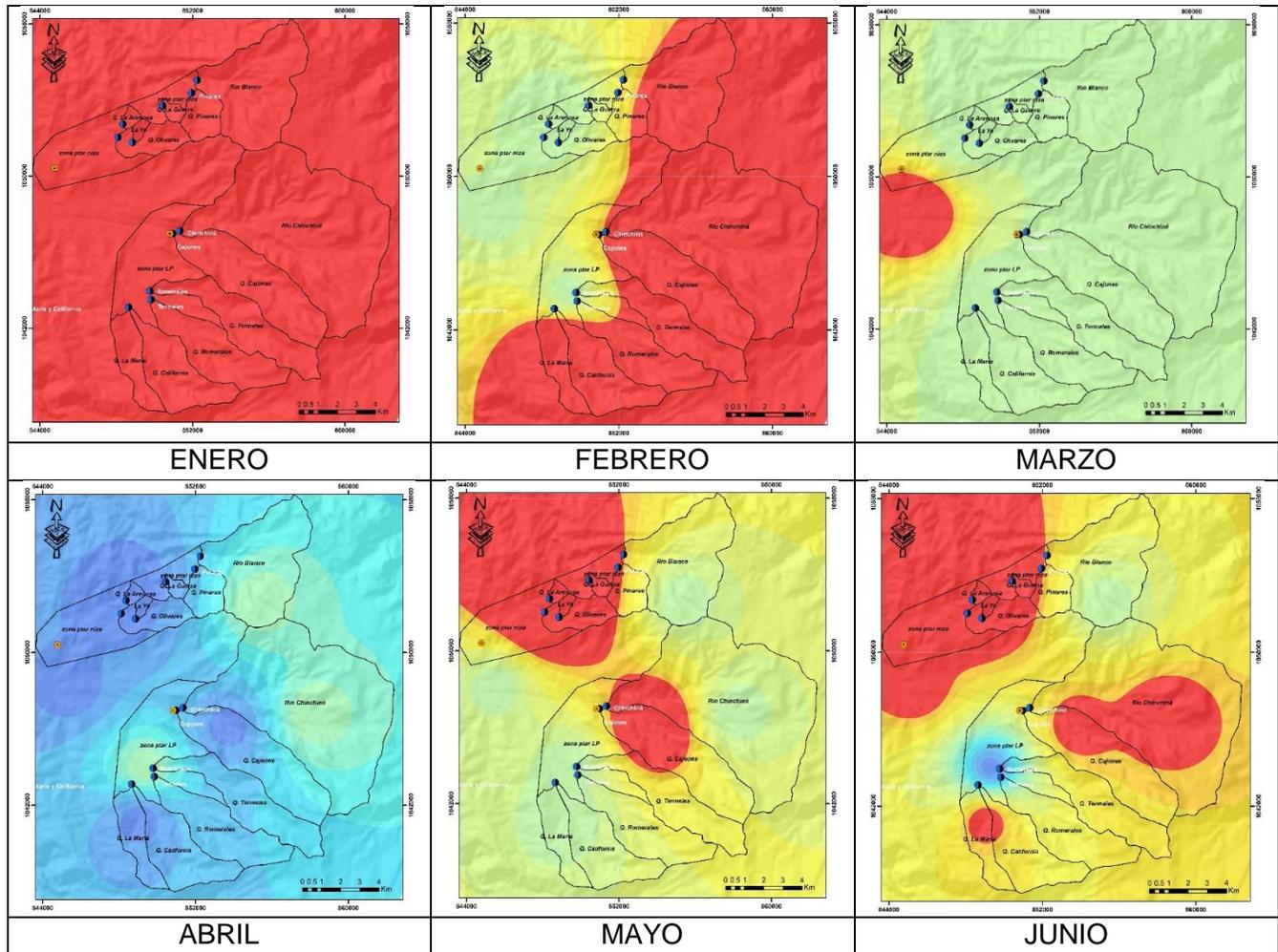


Figura 52. Mapa de probabilidad de precipitación periodo Niño

- **Periodo de La Niña**

Bajo la ocurrencia del fenómeno de La Niña, se analizó en la Figura 53 que la mayoría de meses presentan una probabilidad de comportamiento de la precipitación por debajo de lo normal, lo que indica una disminución de ésta especialmente en los meses de Enero, Febrero, Mayo, Agosto, Septiembre, Octubre y Diciembre con una probabilidad considerable, al igual que los meses de Junio, Julio, Octubre y Noviembre pero con menor probabilidad. También se observó que el primer periodo de lluvias del año tiende a ser más húmedo respecto al segundo, con este escenario de ocurrencia, lo cual proyecta de manera general una reducción en la precipitación y asimismo, en el caudal de oferta superficial disponible en las zonas de estudio.

Lo analizado bajo la ocurrencia de este fenómeno predice para el sector agrícola el aumento de erosión, lavado de suelo que alteran las fuentes hídricas superficiales de abastecimiento de la ciudad de Manizales y en el sector hidroeléctrico, siendo esto una limitante en la producción energética por efectos de calidad.



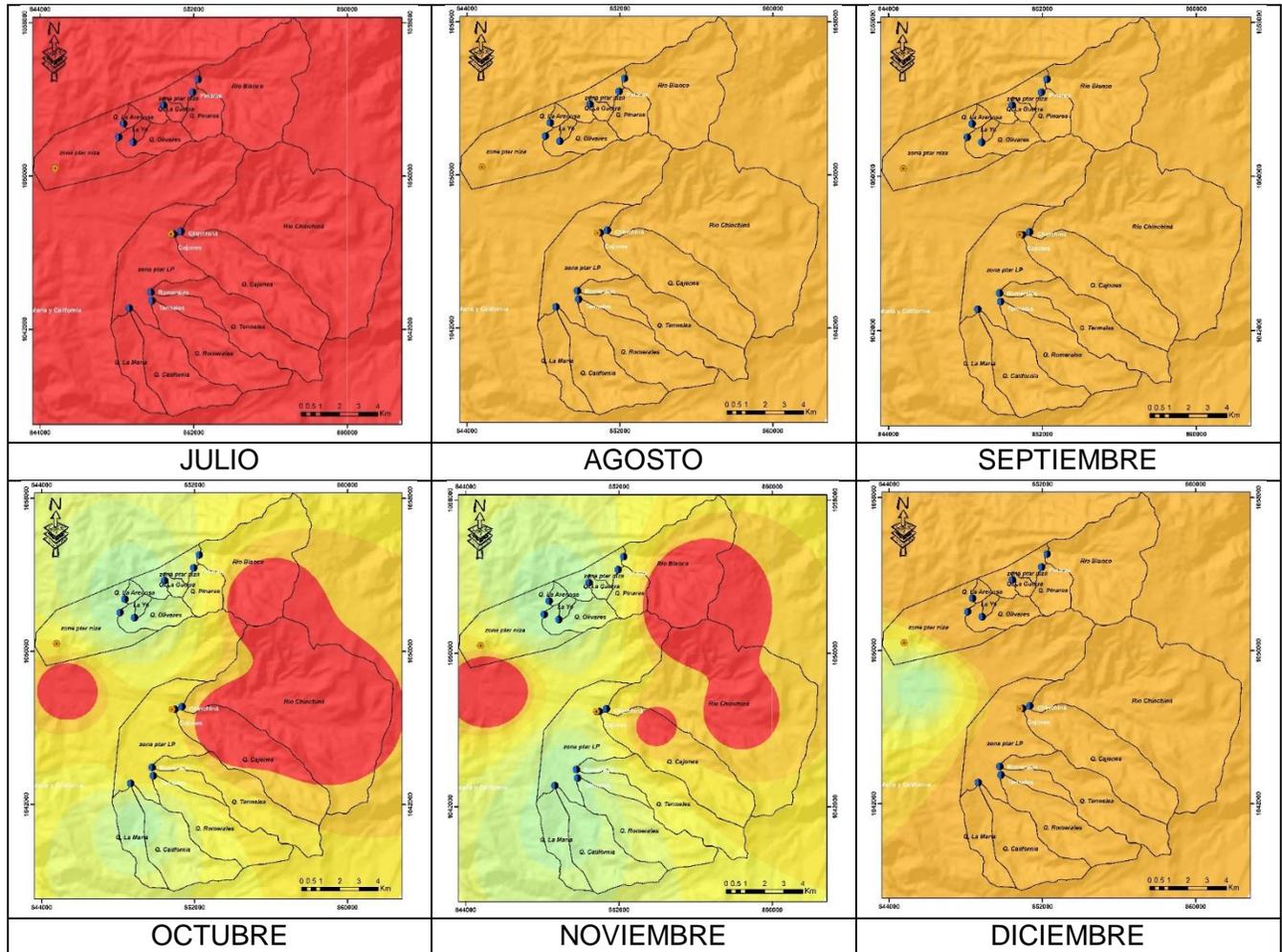


Figura 53. Mapa de probabilidad de precipitación periodo Niña

6.1.3. Amenaza por calidad del agua

En la Evaluación Regional del Agua - ERA, el componente de riesgos (probabilidad de afectación del recurso) tiene como objetivo evaluar la situación actual y tendencias de: a) las amenazas y vulnerabilidades del sistema hídrico natural, b) la vulnerabilidad del recurso hídrico al desabastecimiento y a la disponibilidad por calidad y c) las amenazas a la población por efecto de la dinámica de las aguas superficiales.

- **Análisis de la amenaza del recurso hídrico al desabastecimiento y a la disponibilidad por calidad**

Para determinar el estado de calidad del agua y presión por contaminación, en el ERA se consideran tres indicadores, dos dan cuenta del estado de calidad: Índice de la Calidad del Agua (**ICA**), Índice de Calidad Biológica del Agua Macroinvertebrados Acuáticos (**IMA**) y un índice de presión considerado como la afectación potencial de la calidad del agua de los sistemas hídricos (**IACAL**). Sin embargo, la mayor parte de la información para alimentar estos indicadores no se encuentra aún disponible; por tal razón para definir criterios de calidad de las estaciones evaluadas, se vincularon los parámetros de comparación mínimos para caracterizar la calidad de las fuentes de agua superficial y subterránea contemplados en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento – **RAS 2000**, en su **título C** (Tabla 21) y con los criterios de calidad del agua de calidad admisibles para la destinación del recurso (consumo humano y uso doméstico) establecidos en el **Decreto 1594 de 1984** (Tabla 22)

Tabla 21. Criterios de calidad del recurso RAS 2000 Titulo C

Parámetros	Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO ₅ días				
Promedio mensual mg/L	≤ 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	>4,0
Promedio diario mg/L	1,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	>6,0
Coliformes Totales (NMP/100 mL)				
Promedio mensual	0,0 - 50	50 - 500	500 - 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	≥ 4	≥ 4	≥ 4	<4
pH promedio	6,0 - 8,5	5,0 - 9,0	3,8 - 10,5	-
Turbiedad (UNT)	<2	2,0 - 40	40 - 150	≥ 150
Color Verdadero (UPC)	<10	< 20	20 - 40	≥40
Gusto y olor	inofensivo	inofensivo	inofensivo	inaceptable
Cloruros mg/L	<50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros mg/L	<1,2	<1,2	<1,2	>1,7

Tabla 22. Criterios de calidad para destinación del recurso Decreto 1594 de 1984

Consumo Humano y uso domestico			
Parámetros	Unidades	Tratamiento convencional	Tratamiento por desinfección
Turbiedad	NTU		190
Color Verdadero	UND. Pt - Co	75	20
Nitratos	mg/L	10	10
Nitritos	mg/L	1	1
Cloruros	mg/L	250	250
Coliformes Totales	UFC/ 100 mL	20000	1000
Coliformes Fecales	UFC/ 100 mL	2000	
pH	Unidades	5 a 9	6,5 a 8,5

- **Estaciones de monitoreo**

En la Tabla 23 se presentan las estaciones de monitoreo de calidad de fuentes abastecedoras en Manizales, Caldas.

Tabla 23. Estaciones monitoreo calidad de fuentes abastecedoras

SITIO	ALTURA	LATITUD	LONGITUD
Quebrada Romerales	2444	N75° 25` 29`` W	N4° 59` 20`` E
Quebrada California/ La María	2401	N75° 26` 42`` W	N4° 59` 13`` E
Rio Chinchiná	2333	N75° 25` 16`` W	N5° 01` 26`` E
Quebrada Cajones	2293	N75° 25` 30`` W	N5°01` 19`` E

- **Calidad de las fuentes**

Las fuentes evaluadas presentan calidad deficiente y muy deficiente en términos de DBO₅, en base a la clasificación de calidad del RAS 2000, de esta forma se evidencian procesos de contaminación por materia orgánica. En la Figura 54 se presenta la calidad de las fuentes abastecedoras en función del parámetro DBO₅.

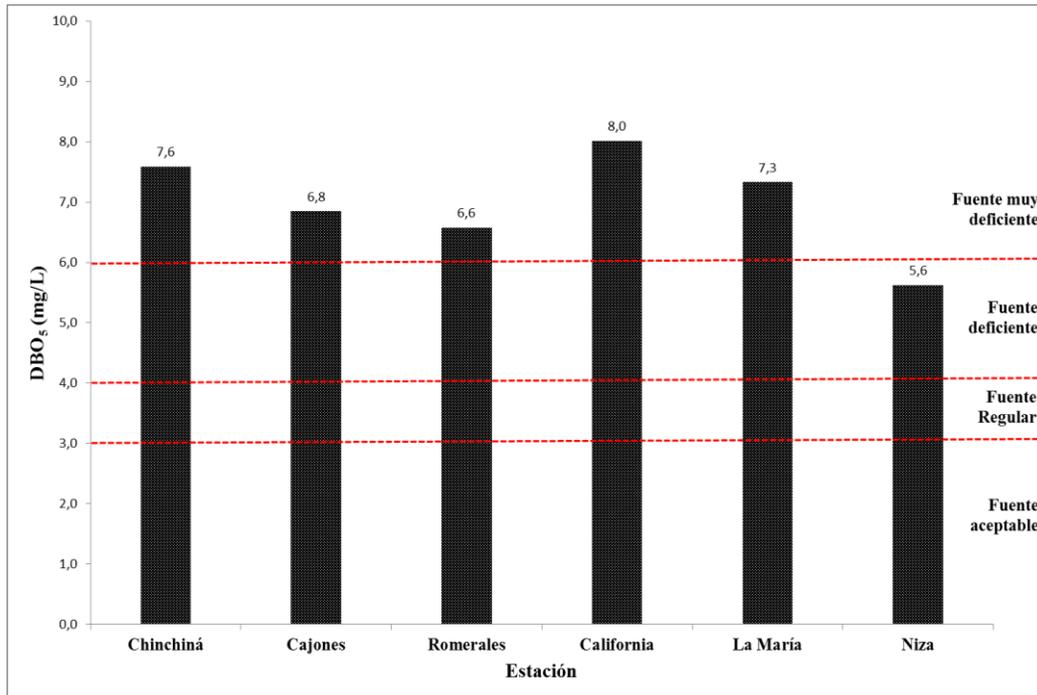


Figura 54. Calidad de las fuentes en función de la concentración de DBO₅ (mg/L)

Las corrientes río Chinchiná, quebrada Cajones y quebrada Romerales presentan calidad deficiente respecto al parámetro Coliformes Totales, mientras en las estaciones quebrada La California, quebrada La María y Niza presentan calidad regular según la concentración de Coliformes Totales (NMP/100mL). En la Figura 55 se presenta la calidad de las fuentes abastecedoras en función del parámetro Coliformes Totales.

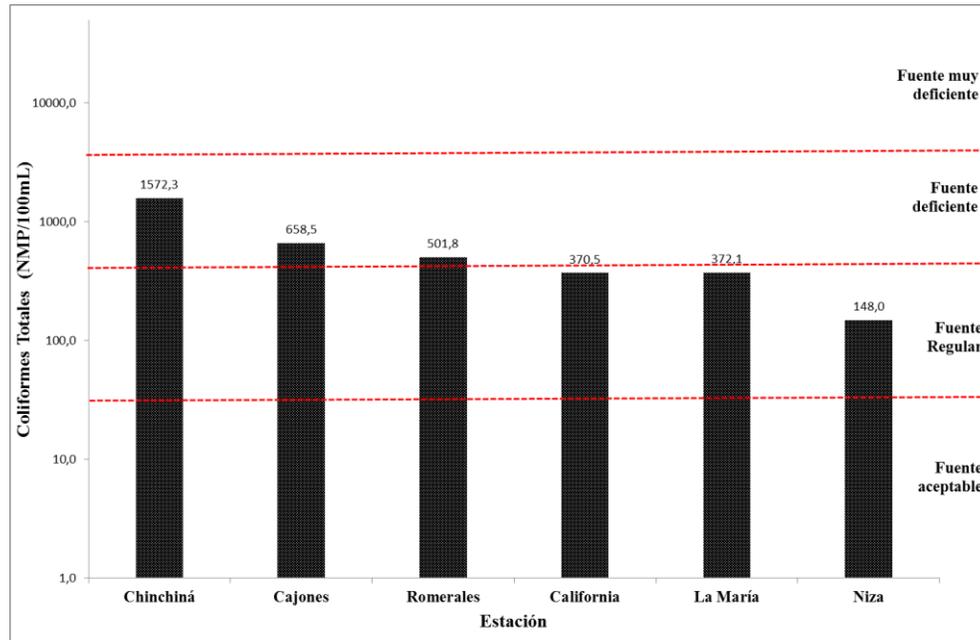


Figura 55. Calidad de las fuentes en función de la concentración de Coliformes Totales (NMP /100mL)

Los valores de los parámetro pH y cloruros, indican que se trata de fuentes con calidad aceptable (Figura 56 y Figura 57), aptas para consumo humano y doméstico, mediante la aplicación de un tratamiento convencional, por su parte las concentraciones de Turbiedad (UNT) y color (UPT) indican que se trata de fuentes con calidad regular (Figura 58 y Figura 59), las cuales son aptas para consumo humano, mediante tratamiento por desinfección.

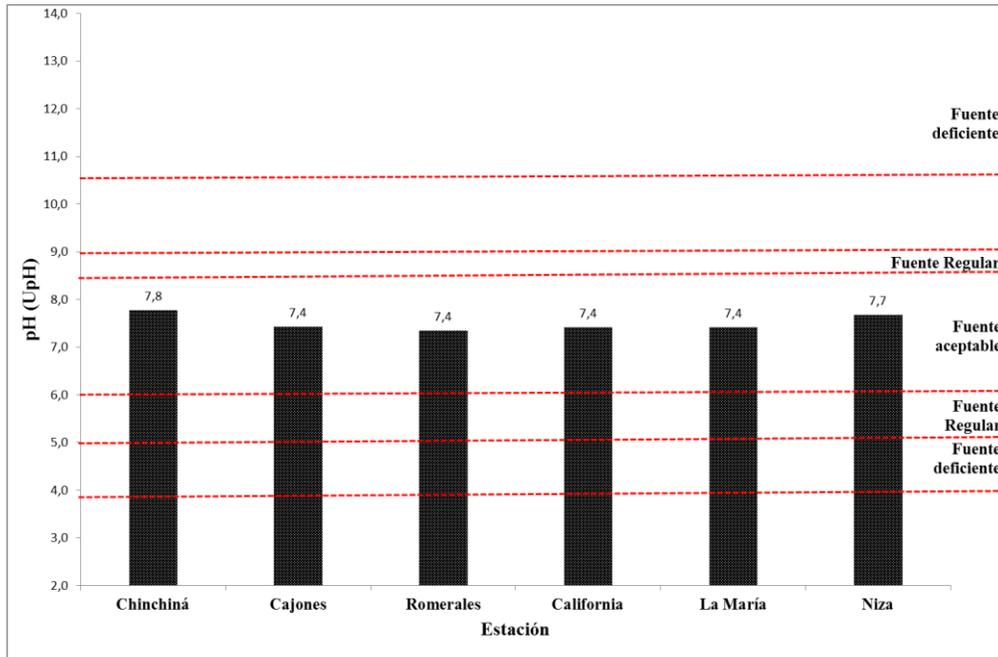


Figura 56. Calidad de las fuentes en función de la concentración de pH (UpH)

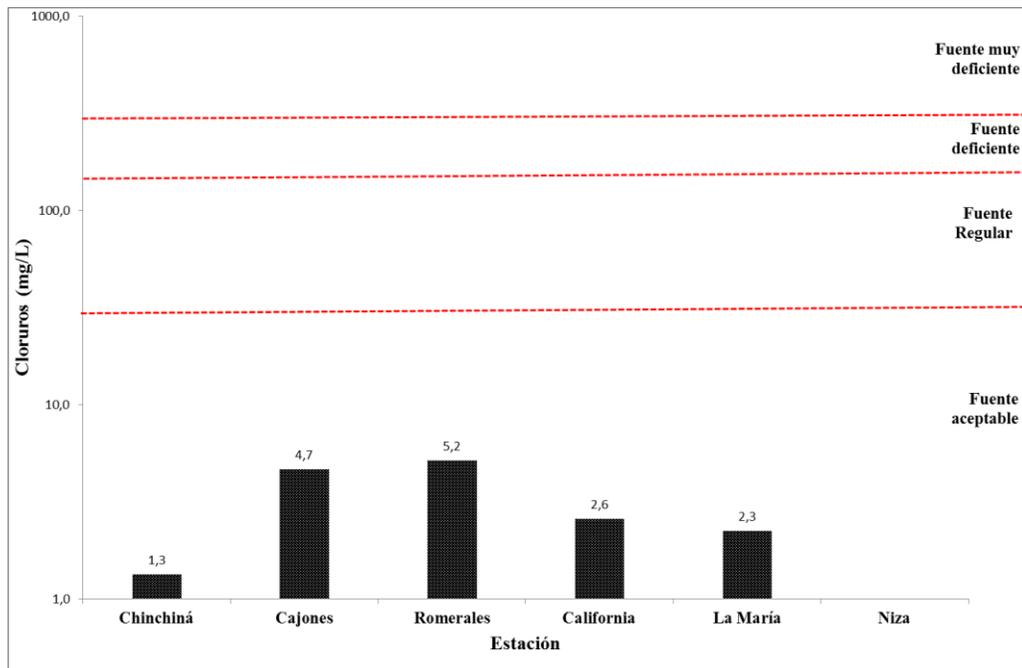


Figura 57. Calidad de las fuentes en función de la concentración de Cloruros (mg/L)

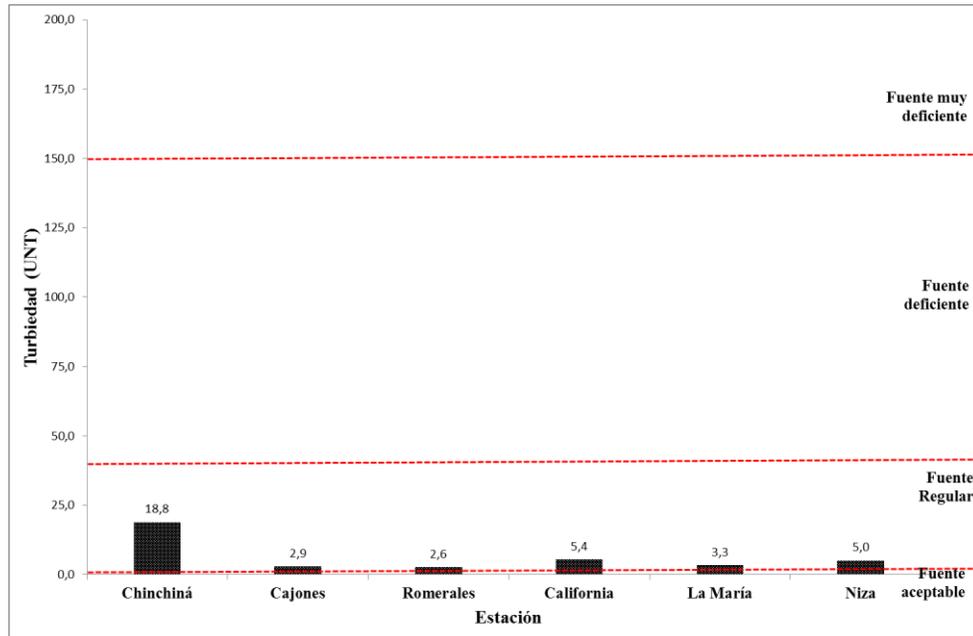


Figura 58. Calidad de las fuentes en función de la concentración de Turbiedad (UNT)

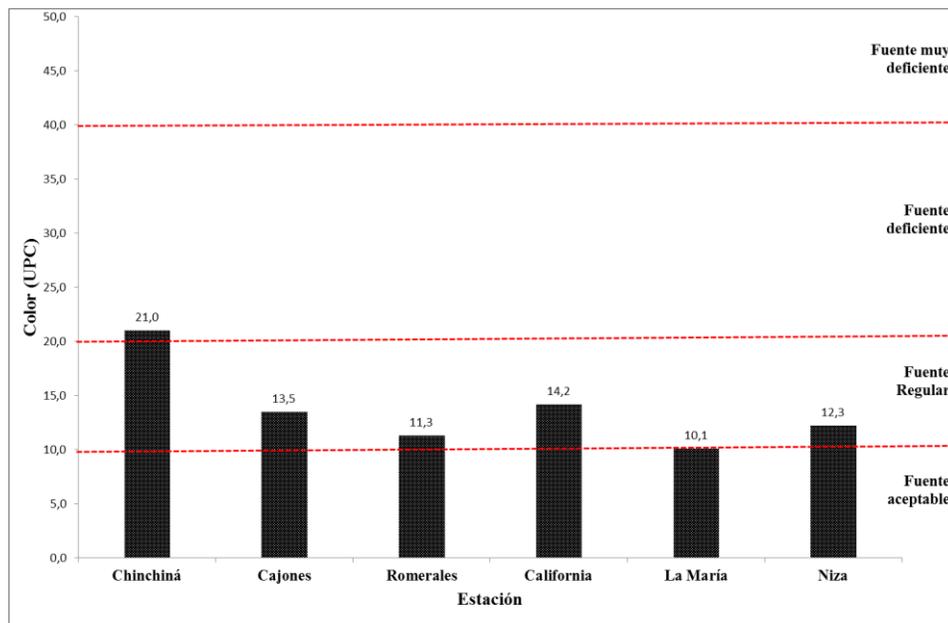


Figura 59. Calidad de las fuentes en función de la concentración de Color (UPC)

Por último, se analizó de manera general que las fuentes evaluadas representan una amenaza a la disponibilidad del recurso hídrico debido a que son susceptibles a episodios de contaminación por materia orgánica, afectando de esta forma su calidad



y limitando su uso para consumo humano. Respecto a las concentraciones reportadas para Coliformes Totales (NMP /100 mL) indican que se trata de las áreas de estudio corresponden a fuentes de calidad regular y calidad deficiente, según RAS 2000; sin embargo, los coliformes totales no están necesariamente vinculados a fuentes de contaminación de origen fecal humano, ni representan un riesgo para la salud humana.

6.1.4. Amenaza Movimientos en Masa o Procesos Erosivos

La litología y la presencia de estructuras como fallas, lineamientos, zonas de cizalla, foliaciones regionales y diaclasas, son de gran importancia en esta afectación, ya que están directamente relacionadas con la ocurrencia de este tipo de eventos, así como el origen y el estado de los suelos, las pendientes, cambios en el uso del suelo (rellenos, excavaciones, tala de bosques, poteros), de humedad y precipitación (exceso de lluvias produce una sobresaturación del terreno), como también en el diseño de las obras de conducción en áreas susceptibles a movimientos en masa. Dentro de los procesos de remoción identificados se tiene como los más recurrentes, los deslizamientos planares (Cobertura volcánica), rotacionales y complejos (rocas cristalinas y saprolitos), seguidos de la reptación (uso del suelo) y los deslizamientos por socavación lateral (Deforestación) (Ver Figuras 60 – 63).

Los procesos erosivos se encuentran ampliamente dispersos en los ABACOs y puntualmente afectando tramos de la infraestructura en general, localmente se observan eventos erosivos de manera recurrente; en general, estos se presentan asociados a altas pendientes, como a su vez a la poca profundidad de los suelos presentes, como también a factores litológicos y estructurales (depósitos de caída piroclástica, calidad del macizo rocoso, foliaciones y fallas), mal uso del suelo (principalmente potreros) y en algunos casos a factores antrópicos detonados por fallos en las infraestructuras (desplazamiento lateral como consecuencia de un movimiento diferencial ya sea horizontal o vertical de la masa deslizada, arrastre por eliminación de los soportes de un tramo de la conducción y carga por ruptura de la conducción); otros fenómenos geomecánicos como desplazamiento y deformaciones horizontales y verticales, presiones laterales y de impacto de la masa de terreno o bloques y acumulación de cargas por sedimentación instantánea o descarga progresiva de detritos tras eventos sucesivos.



Figura 60. *Movimiento en Masa en rocas del Complejo Quebradagrande-Sedimentario, localizado en la Quebrada La Arenosa. Fuente: Propia.*



Figura 61. *Fenómenos de socavación y cárcavamiento en pasos de herradura. Sector parte alta de la Quebrada La Arenosa. Fuente: Propia.*



Figura 62. *Movimiento en masa desarrollado en bosque secundario, este se localiza en la Quebrada Termales. La línea roja indica la corona del deslizamiento. Fuente: Propia.*



Figura 63. *Movimiento en masa tipo reptación en predios del título minero RPP-282, observada en la quebrada California. La flecha indica el sentido del proceso. Fuente: Propia.*

La amenaza por movimientos en masa o procesos erosivos para la infraestructura y las zonas aferentes al acueducto del municipio de Manizales (ver Figura 64), se clasifican mediante cinco (5) valores que demarcan el grado de intensidad de la amenaza, la cual abarca desde muy baja hasta el rango de muy alta.

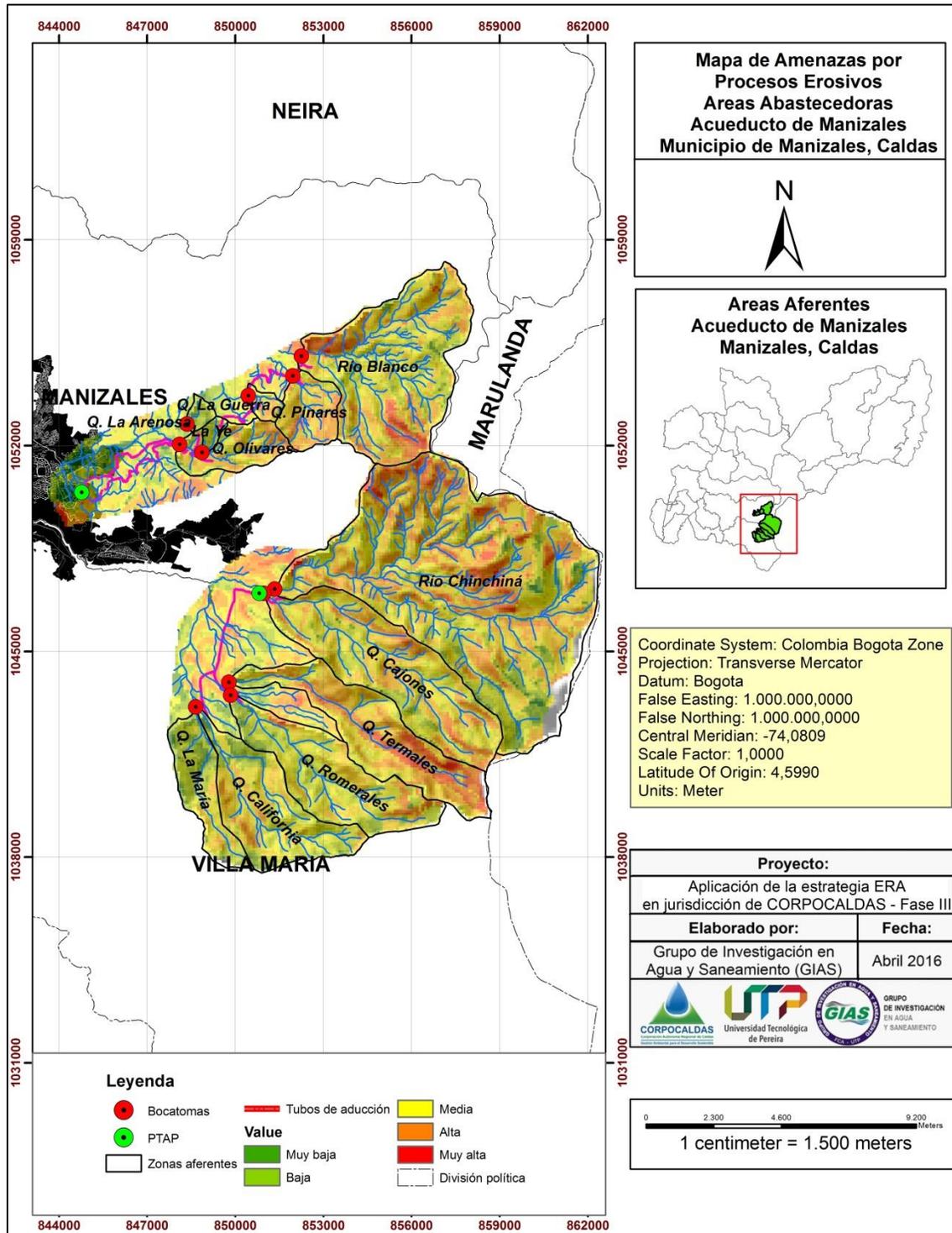


Figura 64. Mapa de Amenaza por Procesos Erosivos de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia y POMCA.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"

En términos generales las áreas aferentes asociadas al acueducto de Manizales se presentan ligeramente proporciones de amenaza media a alta y muy alta, de acuerdo a la clasificación asignada, y muy alta sectorizada en el ABACO de la Quebrada Termales, Río Chinchiná y Río Blanco principalmente, sectores en los cuales la litología, las fallas y las pendientes se encuentran estrechamente ligadas. Igualmente en algunas vertientes como la Quebrada Cajones, Pinares, La Guerra y Olivares presentan pendientes moderadas a altas pero con una respuesta de los materiales ligeramente más estables o sin componentes adicionales que los detonen.

Es de resaltar que la mayoría de movimientos en masa identificados se originan a los saprolitos de las rocas asociadas al Stock de Manizales, y a los depósitos de caída piroclástica, asociados a las altas pendientes y la alta susceptibilidad a deslizarse (ver Figuras 66 - 69).



Figura 65. Movimiento en masa observado en el ABACO del Río Chinchiná, sector Las margaritas. Fuente: Propia.



Figura 66. Movimiento en masa observado en la parte alta del ABACO del Río Blanco. Fuente: Propia.



Figura 67. Movimiento en masa observado en la parte alta de la Quebrada La Arenosa, el cual presenta obra de estabilización. Fuente: Propia.



Figura 68. Movimiento en masa observado en la ladera SE de la Quebrada Olivares, Vereda Buenavista, sector Las margaritas, presenta obra de estabilización. Fuente: Propia.

En cuanto a la infraestructura en general esta se encuentra ubicada en zonas de pendientes variables y litológicas variables, las cuales imprimen una potencial grado de amenaza por movimientos, sin ser muy marcados en campo como es el caso de la aducción entre las bocatomas de las Quebradas La María, California, Romerales y Termales, las cuales tributan a la planta Luis Prieto (Ver Figura 65).

La amenaza baja se presenta principalmente en la parte baja de las áreas abastecedoras (zonas de captación), las cuales corresponden generalmente a zonas de pendientes bajas y relieves planos correspondientes en algunos casos a llanuras o terrazas antiguas, como es el caso de las bocatomas de la quebrada La María, California, Romerales y Termales.

6.1.5. Amenaza por Inundación

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen como resultado de lluvias persistentes que generan un incremento progresivo del nivel de las aguas contenidas en un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua, normalmente no sumergidas (Municipio de Medellín, 2009); también son el producto de la intervención del hombre por la degradación del medio ambiente, la

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



deforestación y el usos inadecuado de los recursos. Esta amenaza está configurada por granizo, inundación por precipitaciones, variación de la isoterma cero (0), temperaturas extremas, nevadas y desertificación, como también se consideran las hídricas representadas por inundación por crecida de los ríos y erosión, de estas amenazas se consideran las inundaciones por precipitaciones y por crecida de ríos como referentes para este caso.

Algunos de los efectos más comunes generados por este fenómeno son la destrucción total o parcial de las captaciones, daños a estaciones de bombeo, colmatación por sedimentos y escombros, modificaciones en el cauce que llevan a reubicar la captación, rotura de tuberías expuestas, contaminación de las aguas de la cuencas, pérdida de ventosas y purgas, daños parciales o totales de las instalaciones e infraestructura en general, daños por asentamientos del terreno, sequias (alteraciones en el balance hídrico), entre otros.

Dado que el relieve es predominantemente montañoso, las inundaciones están relacionadas con las partes bajas o con cualquier segmento de la cuenca, la cual dependen de múltiples factores, tales como la pendiente media de la cuenca, la amplitud de las llanuras de inundación, la geología, la morfología de la cuenca, las coberturas vegetales, los materiales superficiales y la precipitación. No obstante, el fenómeno de la inundación en gran parte está asociado a las características propias morfométricas de las áreas aferentes y el cauce. Por esta razón, el mapa de amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales mostrado en la figura 70, está compuesto por el análisis de las curvaturas y la pendiente del terreno. Este mapa se restringe a las partes bajas de las vertientes sobre las llanuras aluviales, en donde las zonas con amenaza alta de inundación corresponde a las zonas dentro de la llanura aluvial que tenga pendientes bajas y morfologías cóncavas o plana, ya que en estas zonas la gradiente es baja, zonas que pueden permitir acumulaciones súbitas de sedimentos generando inundaciones rápidas (flash flood), flujos hiperconcentrados y flujos de escombros.

Según el mapa de amenaza, los afluentes con mayor susceptibilidad a inundaciones y de mayor amenaza son los ríos Blanco, Chinchiná y las quebradas Cajones, Termales, Romerales y La María-California en sus partes bajas, ya que en estas zonas, se presentan valles aluviales alargados, confinados y alto escurrimiento en las cuencas (Ver Figura 70).

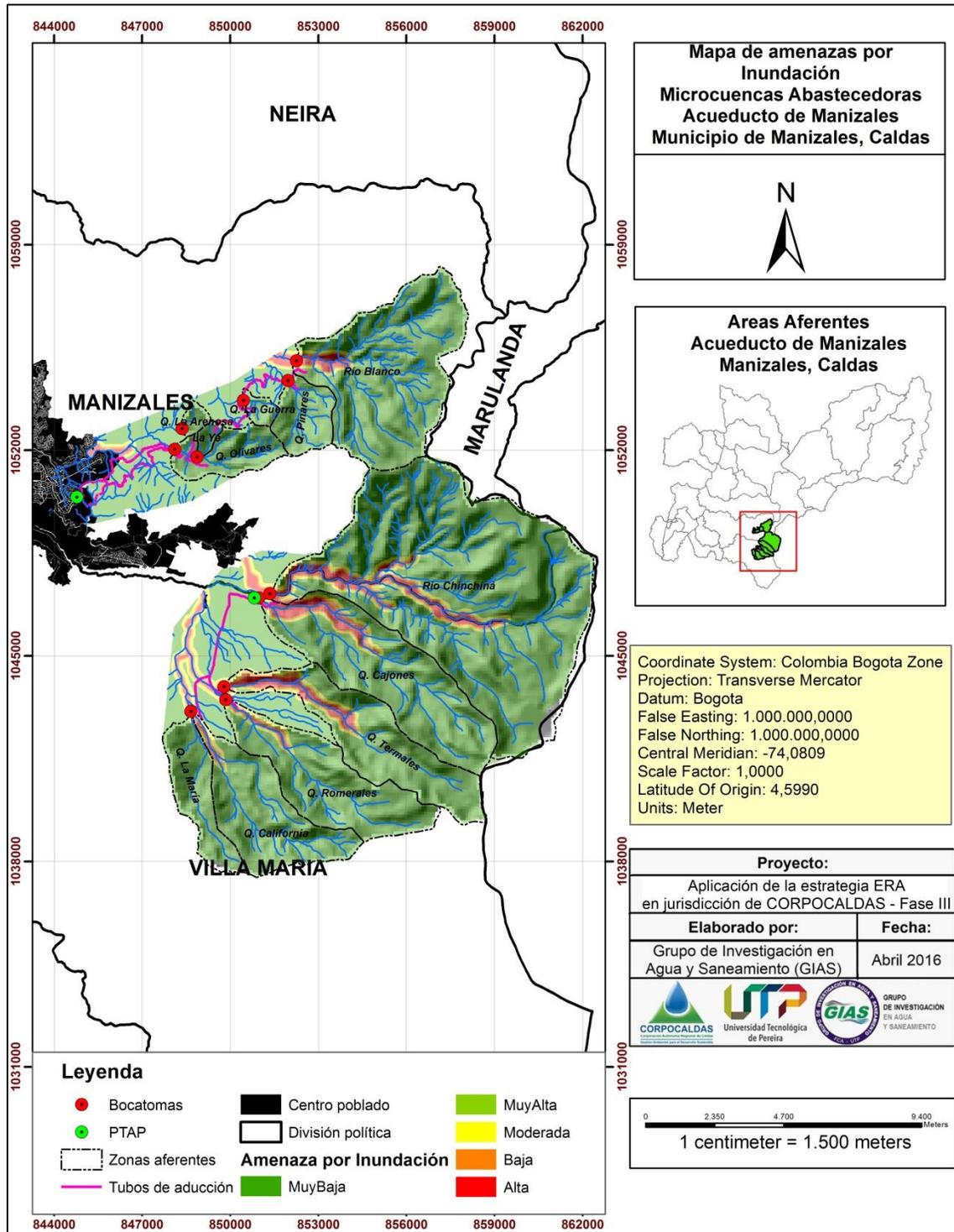


Figura 69. Mapa de Amenazas por Inundación y Avenidas Torrenciales de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



6.1.6. Amenaza Sísmica

El conocimiento de los factores que influyen en la amenaza sísmica, es el primer acercamiento a la hora de la evaluación del riesgo ante fuertes movimientos telúricos.

Entre Manizales y Villamaría, existen condiciones que prevén distintos escenarios, donde se podrían ver afectadas las poblaciones y sus estructuras en general, por tanto en estas zonas la amenaza sísmica no debe ser tomada como una probabilidad sino como un hecho al cual la comunidad y los entes administrativos deben prepararse.

Tabares-Ocampo et. al. (1999) mediante análisis sismo tectónicos indican que la placa de Nazca a la altura del viejo Caldas penetra bajo el continente suramericano con una velocidad de 41 mm/año y un azimut de 33 grados. Marín et al. (2006) mencionan que el Departamento de Caldas se encuentra entre dos sistemas con características geoestructurales y geodinámicas diferentes, discriminados por la sismicidad de menor magnitud en la zona oriental y de mayor magnitud pero más dispersa en la zona occidental del Departamento de Caldas; en cuanto a la susceptibilidad Caldas en su historia sísmica posee todos los grados de daños según la escala EMS-98.

Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995 ponen en evidencia una fuente sísmica generadora de sismos profundos de magnitud cercana a 7 grados, que se ha relacionado con la zona de subducción; pero las fallas del sistema Cauca-Romeral Romeral y las que delimitan la fosa tectónica del Magdalena son otra fuente sísmica que merece consideración en la región, capaz de producir eventos superficiales de magnitud 6, pero de mayor intensidad. Para Manizales se han considerado dos fuentes sísmicas: 1) zona de subducción y 2) Sistema de Fallas de Romeral, y se recomienda atender eventos con un período de recurrencia de 475 años (Duque-Escobar, 2012).

Salgado-Gálvez et al. (2013a y b) concluyen que la interpretación tectónica que plantea la fuente sismogénica Caldas Tear tiene efectos de aumento en la amenaza sísmica para Manizales del orden del 10% y disminución en Bogotá del orden del 5% al compararse con los obtenidos para el Reglamento NSR-10 para la aceleración máxima del suelo; además, las variaciones en los niveles de la amenaza son diversas en los resultados de riesgos en métricas como pérdidas anuales esperadas y pérdidas máximas probables para diferentes periodos de retorno en las ciudades con variaciones.



En general los fenómenos sísmicos pueden ser detonantes de procesos como maremotos, remoción en masa, inestabilidad de laderas, caída de material rocoso, dispersiones laterales y licuefacción, de los cuales para este caso, tiene influencia los fenómenos continentales.

La estratigrafía juega un papel importante ante la propagación de las ondas sísmicas y sobre las formaciones superficiales que en el área de estudio están conformados principalmente por material piroclástico no consolidado de caída, lo cual favorece la propagación de las ondas sísmicas amplificando su efecto e incrementando la vulnerabilidad sísmica del área. Se determina, para este caso, que el Complejo Cajamarca y el Stock de Manizales como las litologías cristalinas dominantes sobre las cuales hay ocurrencia de procesos erosivos; los depósitos piroclásticos es la litología sobre la cual los fenómenos erosivos son más frecuentes en el área del proyecto, debido a su bajo grado de compactación, y a su vez indicadores de la vulnerabilidad volcánica presente en las cuencas de interés.

En el área de trabajo se presentan fallas con rasgos morfológicos de actividad reciente, entre las que se encuentran Romeral, El Perro, Manizales-Aránzazu, San Jerónimo y Villamaría-Termalés (CORPOCALDAS, 1998). Es preciso destacar, que el factor litológico juega un papel importante ante la propagación de las ondas sísmicas, lo cual puede favorecer o desfavorecer la propagación de ondas sísmicas (CORPOCALDAS, 2010).

En conclusión, el mapa de amenaza sísmica presenta aproximadamente el 90% en zona de amenaza alta como es el caso de las Quebradas Olivares, La Arenosa, La Ye, La Guerra, La Oliva, Rio Blanco, Rio Chinchiná, Cajones Termalés, Romerales y parcialmente California, en las cuales se incluyen las bocatomas, conducciones y plantas de potabilización del Niza y Luis Prieto; zonas en las cuales son dominantes las coberturas volcánicas, volcanoclásticas y el desarrollo de potentes suelos residuales o saprolitos afines con la fisiografía de la región (Ver Figura 71). En ese orden de ideas, las áreas que abastecen el acueducto del municipio de Manizales se encuentran ubicadas en zonas de amenaza principalmente alta a parcialmente media, lo que hace que este factor sea detonante de procesos de remoción en masa en los ABACOs y por lo tanto es necesario tenerlo en cuenta en análisis posteriores.

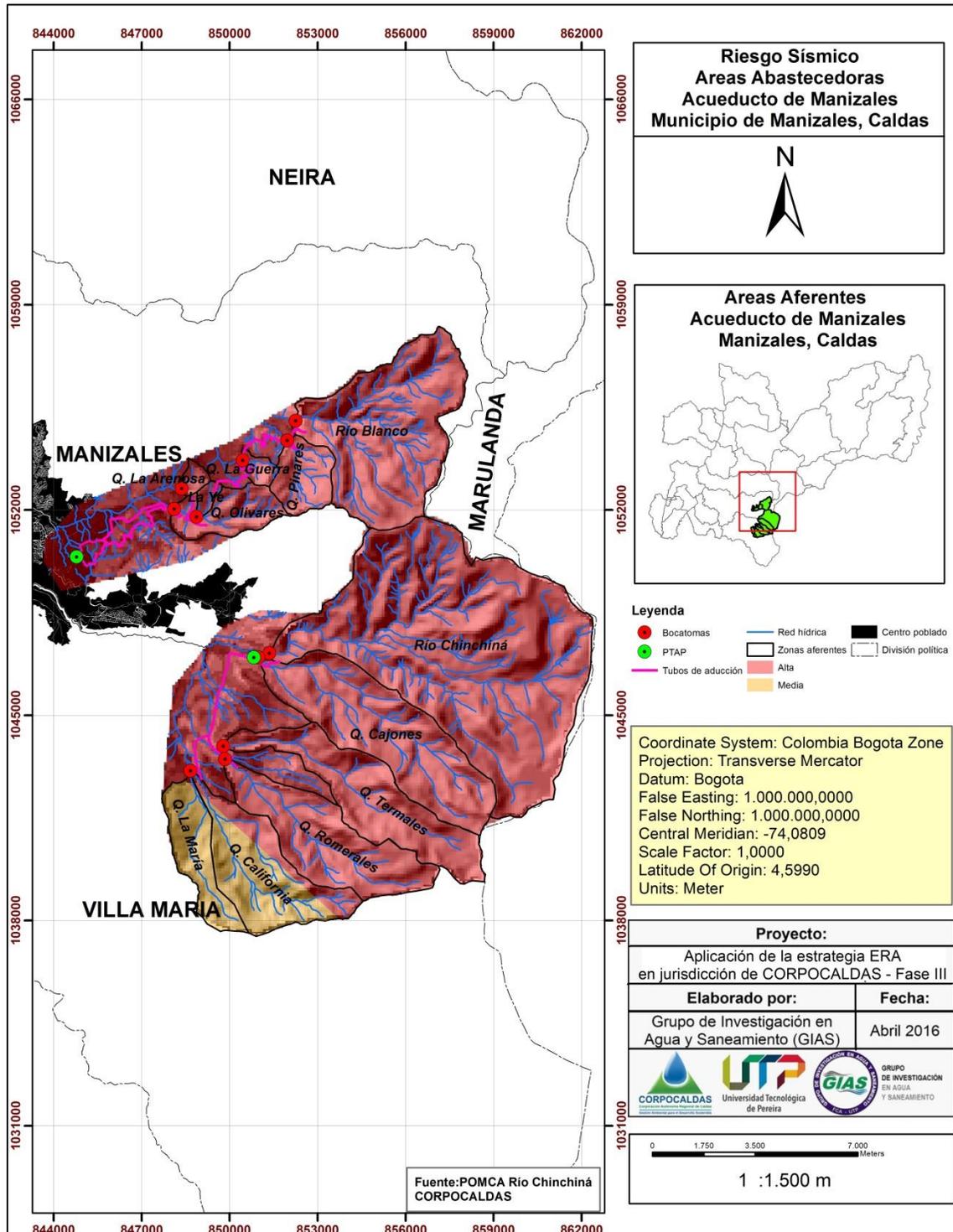


Figura 70. Mapa de Amenaza Sísmica de las zonas aferentes del Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



6.1.7. Amenaza Volcánica

Esta amenaza está relacionada con la cercanía de la Reserva con los volcanes activos (Complejo Volcánico Machin-Cerro Bravo) para lo cual se deben tener en cuenta los diferentes productos emitidos por los volcanes en caso de actividad eruptiva: Sismos volcánicos, Coladas o flujos de Lavas, Depósitos de Caída Piroclástica y de bombas, flujos o Corrientes Piroclásticas Densas o de Densidad y Lahares (Betancourth, et al., 1994), los cuales se acumulan sobre la superficie. Por ello es susceptible la ocurrencia del fenómeno volcánico “caída piroclástica”; que corresponde al material particulado, que resulta en el momento de la erupción, el cual es transportado y depositado según la dirección predominante del viento. Existen dos ejes de dispersión coincidentes con los focos volcánicos activos. El eje de dispersión para Cerro Bravo que tiene una dirección E-W, mientras que el eje del Ruiz cuya dirección aproximada es de 50º NW (CORPOCALDAS, 1998 y 2010).

Estos fenómenos generalmente y en particular los de caída, flujos piroclásticos y de escombros causan contaminación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas como producto de erupciones volcánicas, contaminación en plantas de filtros o tratamientos de agua potable, de estanques o depósitos abiertos, Cañerías, estanques semi-enterrados e instalaciones anexas y Obras y edificaciones ubicadas sobre el nivel del suelo, entre otras.

La amenaza volcánica para las áreas aferentes e infraestructura asociada con el acueducto de Manizales, está relacionada principalmente con la emisión de cenizas, flujos de lodo y eventualmente flujos piroclásticos. Afortunadamente, en las inmediaciones tanto de los volcanes Ruíz como Cerro Bravo, las bocatomas, conducciones y plantas se encuentran discretamente alejadas de estos; es decir, existe poca exposición en los alrededores de estos volcanes, lo que al final en este sector se podría interpretar como de baja vulnerabilidad, sin embargo, no se pueden descartar erupciones volcánicas importantes con altas intensidades, lo que probablemente afectaría no sólo los primeros kilómetros aledaños sino que pondría en eventual peligro a poblaciones más lejanas como, por ejemplo, las ciudades de Manizales y Villamaría, que pertenecen a la cuenca del río Chinchiná (POMCA Río Chinchiná).

Según la información plasmada en el mapa de amenaza volcánica, los ABACOs de la Quebrada pinares, Rio Blanco y Río Chinchiná, se encuentran en amenaza media por



este tipo de fenómeno, lo que implicaría una susceptibilidad alta en las zonas que abastecen el acueducto de Manizales, igualmente de manera parcial en las partes altas de las cabeceras de las Quebradas Cajones, Termales, Romerales y California; en cuento a las partes medias a bajas de las Quebradas La Guerra, La Ye, Olivares, La Arenosa, Cajones, Termales, Romerales, California y La María presentan amenaza baja ante procesos volcánicos que puedan afectar la infraestructura y áreas abastecedoras en general (Ver Figura 72).

Es de recalcar que la amenaza por caída piroclástica (Ceniza, Lapilli, etc.) es de mayor espectro toda vez que puede ser considerada tanto en función de la magnitud de la erupción como de la dirección de los vientos en el momento y durante el evento volcánico, por lo tanto, la susceptibilidad a esta amenaza puede ser variable.

En el POMCA del río Chinchiná consideran amenaza alta, para caída piroclástica, tomando como referencia una distancia de hasta 14 Km, a partir del cráter (Volcán Cerro Bravo), con dirección preferencial Sur-Suroeste, donde se han encontrado espesores de 20 cm; en una erupción futura puede acumularse espesores entre 20 cm y 400 cm de material piroclástico, en menos de dos horas; amenaza media comprende un área hasta 18 Km en dirección Sur-Suroeste, que puede ser afectada por espesores entre 20 cm y 10 cm de productos de caída, emitidos en menos de dos horas; y amenaza baja comprende el área que puede ser afectada por espesores menores a 10 cm, acumulados en menos de dos horas; este material puede ser removido fácilmente, impidiendo su acumulación, que puede provocar un colapso de techos (INGEOMINAS, 2012).

El foco volcánico de la cuenca es el Ruiz, en el POMCA del Río Chinchiná se estableció que la susceptibilidad alta a flujos piroclásticos se presenta principalmente hacia las áreas comprendidas por los drenajes Molinos, Nereidas, Chupaderos y Romerales. La susceptibilidad media se restringió a los valles de los ríos Guacaica y Chinchiná y a algunos de sus afluentes que nacen en la zona de influencia de los Nevados (CORPOCALDAS, 1999).

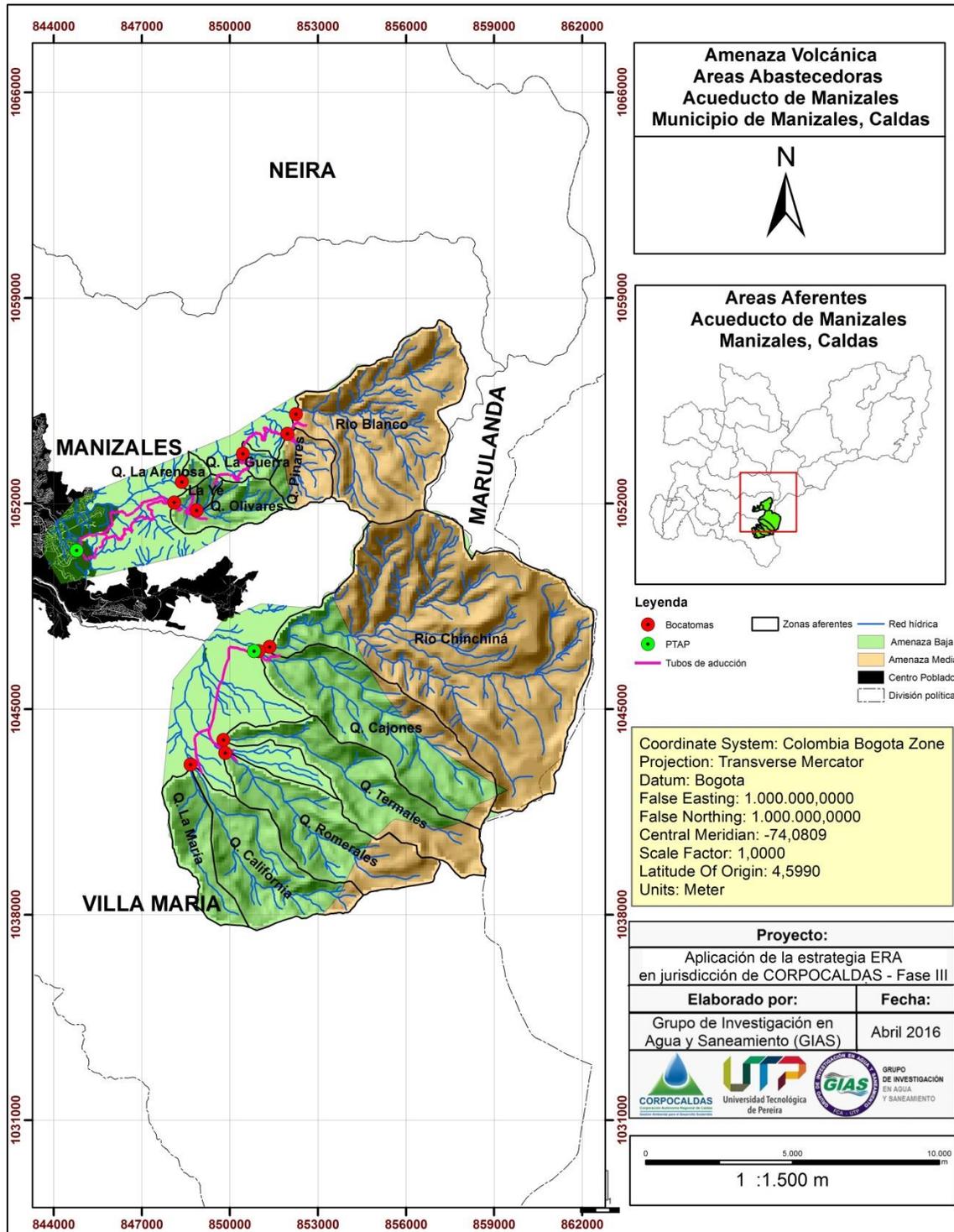


Figura 71. Mapa de Amenaza Volcánica (Caída y Flujos Piroclásticos) de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



6.1.8. Amenaza por Incendios Forestales

La evaluación de la amenaza por este fenómeno tiene en cuenta factores como la susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios (condiciones pirogenéticas de la vegetación, tipo, duración y carga total de combustible), factores climáticos (área geográfica, duración y severidad de las estaciones), factor relieve (propagación a favor de la pendiente), factor histórico (revisión de documentos que registren este tipo de evento en un intervalo de tiempo determinado) y la accesibilidad de la población que probablemente puedan generar focos de incendios en áreas forestales (POMCA río Chinchiná).

El mapa de amenaza por incendios forestales arroja áreas de amenaza alta localizadas en las partes bajas de la Quebrada La María y California, Romerales y Termales y Bocatoma Minutas de La Quebrada Olivares, y baja para las cuencas, bocatomas y plantas asociadas con el acueducto de Manizales; en cuanto a las cuencas en general se presentan predominantemente amenaza moderada en el ABACO del Río Chinchiná y Río Blanco, en menor proporción en la Quebrada cajones y termales, y en el resto se presentan como parches de amenaza muy baja a baja hacia la parte baja de la bocatoma de Minutas y de la Planta Luis Prieto, incluidas sus bocatomas (Ver Figura 73).

6.1.9. Amenaza de Origen Antrópico

Son causadas por el ser humano o están relacionadas con la tecnología, contaminantes y actividades económicas. Las caracteriza la factibilidad de ocurrencia de eventos generados intencionalmente o accidentalmente por el hombre, o por la falla de un sistema que puede desencadenar en serie efectos. Como ejemplo de acciones que pueden generar este tipo de amenazas se encuentra el terrorismo, los accidentes industriales, los incendios, la contaminación química, uso irracional de recurso, entre otros. La gran concentración de población e infraestructura en la actualidad presentan una alta susceptibilidad a que se presenten estos tipos de eventos, los cuales pueden causar efectos severos en los medios sociales y económicos de las regiones.

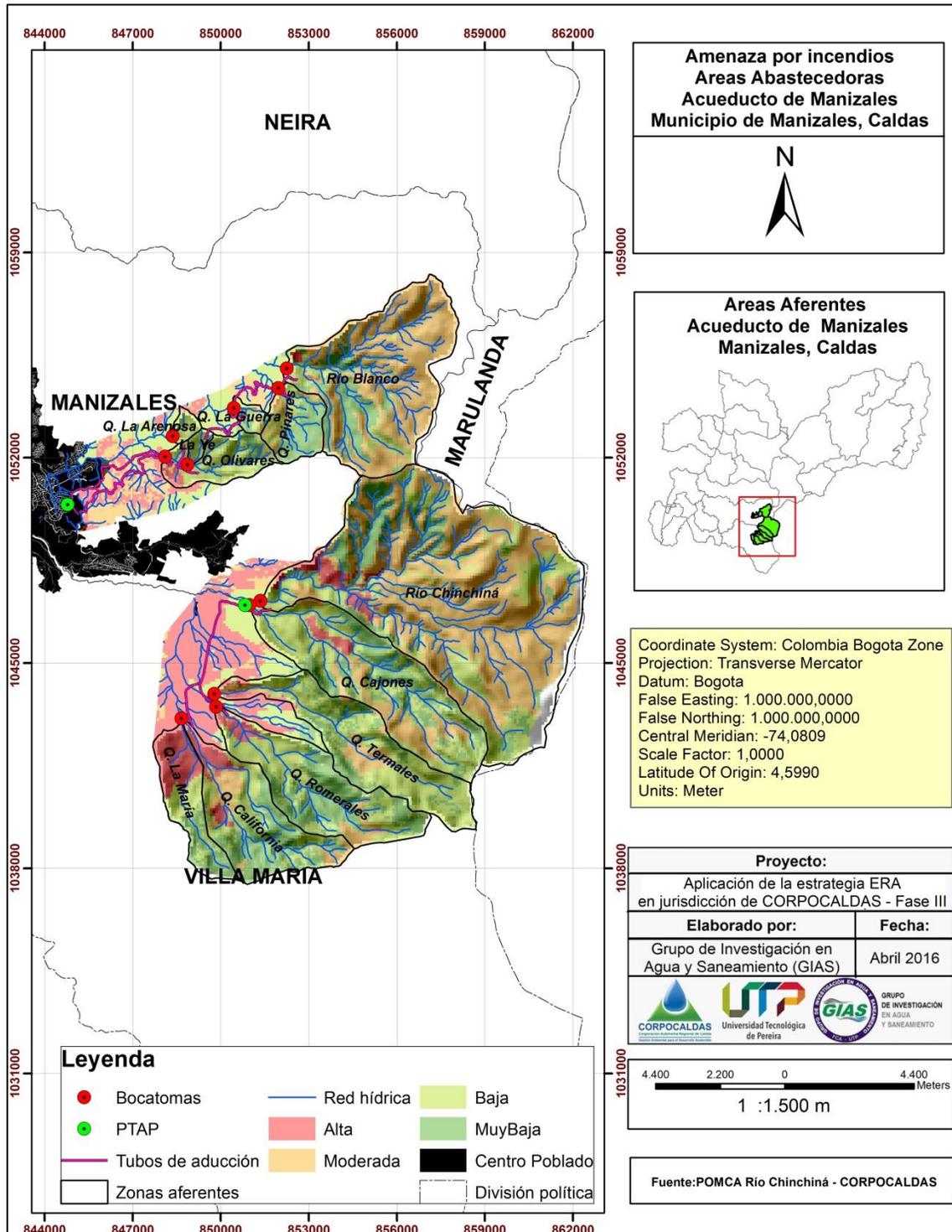


Figura 72. Mapa de Amenaza por Incendios Forestales de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: POMCA.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



Las amenazas antrópicas pueden ser:

- **Que afectan las fuentes:** básicamente están asociadas a conflictos en el Uso del Suelo, destacándose el uso de terrenos en fuertes pendientes para la ganadería, los que ocasiona desestabilización del terreno por el sobrepastoreo, y adicionalmente la destrucción del bosque natural o plantado para siembra de pastos, ocasionando desprotección de las fuentes de agua, como también el arado de los mismos para cultivos propios de tierras altas (cultivo de papa).
- **Relacionadas con la operación y mantenimiento:** se incluyen en estas las conducciones y redes de distribución (envejecimiento de la tubería, agresividad del medio, falta o exceso de presiones, poco o ningún mantenimiento, fisuras, entre otras).
- **Ajenas a la operación y mantenimiento:** en estas se incluyen las guerras, accidentes (fallas en la construcción, explosiones, incendios y choques) y contaminación química o biológica en los sistema de abastecimiento.
- **Contaminación de fuente por vertimientos:** se asocia con la calidad del agua superficial ya sea por vertimientos que las contaminan o por una excesiva extracción del caudal de oferta que genera un aumento en la concentración.



7. COMPONENTES DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad de un elemento particular de la sociedad está definida como el grado de pérdida que esta pueda sufrir como resultado de una amenaza. La naturaleza de la vulnerabilidad y su evaluación varían según el elemento expuesto representado en personas, estructuras sociales, estructuras físicas o bienes y actividades económicas. Auge (2004, en: Navarro-Garro et al., 2013) define la vulnerabilidad como “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales”.

La vulnerabilidad es el factor del riesgo interno al sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado. El análisis del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, integrando de manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso (Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2014).

Se reconocieron para el análisis, los siguientes tipos de vulnerabilidad:

7.1. VULNERABILIDAD SOCIAL

En esta se incluyen normalmente los factores de educación, infraestructura de salud, seguridad, acceso a los derechos humanos básicos, sistemas de buen gobierno, equidad social, valores tradicionales, costumbres y creencia ideológica, entre otros; no obstante, para el caso del acueducto de Manizales, se tiene en cuenta el grado de exposición partiendo de la amenaza de la infraestructura asociada con el acueducto como son las bocatomas, las conducciones y las plantas de potabilización, y de manera intrínseca se consideran las áreas abastecedoras como parte de la infraestructura, toda vez que cualquier afectación deriva en la continuidad a la disponibilidad del recurso hídrico a las diferentes áreas del municipio (Potabilización y red de distribución).

7.2. VULNERABILIDAD ECONÓMICA

Se caracteriza a la población de acuerdo a los ingresos económicos, edad, género, entre otros; además, está asociado a la disponibilidad de recursos para realizar las intervenciones necesarias en aspectos como conocimiento y reducción del riesgo, y manejo de desastres, en el marco del Plan de Obras e Inversiones. En este factor también es de interés evaluar el esquema de aseguramiento y la cobertura que ofrece frente a posibles situaciones de desastre (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2014).

Para el caso del acueducto de Manizales, se considera este aspecto como los posibles gastos o sobrecostos que se podrían generar producto de las amenazas en las áreas susceptibles a la ocurrencia de tales fenómenos naturales en la infraestructura, distribución y empleos, como también la causada por daños inherentes a la operación hídrica como rupturas por presión, mantenimientos o por asentamientos en zonas anteriormente no intervenidas o por desarrollo y mantenimiento vial como es el caso de la vía panamericana que lleva de Malteria al Alto de Letras, vía Bogotá (Ver Figura 74 y 75), fenómenos que si bien es cierto no tiene afectación directa, la vulnerabilidad se vería reflejada en el desabastecimiento del recurso hídrico a la cabecera municipal.



Figura 73. Cambio de Tubería por ruptura, localizado en Hotel Ares localizado en la vía que lleva del Barrio La Enea al SENA, donde anteriormente no existía la edificación y se realizó un importante movimiento de tierra.

Fuente: Propia.



Figura 74. Deslizamiento el cual afecto la base del talud generado por infiltración generado por el canal de aducción de aguas de Manizales. Ubicada en el área de influencia de la Quebrada La Guerra. Fuente: Propia.



7.3. VULNERABILIDAD FÍSICA

Esta se refiere a la susceptibilidad de la población y ambiente constructivo o tecnológico a la exposición ante los peligros, como también a las condiciones específicas de localización, diseño, construcción y características de la infraestructura que soporta la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, que condicionan su exposición y susceptibilidad frente a una amenaza (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, op. cit.); en esta existen factores importantes como son la densidad de viviendas, vías y calidad de las mismas, que si se realiza un paralelo, los equivalentes serían densidad y calidad de las Plantas de Potabilización y bocatomas, como también el estado de las conducciones desde las bocatomas hasta las plantas de potabilización (longitudes desde hasta), tramos donde se requiera de intervención ya sea por amenaza antrópica o natural e incrementa el riesgo.

En cuanto a la calidad de la infraestructura se presumen condiciones buenas para garantizar un suministro adecuado del recurso hídrico a la cabecera municipal en sus diferentes zonas de captación, conducción y potabilización.

7.4. VULNERABILIDAD AMBIENTAL O ECOSISTÉMICA

Se refiere a la extensión de la degradación de la naturaleza y sus recursos; se encuentra relacionado al estado de los recursos naturales y la capacidad de los ecosistemas para absorber y resistir los efectos de una amenaza que se presente en la zona, la posible alteración en los equilibrios y procesos de regulación en los ecosistemas de las cuencas abastecedoras y receptoras, los procesos de degradación de suelos, pérdida de cobertura vegetal, alteración y sedimentación de cauces, entre otros, son aspectos que condicionan este factor de vulnerabilidad (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2014).

Para vulnerabilidad Ambiental se identificaron las áreas protegidas de orden nacional, regional y propuestas que existen en la jurisdicción de CORPOCALDAS, luego se determinó la cantidad de área protegida para cada uno de los núcleos zonales y posteriormente, se realizó un cálculo del porcentaje de área protegida dentro de cada núcleo zonal, el resultado genera una condición vulnerable, además se tuvo en cuenta la ubicación de la infraestructura (bocatomas, conducciones y plantas de

potabilización) con respecto al área de influencia a la cual se le asignó un valor como se indica en la Tabla 24.

Esta tipo de vulnerabilidad desde el punto de vista de cultivos, cobra gran importancia en gran parte de los ABACOs de los Río Blanco y Chinchiná, debido a que se encuentran extensas zonas de pastos para ganadería precedidas por áreas de uso agrícola heterogéneas, presentando susceptibilidad entre moderada a muy alta ante la afectación por deslizamientos.

7.5. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Debido a que la vulnerabilidad evaluada está centrada en particularidades como son las zonas abastecedoras, las bocatomas, conducciones y plantas de potabilización, se decidió integrar las amenazas, para lo cual se les asignó un valor de ponderación acorde con el grado de exposición o afectación que puede sufrir la infraestructura física o actividad económica frente a dichas amenazas, esto con el fin de obtener un mapa preliminar de vulnerabilidad general para los ABACOs e infraestructura del sistema de abastecimiento de agua del municipio de Manizales; dicha selección varía según la escala de análisis y las características propias de cada lugar, por esta razón, puede concluirse que las metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad pueden ser herramientas flexibles y adaptables de acuerdo a las necesidades, requerimientos y posibilidades de cada estudio en caso particular, las cuales se analizan y se pondera de la siguiente manera (Ver Tabla 24):

Tabla 24. Matriz de análisis de exposición integral de las zonas aferentes e infraestructura asociada al acueducto del municipio de Manizales. Fuente. Propia.

ELEMENTOS VULNERABLES EXPUESTOS	TIPO DE AMENAZA				
	VOLCÁNICA	SÍSMICA	INCENDIO	MOV. EN MASA	INUNDACIÓN
ABACOs	MEDIA	ALTA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
Bocatoma rio Blanco	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Bocatoma quebrada la Guerra	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MUY BAJA
Bocatoma quebrada Pinares	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MUY BAJA
Bocatoma quebrada Olivares	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MUY BAJA
Bocatoma la Arenosa	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MUY BAJA

ELEMENTOS VULNERABLES EXPUESTOS	TIPO DE AMENAZA				
	VOLCÁNICA	SÍSMICA	INCENDIO	MOV. EN MASA	INUNDACIÓN
Bocatoma Minitas	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MUY BAJA
Bocatoma quebrada Chinchiná	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Bocatoma quebrada Cajones	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MEDIA
Bocatoma quebrada Termales	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Bocatoma quebrada Romeral	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA
Bocatoma California-la María	MEDIA	ALTA	BAJA	BAJA	ALTA
Aducción (conducciones)	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MUY BAJA
Niza (planta de potabilización)	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MUY BAJA
Luis prieto (planta de potabilización)	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	MUY BAJA
PONDERADO	15%	25%	10%	35%	15%

Con estos valores se agrupa la vulnerabilidad en una zonificación de la siguiente forma:

Para la zonificación de la vulnerabilidad se realizó de manera integral la superposición de información espacializada de las amenazas, en la cual se superpone la infraestructura y los diversos componentes del sistema o infraestructura, a fin de identificar los elementos que se encuentran expuestos ante cada una de las amenazas, con el objeto de determinar los componentes más críticos por su grado de exposición, como también las amenazas que pueden comprometer la infraestructura (Ver Tabla 24). Si bien se encontraron diferentes métodos para la estimación de vulnerabilidad de la población expuesta a eventos desastrosos, las formas de procesar la información se basa en el uso de indicadores de vulnerabilidad. La selección de estos indicadores varía según la escala de análisis y las características propias de cada lugar; por esta razón, puede concluirse que las metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad constituyen herramientas flexibles, que pueden y deben ser adaptadas de acuerdo a los requerimientos y posibilidades de cada estudio en particular (Zonificación de



Riesgo por Movimientos en Masa Inundación y Avenidas Torrenciales. Atención de Áreas Afectadas por Eventos Desastrosos, 2012).

Para la generación del mapa preliminar de vulnerabilidad del área de trabajo, se tuvieron en cuenta solamente parámetros cualitativos que se afectarían en caso de ocurrencia de un evento desastroso, permitiendo plantear un mapa de vulnerabilidad total como el resultado de la integración de las amenazas sobre la infraestructura, para lo cual se integraron las amenazas por procesos erosivos o movimientos en masa, inundación, sísmica, volcánica e incendios.

7.5.1. Vulnerabilidad a Movimientos en masa

En lo referente a las zonas abastecedoras, incluidas en la tabla 12 de manera general, el POMCA del río Chinchiná las incluye dentro de susceptibilidades muy altas, altas a moderadas por deslizamientos lo que es concordante con el mapa realizado en este proyecto y con la recurrencia de los fenómenos observados en el área aferente del Río Chinchiná y en menor proporción en la zona abastecedora del Río Blanco.

En el mapa de vulnerabilidad de los ABACOs de los Ríos Blanco y Chinchiná, y de las quebradas Termales, California y La María, su vulnerabilidad está estrechamente relacionada con los procesos erosivos, usos del suelo y áreas protegidas, lo que permite considerarlas dentro de un rango alto, debido a que la zona de bosques es altamente susceptible a incendios forestales, el mal uso del suelo los hace altamente susceptibles a procesos erosivos y pérdida de la capa vegetal incluyendo la ganadería expansiva y la tala de los bosques (Ver Figura 59).

7.5.2. Vulnerabilidad a Inundaciones

Este fenómeno más que inundación son los efectos de las crecidas súbitas que generan una gran susceptibilidad en las áreas afectadas como es el caso del Río Chinchiná, Quebrada La María, California, Romerales y Termales, las cuales en el registro histórico de la zona han presentado al menos en un periodo no mayor de veinte (20) años una creciente súbita de gran magnitud generando afectación aguas abajo.

La vulnerabilidad en los ABACOs por este fenómeno es concordante con Río Blanco y Río Chinchiná y con las Quebradas Termales, California y La María, donde la



vulnerabilidad está relacionada con la geología, la pendiente y la precipitación (media a alta), lo que permite ser catalogadas dentro de un rango alto, debido a que son zonas altamente susceptible a intervenciones antrópicas como ampliación de vías, uso agrícola, ganadero y minero (Ver Figura 76).

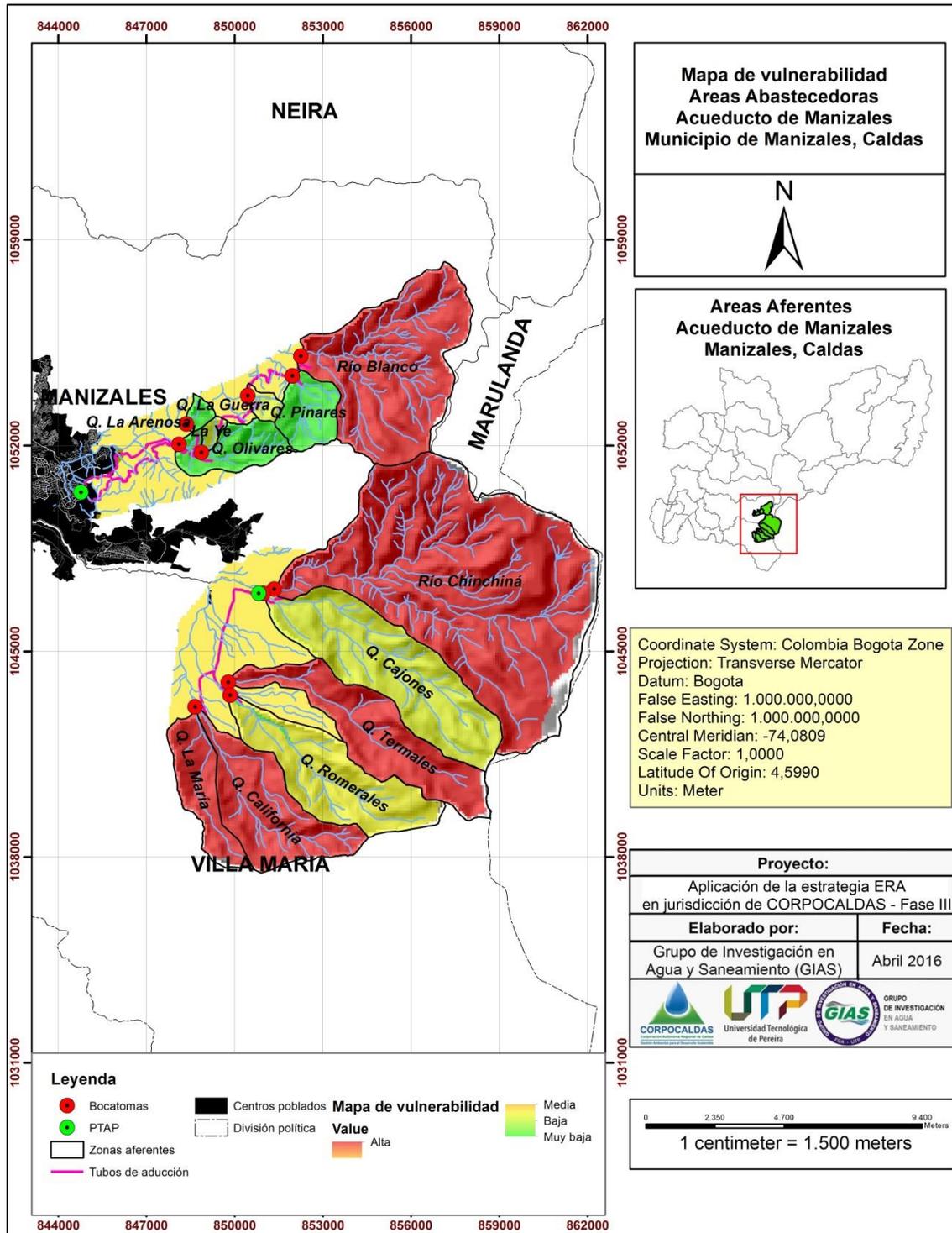


Figura 75. Mapa de Vulnerabilidad Total de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



7.5.3. Vulnerabilidad a Movimientos Sísmicos

La función de vulnerabilidad define la distribución de probabilidad de las pérdidas como función de la intensidad producida durante un escenario específico, para lo cual es necesario definir las curvas que relacionan el valor esperado del daño y la desviación estándar del daño con la intensidad del fenómeno amenazante para las áreas aferentes en general.

En este aspecto se pudo determinar que si bien, la amenaza es alta a media en la mayoría de las áreas abastecedoras, no obstante, la susceptibilidad se sectoriza en dos (2) ABACOs al sur este, una (1) área aferente centro y dos (2) áreas en la parte norte del área de estudio las cuales arrojan una susceptibilidad alta; por lo tanto, para esta susceptibilidad total se considera que debido al marco geotectónico donde se encuentran localizadas los ABACOs, la amenaza sísmica es alta soportadas por la actividad neotectónica de la falla Villamaría-Termale y a la luz de la falla Caldas Tear, sin omitir los periodos de ocurrencia de los mismo y la intensidad de estas (Ver Figura 76).

7.5.4. Vulnerabilidad a Fenómenos Volcánicos

Para la definición de funciones de vulnerabilidad se hace diferencia entre el fenómeno de caída de ceniza y los demás tipos de productos (flujos piroclásticos y flujos de lava), los cuales se representan mediante mapas de amenaza con cierta probabilidad de ocurrencia, pero cuya zona de afectación implica directamente la pérdida total del bien expuesto.

Para el caso de caída de ceniza, la intensidad seleccionada para cuantificar la amenaza es el espesor total de ceniza esperada para el evento que se está analizando (magnitud del evento), que puede variar entre pocos centímetros a varios metros hacia las partes altas y medias de las zonas de estudio. Este es el parámetro clave para la evaluación del daño esperado que se obtiene de una función de vulnerabilidad en la cual se relacionan estos dos parámetros. Las funciones de vulnerabilidad varían en este caso en función del tipo de edificación principalmente.

En términos generales, la intensidad del evento volcánico y de la recurrencia de este, puede afectar o no la infraestructura como bocatomas y plantas de potabilización, ya



que se encontró en la zona de estudio una vulnerabilidad baja a media ante este fenómeno.

7.5.5. Vulnerabilidad a Incendios Forestales

Respecto a la amenaza por incendios forestales, en la Quebrada La María y California, Romerales y Termale, además de la Bocatoma Minutas ubicada en La Quebrada Olivares, a pesar de encontrar que en general las cuencas presentan dominante amenaza moderada, las principales causas para que estos sectores sean considerados con alta a moderada amenaza e igualmente con alta vulnerabilidad son: viviendas, principalmente aisladas, son construidas con materiales inadecuados y de mala calidad, uso de combustibles no tradicionales y peligrosos para cocinar como gasolina, petróleo y leña, ausencia de hidrantes en las vías, dificultad de acceso, bajo nivel de educación de los habitantes, lo cual imposibilita crear una cultura de la seguridad y bajo nivel económico; no obstante, para la Plantas Luis Prieto y Niza esta susceptibilidad es baja, pero no para la afectación en el recurso hídrico de las zona abastecedoras.



8. ANÁLISIS DEL RIESGO

El riesgo es definido, como la probabilidad de ocurrencia en un lugar dado y en un momento determinado de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad, y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes. Con los datos de la amenaza y vulnerabilidad analizados anteriormente, se realizó la interpretación de los parámetros del riesgo y una zonificación de datos ponderados de inundaciones, movimientos en masa, sismicidad, eventos volcánicos e incendios de manera integral o total para que exista correspondencia con la susceptibilidad total; de acuerdo a lo anterior se dice lo siguiente:

- **Riesgo Muy Alto:** Este nivel de riesgo categoriza las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de procesos ya sea de remoción en masa, volcánicos, sísmicos y de incendios, en una relación menor del 5%. Son las zonas más susceptibles a desequilibrios y presentan enormes restricciones, que involucran medidas drásticas para ser controladas. Estos se localizan hacia la parte sureste y noreste del Río Blanco y puntualmente, en la parte alta de la Quebrada Termales (Ver Figura 77).
- **Riesgo Alto:** En este nivel de riesgo se encuentran zonas que tienen un grado de susceptibilidad alto a presentar problemas de estabilidad y movimientos en masa, sísmico, volcánico, inundaciones e incendios. Se debe tener cuidado y un buen control de estas áreas, mediante trabajos que logren recuperar las zonas afectadas y permitan la ejecución de proyectos mediante fuertes restricciones.

Este nivel de riesgo abarca gran parte de los ABACOs de la quebrada Termales y los Ríos Blanco y Chinchiná, y de manera parcial en las áreas aferentes de las Quebradas La María, Cajones y Pinares, excluyendo la zona urbana. El alto riesgo es producto de la alta amenaza mostrada en las zonas abastecedoras y por las condiciones de vulnerabilidad alta en más de un 45% del área de estudio. Existen áreas que en más del 60% de su territorio tienen una condición de alto riesgo, lo que hace ver la importancia de realizar planes de manejo inmediatos y labores preventivas. Dentro de las zonas más críticas se encuentran en la Quebrada Termales, Río Chinchiná y Río Blanco (Ver Figura 77).



- **Riesgo Medio:** En este nivel de riesgo, se encuentran las zonas con estabilidad moderada y condicionada, que presentan restricciones debido a la posibilidad de ocurrencia de sucesos o eventos, ya sea volcánicos, sísmicos, de movimientos en masa, inundaciones e incendios, propias de sus características morfo dinámicas, pendientes y geotectónicas, lo que hacen que estas zonas sean monitoreadas constantemente.

Este nivel de riesgo se presenta en un 25% del municipio, estando principalmente asociado a zonas de cobertura boscosa con relieves moderados sin evidencias importantes de fenómenos de remoción en masa como factor inicial de riesgo (Ver Figura 77).

- **Riesgo Bajo:** Las zonas que representan este nivel de riesgo representan el 15% del territorio y se caracterizan por tener condiciones de buena estabilidad y pocos procesos de remoción asociados. Este nivel de riesgo se presenta distribuido en áreas de poca extensión relativamente planas, en superficies de erosión y valles aluviales. Se destacan las zonas de bajo riesgo en las partes bajas de los ABACOs, cerca de las bocatomas.

Este se observa en todas las áreas abastecedoras pero varían en orden en relación porcentual de manera individual, como es el caso de las quebradas Cajones, Romerales, Pinares, La Guerra y La Ye, zonas donde se distribuyen a manera de parches en las cuencas y con una correspondencia intermedia con los usos del suelo y las áreas protegidas (Ver Figura 77).

- **Riesgo Muy Bajo:** Este nivel de riesgo se presenta en las partes bajas de los ABACOs, en los bordes de algunas áreas aferentes y en las partes altas de las mismas, teniendo un porcentaje menor del 10%, son áreas que se caracterizan por tener condiciones de estabilidad altas. Dentro de los sitios donde se encuentra este nivel, se destacan las quebradas la Arenosa, La Ye, la Guerra y parcialmente La María, a pesar de presentar movimientos en masa de manera puntual y asilada.

El principal factor para la estabilidad de estas áreas, es la presencia de zonas de bosques (áreas de reserva) en diferentes estados de evolución o recuperación. Lo anterior deja evidente lo apropiado de mantener coberturas vegetales para proteger



las superficies y aumentar la resistencia ante procesos o agentes erosivos y la mejoría de las cualidades físicas y químicas del suelo (Ver Figura 77).

En cuanto a las plantas de potabilización Luis Prieto y Niza, se puede determinar que se encuentran en áreas de riesgo medio a bajo, lo cual sugiere que estas se encuentran en zonas con estabilidad moderada y condicionada, que presentan restricciones debido a la posibilidad de ocurrencia de sucesos o eventos naturales principalmente que puedan afectarlas.

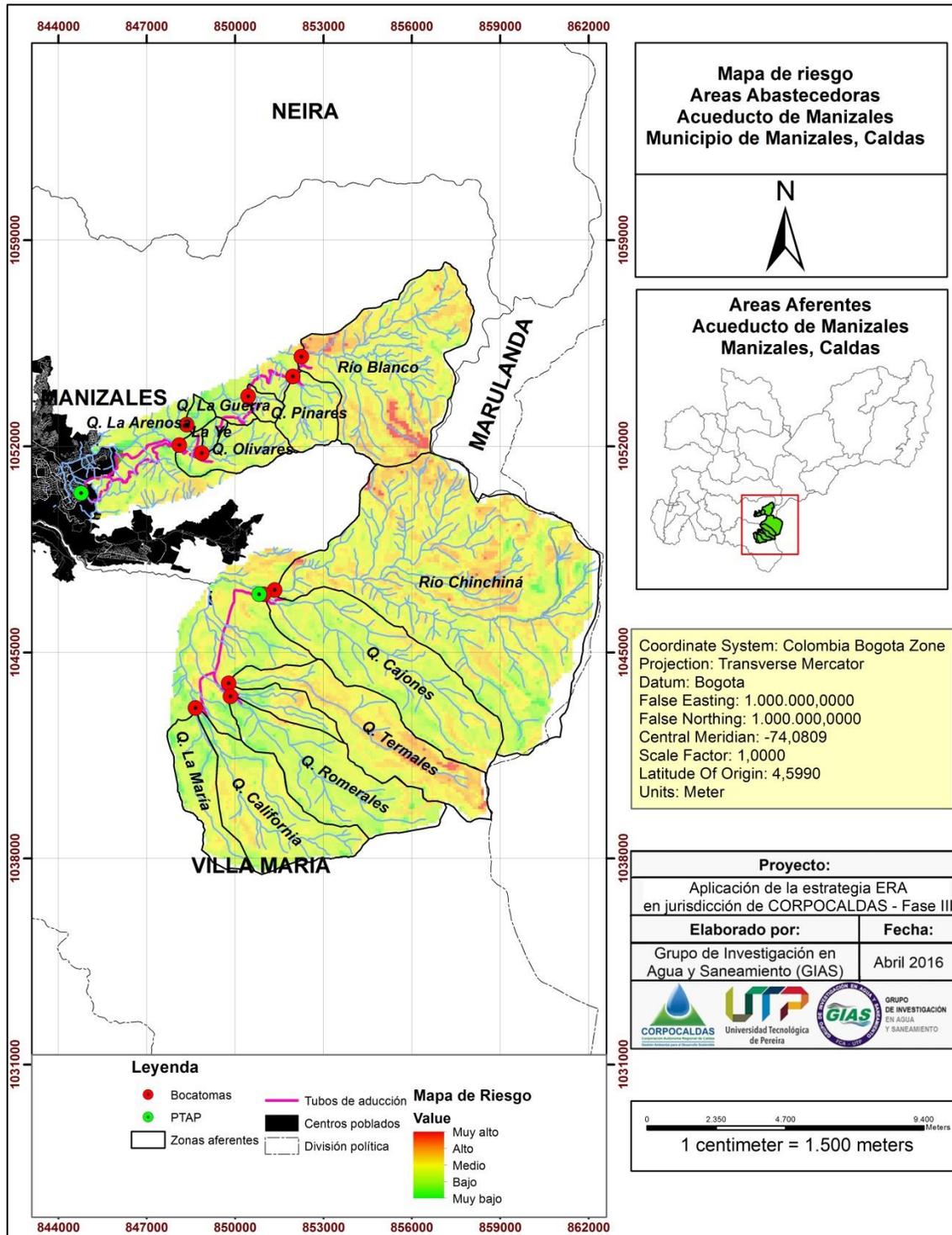


Figura 76. Mapa de Riesgo Total de las zonas aferentes y plantas asociadas al Acueducto del Municipio de Manizales. Fuente: Propia.

Contrato 246-2015

Informe "Riesgos en la infraestructura de abastecimiento de agua para el municipio de Manizales"



9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En general los resultados sugieren continuar revisando y ajustando la metodología para el análisis en particular de elementos puntuales como es el caso de los ABACOs, bocatomas, conducciones y plantas de potabilización asociadas al acueducto de Manizales, que permitan determinar o categorizar de una manera más detallada el riesgo antes los diferentes fenómenos, para determinar las restricciones, los usos y las restricciones a tener en cuenta en la planificación de las mismas.
2. Los recorridos de campo permitieron identificar que parte de las afectaciones son causadas en las conducciones, que tienen un componente antrópico por el diseño y daños o averías en las conducciones por fugas, pero también están asociadas a fenómenos naturales como saturación de suelos por altas precipitaciones, usos inadecuados del suelo, factor geológico, entre otras.
3. Existen factores geológicos, estructurales, antrópicos y topográficos que son determinantes para la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, acompañados de usos inadecuados del suelo en las áreas aferentes y en los alrededores de la infraestructura asociada al acueducto de Manizales.
4. Las pendientes, los usos del suelo y la geomorfología, son variables estrechamente relacionadas y se ven claramente reflejadas en los mapas de amenaza por movimientos en masa, ya que los escarpes y en los relieves erosivos son las zonas de mayor pendiente y donde se observan las áreas con mayor afectación en las zonas como Rio Blanco y Chinchiná.
5. En la zona de estudio se visibiliza un cambio en la precipitación cuando se tiene ocurrencia del ENOS, el cual también se puede notar en algunos meses del año donde los meses secos (especialmente los del primer periodo seco del año que corresponde a los meses de Diciembre, Enero y Febrero) tienden a ser más secos durante la ocurrencia de El Niño, y durante ocurrencia de La Niña un aumento en de la precipitación en la mayoría de los meses. Por lo tanto, se determina en este estudio que el comportamiento de la precipitación influye en la determinación de la Vulnerabilidad y por ende del Riesgo en la zona de estudio



6. Las Amenazas Sísmica y Volcánica son las de mayor cobertura en el área de estudio y las que presentan periodos de recurrencia variables en la escala de tiempo geológico.
7. La Amenaza por incendios se encuentran concentradas en los ABACOs de los Río Chinchiná y Blanco, y en menor porcentaje en el áreas de la Quebrada Cajones, correspondientes a zonas de bosques y pastos principalmente.
8. Los afluentes con mayor amenaza por inundación esta asociados a las quebradas La María y California, Romerales, Termales, Cajones, Rio Chinchiná y Rio Blanco.
9. La Vulnerabilidad total calculada para los ABACOs indican valores altos para Rio Blanco, Rio Chinchiná, Quebrada Termales, Quebrada California y La María, lo cual las ubica como zonas susceptibles al impacto de un peligro de origen natural o inducido por el hombre.
10. Cinco (5) de las trece (13) áreas abastecedoras evaluadas presentan una vulnerabilidad alta, cuatro áreas (4) muestran vulnerabilidad media a baja y tres (3) una vulnerabilidad baja, si bien todas no están en zonas de alto riesgo ante los fenómenos estudiados solo tres (3) se encuentran con vulnerabilidad baja, presentan alguna amenaza significativa como es el caso de la Quebrada Pinares y La Arenosa, en la cual se observó un proceso erosivo activo y una zona de bosques secundarios de gran importancia.
11. El Riesgo total calculado para las zonas de estudio indican valores altos, principalmente para las áreas del Rio Blanco, Rio Chinchiná y Quebrada Termales, ubicándolas como zonas de prioridad alta en temas de protección y monitorio continuo.
12. Los ABACOs de los Ríos Chinchiná y Rio Blanco, son las más intervenidas especialmente por procesos antrópicos y por fenómenos naturales, debido a los usos inadecuados de los suelos, desarrollo de infraestructura vial, deforestación y contaminación de aguas.
13. Se recomienda realizar la topografía detallada de las zonas de aducción, bocatomas e infraestructura con el objeto de definir y determinar la metodología adecuada



para este tipo de objetivos individuales, toda vez que la vulnerabilidad requiere de análisis diferentes a los normalmente utilizados a nivel municipal.

14. Se recomienda realizar la microzonificación geotécnica de la conducción entre la bocatoma de Río Blanco y la bocatoma de Minitas, con el fin de determinar las características geomecánicas del macizo rocos presente en este tramo.
15. Se recomienda actualizar la topografía y la cartografía geológica a escala 1:10.000 que permita una mejor ponderación de los valores al momento de realizar la evaluación de las amenazas en este tipo de estudios.



10. BIBLIOGRAFÍA

AUGE, M. (2004). Vulnerabilidad de Acuíferos. Conceptos y Métodos. No. 1. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

AGUIRRE, S. R. y LÓPEZ, I. J. 2003. Cartografía geológica y petrografía del Stock de Manizales y su relación con sus rocas encajantes. Manizales, p. 179. Tesis (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

BAETHGEN, W. 2013. Cómo incorporar la adaptación a la variabilidad y el cambio climático en políticas y planes de desarrollo. The International research Institute for Climate and Society –IRI-.

BETANCOURTH G., J. J.; et al. Contribución a la evaluación hidrogeológica, susceptibilidad a fenómenos volcánicos, caracterización de áreas fuente de sedimentos y morfotectónica de las fallas probablemente activas en la cuenca del Río Chinchiná (Caldas). 1998. 173p. Tesis (Geólogo). Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Programa de Geología.

CALVACHE, M. y MONSALVE, M. L. 1983. Evaluación de los recursos geotérmicos del área San Vicente – Manizales - Tolima. Investigación geotérmica macizo volcánico del Ruíz. Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. Manizales, 306p.

CORPOCALDAS. 1999. Plan de Ordenamiento de la Cuenca del Río Chinchiná.

CORPOCALDAS. 2008. Estudio Sobre El Estado Actual De Los Páramos del Departamento de Caldas.

CORPOCALDAS – ASOCARS – UNAL.-203 de 2011. Plan de ordenación y manejo ambiental de cuenca hidrográfica del Río Chinchiná (POMCA). Gestión Integral del Recurso Hídrico de la Cuenca Hidrográfica del Río Chinchiná en el Departamento de Caldas.

CORPOCALDAS. 2010. Reserva Forestal Protectora de las Cuencas Hidrográficas de Río Blanco y Quebrada Olivares. Plan de Manejo.



CUELLAR, M. A.; SÁNCHEZ, C. A.; VALENCIA, M. Caracterización petrográfica y deformativa de las rocas aflorantes en los alrededores de la Falla San Jerónimo, al este del municipio de Manizales. 2003. 179p. Tesis (Geólogo). Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Programa de Geología.

GONZÁLEZ, I. H. 2001. Geología de las Planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruiz. Escala 1:100.000. En: INGEOMINAS, Memoria Explicativa. Bogotá, p. 93.

GONZÁLEZ I., H. y LONDOÑO, A. C. Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia. Granodiorita de Manizales (K2E1gdm). (Stock de Manizales). Cordillera Central. Departamento de Caldas. Comisión Estratigráfica de INGEOMINAS. INGEOMINAS. 2002. 17p.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE., 2014. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS). http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic_page.aspx?p=576

INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES -IDEAM-, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, 2010. Estudio Nacional del Agua.

IDEAM-2013. Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua. 2013. Bogotá, D. C.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

IDEAM -. 2016. Mapas de disponibilidad hídrica para las principales ciudades de Colombia. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/balances-hidricos-medios-para-ciudades-principales>. Fecha de consulta: 01 de Julio de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE –IPCC-. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry,



Martin L., Canziani, Osvaldo F., Palutikof, Jean P., van der Linden, Paul J., and Hanson, Clair E. (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1000 pp.

INGEOMINAS (1993). Mapa geológico de Caldas, escala 1:250.000. Memoria Explicativa. INGEOMINAS. Bogotá, 62p.

LASSO, J.2016. Análisis de la capacidad de adaptación a los efectos de Variabilidad Climática asociados a la oferta hídrica en poblaciones rurales aplicando análisis de tendencias hidroclimáticas y del riesgo climático. Caso de estudio: veredas El Chuscal, La Mancha y Tres esquinas. Universidad Tecnológica de Pereira -UTP-. Colombia.

LÓPEZ, J. L. Ocurrencias minerales del Departamento de Caldas. Informe N° 1602. Bogotá. INGEOMINAS, 1971. 118p.

MAGAÑA, V.2010. Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones. México.

MARÍN, J. P.; MARÍN, O. F.; y PANTOJA, J. A. (2006). Sismicidad Histórica del Departamento de Caldas (Colombina). Boletín de Geología. Vol. 28, No. 1.

MAYA, M y GONZÁLEZ, H. Unidades litodémicas en la cordillera central de Colombia, Bogotá. INGEOMINAS. Bol. Geol. Vol.35 N° 2-3, 1995.

MEJÍA TORO, E. (2012). Características Cinemáticas y Condiciones de Deformación de un Segmento de la Falla Palestina al NE del Volcán Nevado del Ruíz. Magister en Ciencias-Geología. Universidad Nacional de Colombia.

MÉNDEZ, W. y MARCUCCI, E. Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas - Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 47(1): 29-55, 2006. Plan de Ahorro y Uso Eficiente de Agua 2015-2019 (2015)

MONTOYA, A y TORRES, A. H. Cartografía, Análisis Metalográfico y Petrográfico de los Pórfidos Ubicados el Este del Municipio de Manizales Sector Gallinazo 2005. Trabajo de grado, programa de Geología Universidad de Caldas Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.



MOSQUERA, D. Geología del Cuadrángulo K-8 Manizales. Informe preliminar 1763. INGEOMINAS. 1978.

NARANJO, J. & RIOS, P. Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos: Revista de la Universidad de Caldas, Vol. 10, Nº 1-3, 1989. Universidad de Caldas, Manizales Colombia.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. 2016. El Niño/Southern Oscillation (ENSO): Historical El Niño/La Niña episodes (1950 - present).

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.

NAVARRO-GARRO, A., et. Al. (2013). Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: como identificarla. Tecnología en Marcha, Vol. 26, Nº 3, Julio-Setiembre 2013. OCAMPO L. O. L. 2012. Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático. P. 257. Tesis Magister en Ciencias-Geología. Universidad Nacional de Colombia.

PARIS, G. y ROMERO, J. A. 1993. Fallas activas en Colombia. En: Boletín Geológico. INGEOMINAS, Bogotá. Vol. 34 Nº 2 - 3; p. 3 - 25.

PEÑA-QUIÑONES, A., VALENCIA-ARBELAEZ, J. RAMÍREZ-CARABALÍ, C. 2014. Caracterización de El Niño y La Niña sobre la lluvia en la zona cafetera colombiana. Luna Azul 39: 89-104.

PLAZAS, J. 2010. Caracterización petrográfica y termobarométrica del Stock Tonalítico-Granodiorítico de Manizales. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 21p.

REYES-TRUJILLO, A.; BARROSO, F., y CARVAJAL-ESCOBAR, Y. Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Primera reimpresión. Santiago de Cali: Programa editorial Universidad del Valle, 2010.

SALGADO-GALVEZ, M.A., ZULOAGA-ROMERO, D., y CARDONA-ARBOLEDA, O.D. 2013a. Evaluación Probabilística del riesgo sísmico de Bogotá y Manizales con y sin la influencia de la Caldas Tear. Revista Ingeniería. Universidad de Los Andes. Bogota D.C.



SALGADO-GALVEZ, M.A, et. al.; 2013b. Influencia de la “Caldas Tear” en la Amenaza Sísmica de Colombia Comparacion con el Estudio general de Amenaza Sísmica. Conference: VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, At Bucaramanga.

SÁNCHEZ P. J. A. 2005. Cartografía Geológica a escala 1:10.000 y Análisis Estratigráfico Preliminar en un sector de la Parte Media de la Cuenca del Río Chinchiná (Caldas). P. 193. Tesis (Geólogo). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

SÁNCHEZ, I. C., CORREDOR, X., RUÍZ, J.F.2013. Jaziku - Statistical Inference Software for the Teleconnections Analysis in: Science and Technology Infusion Climate Bulletin NOAA’s National Weather Service 38 th NOAA Annual Climate Diagnostics and Prediction. Workshop College Park, MD.

TABARES, O. L. M., PÁEZ, M. H., y HURTADO, E. de J. (1999). Actividad sísmica y Tasa de Deformación Sismotectónica en la Zona del Viejo Caldas, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. No.88, 359—373.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Sede Medellín. Facultad de Arquitectura, Escuela del Habitat Facultad de Minas, Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. 2009. Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo Por Movimientos En Masa, Avenidas Torrenciales E Inundaciones En El Valle De Aburrá. Formulación De Propuestas De Gestión.