

I

PROPUESTA PARA LA CREACION DE UN PROTOCOLO DE MONITOREO A LA  
INFRAESTRUCTURA OPERADA POR AGUAS DE MANIZALES S.A E.S.P EN ÉPOCAS  
DE INVIERNO

JEFERSON CAMILO DEL RIO

GEÓLOGO

DANIELA BARCO

GEÓLOGA

ASESOR: ROGELIO PINEDA MURILLO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
MANIZALES 2019

PROPUESTA PARA LA CREACION DE UN PROTOCOLO DE MONITOREO A LA  
INFRAESTRUCTURA OPERADA POR AGUAS DE MANIZALES S.A E.S.P EN ÉPOCAS  
DE INVIERNO

JEFERSON CAMILO DEL RIO

GEÓLOGO

DANIELA BARCO

GEÓLOGA

ASESOR: ROGELIO PINEDA MURILLO

MANIZALES, 2019

## Contenido

Lista de tablas .....	V
Lista de figuras.....	V
Resumen.....	1
Introducción .....	4
Planteamiento del problema .....	6
Hipótesis .....	7
Justificación .....	7
Objetivos .....	8
Objetivo general:.....	8
Objetivos específicos: .....	8
Generalidades.....	9
Localización.....	9
Clima.....	11
Antecedentes históricos .....	13
Marco teórico .....	15
¿Qué es un sistema de alerta temprana?.....	15
Geología.....	17
Unidades lito estratigráficas.....	17
Complejo Cajamarca.....	17
Complejo Arquía.....	17
Complejo Quebradagrande .....	18
Stock De Manizales .....	18
Formación Manizales.....	18
Depósitos Volcánicos.....	19
Geología Estructural .....	19
Falla San Jerónimo.....	19
Falla Romeral.....	19
Falla Manizales .....	20
Falla Villamaria-Termalés .....	20
Topografía y estabilidad .....	21
Metodología .....	23
Calificación de la Amenaza .....	23

Calificación de la vulnerabilidad .....	27
Delimitación de las áreas de influencia de las estaciones .....	31
Determinación de Niveles de Alerta .....	31
Caracterización e identificación de las zonas vulnerables y susceptibles a movimientos en masa .....	33
Identificación de la infraestructura .....	33
Elaboración del documento de la propuesta de protocolo .....	34
Efectos y Daños Causados por Deslizamientos .....	35
Captación y Aducción:.....	35
Planta de Tratamiento: .....	36
Conducción y Distribución .....	36
Tanques de Compensación: .....	36
Red residual: .....	37
Polígonos de Thiessen.....	38
Estaciones de referencia.....	41
<b>SECTORIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y LAS ESTACIONES</b>	
<b>HIDROMETEOROLÓGICAS .....</b>	<b>43</b>
Zona Centro .....	44
Zona Norte .....	46
Zona Oriente .....	48
Zona Sur.....	49
Infraestructura Crítica .....	50
Estaciones de Referencia para la Infraestructura Crítica .....	52
Conclusiones .....	53
Recomendaciones .....	56
Bibliografía .....	58

## Lista de tablas

Tabla 1 Tabla de las variables climáticas promedio entre 1981 y 2010 de Manizales .....	12
Tabla 2 calificación de frecuencia de ocurrencia .....	24
Tabla 3 nivel de intensidad .....	25
Tabla 4 calificación para territorio afectado .....	26
Tabla 5 rangos de calificación final de la amenaza.....	26
Tabla 6 calificación final del nivel de amenaza .....	27
Tabla 7 escala de calificación de la vulnerabilidad física .....	27
Tabla 8 escala de calificación de la vulnerabilidad ambiental .....	27
Tabla 9 escala de calificación de la vulnerabilidad social .....	31
Tabla 10 rangos de precipitación y niveles de alerta IDEA y Red hidrometeoro lógica de Caldas.....	32
Tabla 11 nombres de las estaciones usadas .....	42
Tabla 12 Estaciones de referencia de los Sectores hidráulicos de la zona centro .....	45
Tabla 13 Zona Norte .....	47
Tabla 14 Zona Sur.....	49
Tabla 15 indicador de disponibilidad de infraestructura Septiembre.....	50

## Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localización de la ciudad de Manizales, tomado de wikipedia.org .....	10
figura 2 Inventario de procesos erosivos en Manizales.....	14
figura 3 mapa Geológico de Manizales y zonas aledañas escala 1:50000 .....	21
figura 4 mapa de pendientes tomado del POT 2017-2031.....	22
figura 5 Mapa de la ciudad, en donde se pueden observar los polígonos de Thiessen y las estaciones administradas por el IDEA y Corpocaldas. ....	39
Figura 6 Mapa de la ciudad, en donde se pueden observar los polígonos de Thiessen y las estaciones administradas por el IDEA y Corpocaldas. ....	40
figura 7 Figura 7 sectorización Hidráulica del sistema de acueducto, Tomada del Sistema de Información Geográfica de Aguas de Manizales a 2018 .....	43

## Resumen

El protocolo de monitoreo se realizó en sector de Manizales y sus alrededores considerando la localización de la red hidrometeorológica de Caldas previamente puesta en la zonas, correlacionando las unidades litoestratigráficas con las geoformas del terreno, los datos recolectados por la red residual y presentarlos mediante el uso de programas computarizados.

Esta investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia desde la recopilación bibliográfica y la revisión de la mismas, revisión cartográfica hasta el procesamiento de los datos obtenidos en campo, elaboración de mapas, correlaciones y análisis de los resultados que permiten integrar todas las variables en un modelo de vulnerabilidad final.

Se utilizó una matriz de clasificación de la amenaza y clasificación de la vulnerabilidad, a lo largo del área de estudio. Posteriormente se utilizó el método de los polígonos de Thiessen que consiste en delimitar áreas de influencia a partir de un conjunto de puntos, en el que el tamaño de los polígonos depende de la distribución de puntos originales en el espacio que representan las estaciones.

Problemas Lo antes mencionado dificultó el análisis del comportamiento de los niveles freáticos presentes.

El área de estudio muestra un alto grado de heterogeneidad en suelo determinada por medio de los cambios drásticos registrados en la vulnerabilidad de la ocurrencia de un movimiento en masa.





## Introducción

Manizales se caracteriza por ser una de las ciudades donde más llueve en el país, las precipitaciones aumentan durante la ocurrencia del Fenómeno de La Niña. En estos periodos de intensas lluvias, las alertas y emergencias son más comunes debido a la activación de procesos erosivos detonados por saturación del terreno y las altas pendientes de las laderas sobre las cuales está construida la mayoría de la ciudad.

Emergencias como las ocurridas en Octubre de 2011, en el invierno de 2013 y la del pasado 19 de Abril de 2017 sirven como base para la elaboración de este protocolo. Pues interpolando los datos de las estaciones de la Red Hidrometeorológica, se pueden elaborar mapas de precipitaciones que permitan correlacionar estos eventos, con daños registrados en la infraestructura. Para de este modo plantear rutinas de inspección dependiendo de la información enviada a la empresa por la Red Hidrometeorológica de Caldas.

Además es importante relacionar los registros de lluvias con los reportes que se presentan en invierno por la presurización de la red residual. Ya que estos valores pueden ser útiles a la hora de plantear nuevos diseños, obras u optimizaciones en la misma.

Como cualquier trabajo de investigación este comenzó con la revisión de trabajos relacionados sobre el tema por investigadores, empresas entidades gubernamentales y organizaciones expertas. Se seleccionaron documentos base como: ***“Guía metodológica para estudios de amenaza y vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (2016)”*** del Servicio Geológico Colombiano, ***“Mitigación de desastres naturales en sistemas de acueducto y alcantarillado sanitario - guías para el análisis de vulnerabilidad (1998)”*** de la OPS/OMS y algunos estudios

de casos como *“terremoto del 22 de Abril 1991 Limón, Costa Rica”*. En estos documentos se consolidan metodologías aplicadas que sirven para la elaboración e implementación del proyecto.

## Planteamiento del problema

Las épocas de invierno en la ciudad de Manizales generan emergencias asociadas a inundaciones y procesos erosivos, dadas las condiciones geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del terreno sobre el cual está construido la ciudad,. Aguas de Manizales S.A E.S.P no es ajena a este tipo de situaciones durante la temporada de lluvias, por este motivo es estrictamente necesario la integración al sistema de alerta temprana de la ciudad.

## **Hipótesis**

Al integrar el Sistema de Información Geográfica de Aguas de Manizales S.A E.S.P en la cual se encuentra el catastro de la infraestructura operada por dicha entidad, con la información y reportes diarios de la red hidrometeorológica de Manizales y del departamento de Caldas, se podrá generar un protocolo de monitoreo a la infraestructura de acuerdo con los niveles de alerta y registros de la estación que la cubra dentro de su área de influencia.

## **Justificación**

La presente investigación se enfocará en estudiar la vulnerabilidad de algunas comunidades por la amenaza de movimientos en masa que son detonados por las altas precipitaciones presentes en el municipio, ya que debido al fenómeno reciente de la niña, los cambios en el agua y las temperaturas de la región se han visto modificados. Así, el presente trabajo permitiría mostrar una idea general para plantear las rutinas de inspección que facilitarían la adaptación a las nuevas circunstancias de la región, y profundizar los conocimientos teóricos y prácticos sobre las amenazas presentes y las posibles afectaciones sobre la infraestructura administrada por la Aguas de Manizales S.A E.S.P, finalmente es necesario concientizar a los tomadores de decisiones respecto a la necesidad de una adecuada gestión del riesgo de desastres para garantizar el desarrollo y sostenibilidad de dicha entidad.

## Objetivos

**Objetivo general:** zonificar la infraestructura operada por Aguas de Manizales S.A.E.S.P Teniendo como punto de referencia una estación hidrometeorológica y su respectiva área de influencia, para de este modo establecer alertas, rutinas de inspección y otras medidas de mitigación.

### Objetivos específicos:

- Facilitar la creación de rutinas de inspección mediante la integración de las áreas de influencia de cada estación con el Sistema de Información Geográfica de Aguas de Manizales S.A E.S.P
- Identificar elementos expuestos en zonas que estén de riesgo por deslizamiento de acuerdo a la cartografía del POT 2017-2031, para posterior monitoreo en épocas de altas precipitaciones.
- Elaborar mapas de precipitaciones interpolando los valores registrados en las estaciones hidrometeorológicas.

## **Generalidades**

### **Localización**

La ciudad de Manizales está localizada en el centro occidente de Colombia, sobre La Cordillera Central, limitando al norte con el municipio de Neira, al sur con Villamaria, al oeste con Palestina y Chinchiná y con zona Rural de Marulanda y el departamento del Tolima.



Figura 1. Mapa de localización de la ciudad de Manizales, tomado de wikipedia.org

## **Clima**

Como se mencionó anteriormente la ciudad de Manizales está influenciada por un clima Bimodal en el cual se pueden tener épocas de invierno y épocas de verano en un mismo año. La vegetación local corresponde a la de un bosque tropical, los meses más lluviosos generalmente Septiembre, Octubre, Noviembre con precipitaciones que pueden variar desde 210 mm hasta 270 mm en épocas normales (figura 2). En periodos de invierno estos valores pueden aumentar.



Tabla 1

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	16.4	16.7	16.8	16.5	16.7	16.4	16.6	16.6	16.3	15.9	15.9	16.1
Temperatura mín. (°C)	11.4	11.9	12.2	12.3	12.7	12.3	11.8	12	11.7	11.8	11.7	11.5
Temperatura máx. (°C)	21.5	21.6	21.5	20.7	20.7	20.6	21.4	21.2	20.9	20.1	20.2	20.8
Temperatura media (°F)	61.5	62.1	62.2	61.7	62.1	61.5	61.9	61.9	61.3	60.6	60.6	61.0
Temperatura mín. (°F)	52.5	53.4	54.0	54.1	54.9	54.1	53.2	53.6	53.1	53.2	53.1	52.7
Temperatura máx. (°F)	70.7	70.9	70.7	69.3	69.3	69.1	70.5	70.2	69.6	68.2	68.4	69.4
Precipitación (mm)	110	126	154	208	200	118	81	110	157	249	211	154

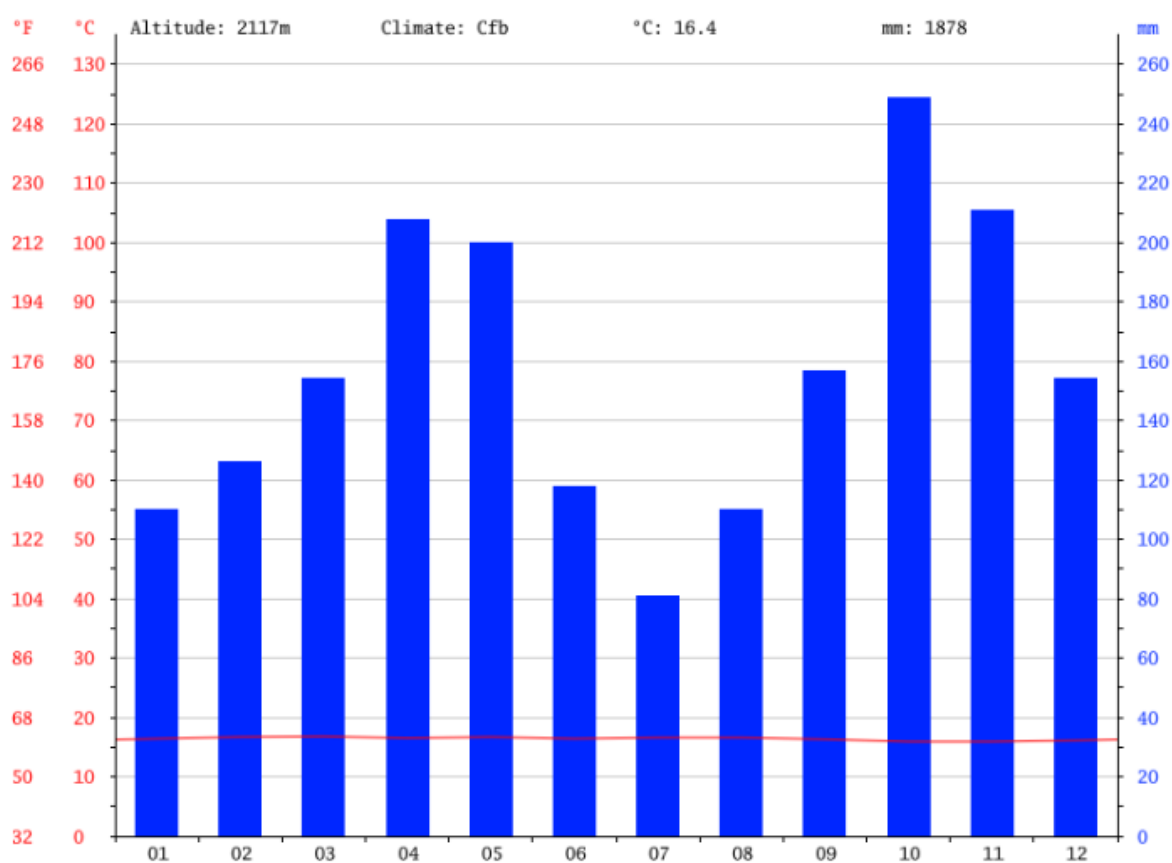


Figura 2 grafica de variables climatológicas de temperatura y precipitaciones promedio de la ciudad de Manizales, (tomado de es.climate-data.org)

De la tabla se puede concluir que los meses en los que mas lluvia cae sobre la ciudad son Abril, Mayo, Octubre y Noviembre. Estos 2 últimos pueden ser correlacionados con El Fenómeno de La Niña, así mismo la temperatura promedio esta entre 16,6 °C y 17.2°C.

### **Antecedentes históricos**

Colombia y en particular la ciudad de Manizales están sometidas a un régimen climático Bimodal. Debido la circulación de los vientos y corrientes oceánicas la zona del pacifico ecuatorial pasa por procesos de enfriamiento (Fenómeno de La Niña) y calentamiento (Fenómeno De El Niño) los cuales son erráticamente cíclicos. Cada periodo de invierno en Colombia genera emergencias por Inundaciones, Avenidas Torrenciales, Avalanchas y deslizamientos. Los antecedentes históricos de una región en cuanto a procesos erosivos son una herramienta infaltable a la hora de definir la susceptibilidad o vulnerabilidad de un territorio a presentar deslizamientos, para esto es necesario tomar información de diferentes fuentes como la cartografía de Plan de Ordenamiento Territorial que incluye un inventario de procesos erosivos. Para este inventario se tomó como insumo la plancha del Plan de Ordenamiento Territorial 2017-2031, después en ArcMap se digitalizaron los puntos y posteriormente se agregó la capa de los deslizamientos del 19 de Abril del presente año la cual fue suministrada por Corpocaldas. (Figura 3).

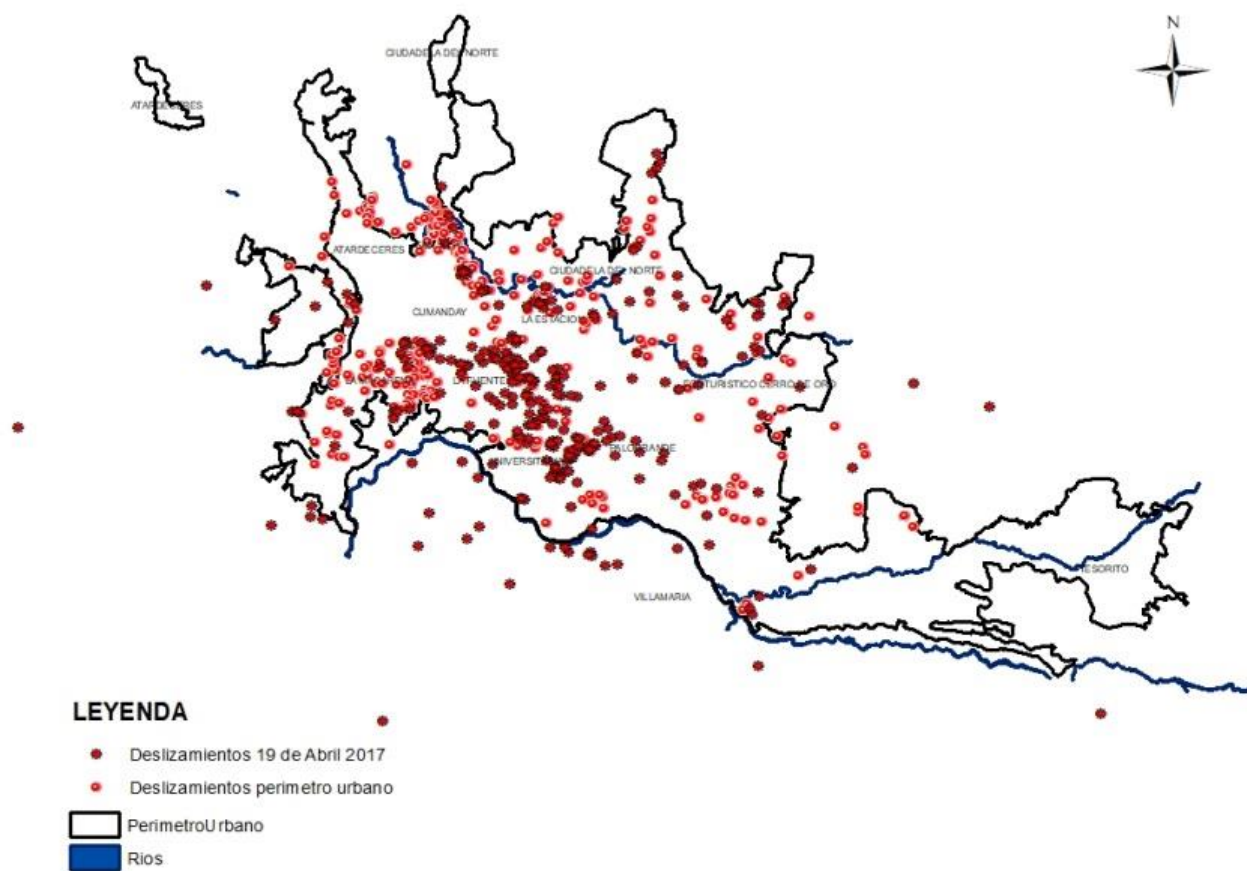


Figura 3. Inventario de procesos erosivos en Manizales tomado y modificado de cartografía diagnóstico del POT 2017-2031 plancha D-2E.

## Marco teórico

### ¿Qué es un sistema de alerta temprana?

Los Sistemas de Alerta Temprana –SAT- son herramientas que permiten proveer una información oportuna y eficaz a través de instituciones técnicas, científicas y comunitarias, por medio de herramientas y elementos, que permiten a los individuos expuestos a una amenaza latente, la toma de decisiones para evitar o reducir su riesgo y su preparación para que puedan brindar una adecuada respuesta teniendo en cuenta sus capacidades. *Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana* (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2016).

La EIRD habla del “conjunto de capacidades necesarias para generar y diseminar de manera oportuna y efectiva información de alerta que permita a las personas, comunidades y organizaciones amenazadas prepararse y actuar apropiadamente y con suficiente tiempo para reducir la posibilidad de daño o pérdida”.

Los SAT permiten “facultar a las personas y comunidades que enfrentan un amenaza para que actúen con suficiente tiempo y de manera adecuada para reducir la posibilidad de que se produzcan lesiones personales, pérdidas de vidas humanas y daños a los bienes y el medio ambiente”.

La alerta temprana les da respaldo técnico a las comunidades o individuos para actuar con tiempo suficiente y de una manera apropiada para reducir la posibilidad de daño personal, pérdida de vidas, daños a la propiedad y al ambiente ante una amenaza o evento adverso que

puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. Los SAT deben tener al menos estos componentes durante su elaboración y puesta en marcha del sistema:

- Detección y pronóstico de amenazas
- Evaluación de los riesgos e integración de la información
- Divulgación oportuna, confiable y comprensible
- Planificación, preparación y capacitación para la respuesta en todo nivel (institucional y comunitario)

## **Geología**

Según el mapa geológico de Colombia (Servicio Geológico Colombiano, 2015) la geología de la región es la siguiente:

### **Unidades lito estratigráficas**

A la hora de realizar un estudio de gestión del riesgo es muy importante tener en cuenta la geología de la zona analizada puesto que rasgos como el relieve, las pendientes, la composición del suelo, las unidades geológicas y su disposición estructural, las fallas regionales y locales etc. Son parámetros determinantes a la hora de calcular la vulnerabilidad de una región, municipio o zona (fig.1).

#### **Complejo Cajamarca**

Esta unidad se compone de rocas metamórficas de bajo grado de edad Paleozoica, que constituyen el basamento de la Cordillera Central y se dividen en tres grupos según su protolito Pelítico, Cuarzoso y Básico (Maya y González, 1995).

#### **Complejo Arquía**

El Complejo Arquía fue descrito por Maya y Gonzales (1995) se trata de una franja alargada estrecha y discontinua de esquistos anfibólitos, sericíticos, cuarcitas y neises, que junto a anfibolitas y metagabros se extienden desde Santafé de Antioquia en Colombia hasta Ecuador; dicha franja se encuentra localizada al oriente de la Falla Cauca- Almaguer (Cauca-Patía). Se le asigna una edad cretácica (Toussaint, 1993).

### **Complejo Quebradagrande**

Se le llama así a un conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias con bajo grado de metamorfismo que son constituyentes de gran parte del flanco occidental de la Cordillera Central (Maya y Gonzáles 1995) con una orientación preferencial N-S al occidente de la Falla San Jerónimo, según las dataciones su edad es cretácica Cuellar (2003), realizó dataciones sobre milonitas de este complejo presentando una edad de deformación cretácica superior.

### **Stock De Manizales**

Al este de la ciudad de Manizales se encuentra un cuerpo que instruye rocas metamórficas del Complejo Cajamarca; está constituido por rocas de composición granítica datadas en 43,9ma Eoceno (Villagómez, 2013).

### **Formación Manizales**

Compuesto por rocas volcanoclásticas, volcánosedimentarias, conglomeráticas, que reposan discordantemente sobre el Complejo Quebradagrande (Naranjo y Ríos 1989) y están supra yacidos concordantemente por la Formación Casabianca estos mismos autores por relaciones estratigráficas le dan una edad entre Mioceno Superior-Plioceno Inferior.

### **Depósitos Volcánicos**

Estos Flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica se encuentran depositados discordantemente sobre los Complejos Quebrada Grande y Cajamarca y son precisamente la unidad sobre la cual está construida la ciudad de Manizales (Naranjo, 1989).

### **Geología Estructural**

La ciudad de Manizales se encuentra afectada tectónicamente por 2 sistemas principales de fallas, el de Romeral y el Palestina, con tendencias dominantes Norte- Sur y noreste, las cuales poseen una gran continuidad regional e imprimen fuertes rasgos de tectonismo a las rocas del basamento rocoso es decir del complejo Quebradagrande.

#### **Falla San Jerónimo**

Define como el límite oriental del Sistema de Fallas Romeral, de carácter inverso con buzamiento fuerte al este. (Mosquera 1978) la denomina Falla ManizalesAránzazu, la cual pone en contacto la Formación Quebradagrande con el Complejo Cajamarca. (Grosse 1926).

#### **Falla Romeral**

Definida por Grosse (1926) como una falla de tipo inversa que constituye el rasgo principal del sistema de Fallas de Romeral, este trazo con orientación N5°E cruza aproximadamente a 3 km, al Occidente de la ciudad de Manizales. los principales rasgos morfotectónicos asociados a esta falla son: causes deflectados, cambios altimétricos, silletas, hombreras, facetas triangulares,



causes rectilíneos y valles en “V” simétricos ejerce control estructural en los drenajes que intercepta su traza tal como las quebradas de la Quebra, El Rosario y el Rio Guacaica .

### **Falla Manizales**

La clasifican como una falla de tipo inverso de ángulo alto de carácter dextral, la cual afecta la Formación Manizales. Se cree que dicha falla se extiende desde el Municipio de Villamaría hasta el Municipio de Aguadas, Caldas según (Mendoza y Moreno, 2001).

### **Falla Villamaria-Termals**

Se extiende desde el intermedio de la falla santa rosa y la falla palestina en dirección e-o pasando por los municipios de Villamaría y Manizales. Es una falla normal con dirección WNW asociada con el emplazamiento de domos como el Sancancio, Gallinazo y Tesorito.

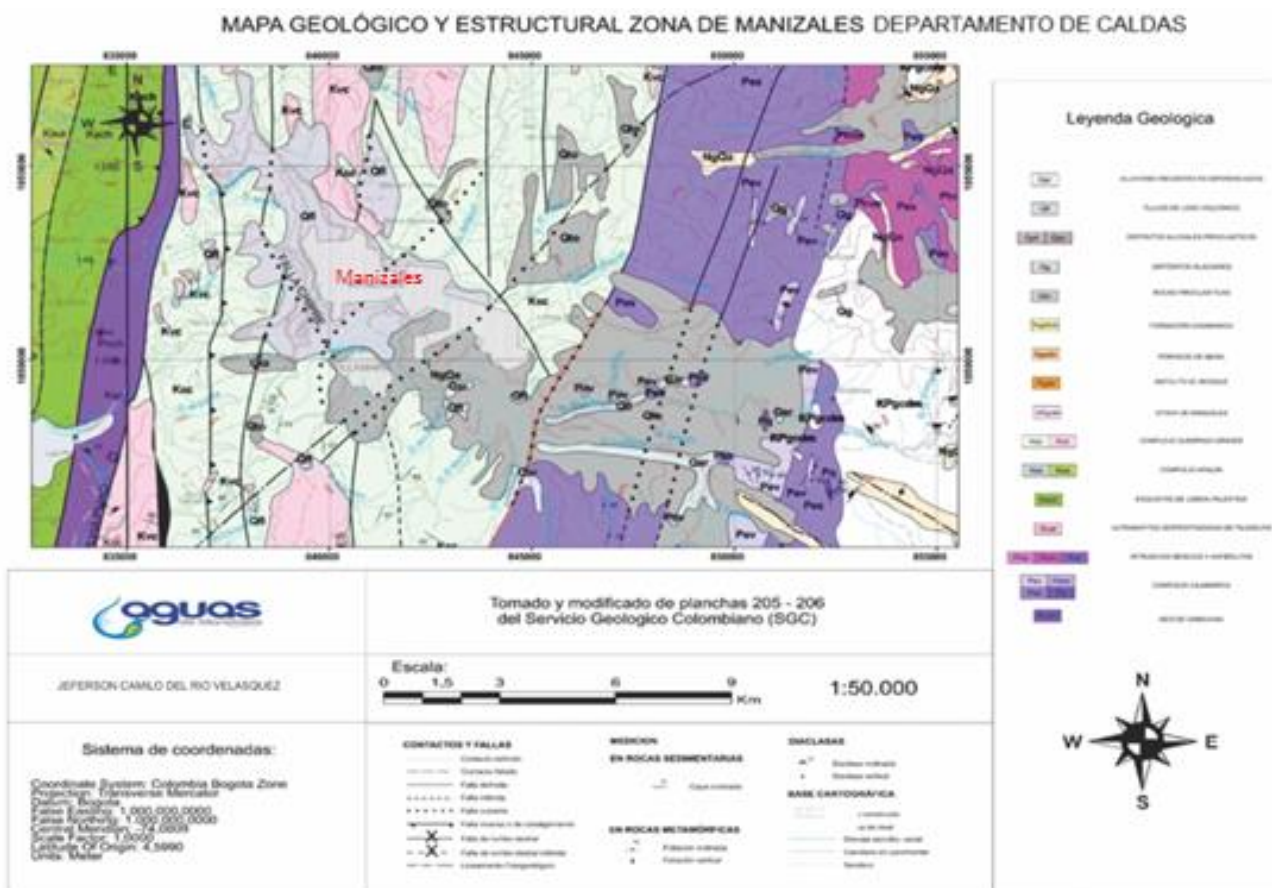


Figura 4. Mapa Geológico de Manizales y zonas aledañas escala 1:5000. Modificado del Servicio Geológico Colombiano (SGC)

## Topografía y estabilidad

Los mapas topográficos, modelos de elevación y mapas de pendientes representan herramientas básicas para el análisis de la vulnerabilidad de un área. Con frecuencia amplias zonas de deslizamiento y/o estabilidad pueden ser identificadas con la interpretación de dichos mapas. El Sistema de Información Geográfica de la empresa cuenta con una capa de curvas de nivel, la cual se puede procesar para la construcción de modelos de elevación para zonas en particular.

En la figura 3 se observa el mapa de pendientes de la ciudad, en colores verdes están representadas las pendientes bajas, en amarillo las intermedias y en rojo las altas. Se puede concluir que las zonas aledañas a la Quebrada Olivares y al Rio Chinchiná son las zonas de mayor pendiente, mientras que el centro histórico de la ciudad está construido sobre un relleno de baja pendiente.

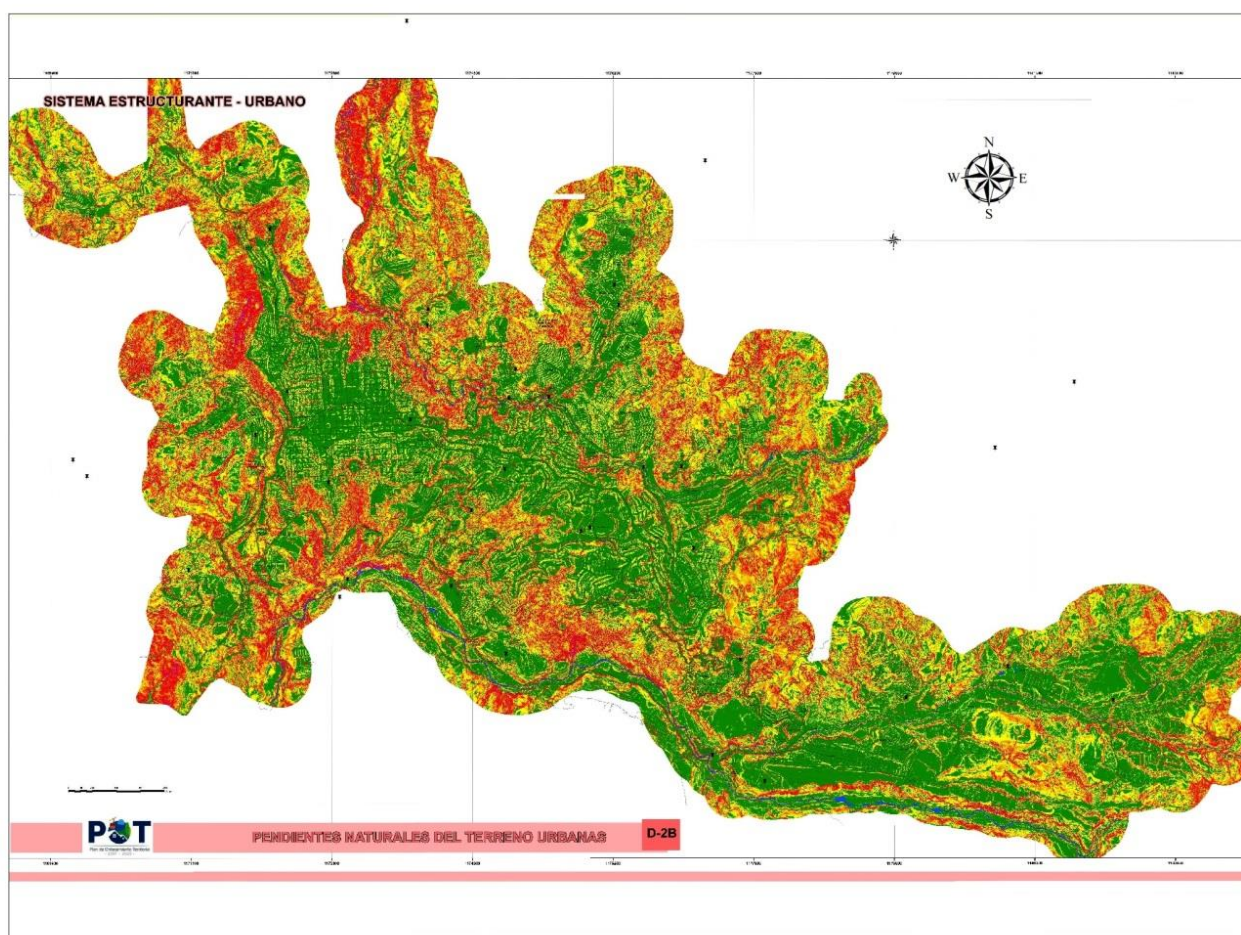


Figura 5. Mapa de pendientes tomado del POT 2017-2031

Además teniendo en cuenta desastres anteriores, las características del suelo que en la mayoría de la ciudad es poco cohesivo, las altas pendientes y la falta de control sobre el desarrollo urbano

y el crecimiento de la población. Es evidente que los elementos expuestos cada vez aumentan en cantidad, por eso la estabilidad de cada sector debe ser analizada de manera independiente.

### **Metodología**

La metodología aplicada en este trabajo comienza con la revisión bibliográfica y para su implementación consiste en 5 etapas:

#### **Calificación de la Amenaza**

Utilizando una matriz de calificación de la amenaza en la que se tenga en cuenta el origen de la amenaza, la frecuencia de ocurrencia de un evento de remoción en masa en la ciudad, el nivel de intensidad teniendo en cuenta la cantidad de pérdidas humanas y de personas lesionadas, así como el territorio afectado se calificara el Nivel de amenaza.

*Tabla 2 calificación de frecuencia de ocurrencia (elaboración propia a partir de (UNGRD, 2014) herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo*

1. ESCALA NIVEL DE FRECUENCIA		
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR
Baja	Ha ocurrido en un periodo de tiempo de 10 años o más	1
Moderada	Ha ocurrido en un periodo de tiempo entre 5 a 10 años	2
Media	Ha ocurrido en un periodo de tiempo entre 3 a 5 años	3
Alta	Ha ocurrido en un periodo de tiempo entre 1 a 3 años	4
Muy Alta	Ha ocurrido en un periodo de tiempo de 1 año o varias veces en 1 año	5

*Tabla 3 nivel de intensidad, elaboración propia a partir de herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo (UNGRD, 2014)*

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR
Baja	Fatalidades: No se presentan fatalidades Lesionados: entre 1 y 20 personas Días de interrupción del servicio: entre 1 y 5 días Impacto socio ambiental: Afectación ambiental cuya recuperación puede realizarse entre los dos primeros meses después de la ocurrencia del evento.	1
Moderada	Fatalidades: entre 1 y 10 personas Lesionados: entre 20 y 50 personas Días de interrupción del servicio: entre 5 y 20 días Impacto socio ambiental: Afectación ambiental cuya recuperación puede realizarse entre dos y seis meses después de la ocurrencia del evento.	2
Media	Fatalidades: entre 10 y 30 personas Lesionados: entre 50 y 100 personas Días de interrupción del servicio: entre 20 y 60 días Impacto socio ambiental: Afectación ambiental cuya recuperación puede realizarse entre seis meses y dos años después de la ocurrencia del evento y/o La comunidad puede verse afectada en su salud o en su hábitat hasta por el lapso de tiempo establecido para la recuperación del ecosistema.	3
Fuerte	Fatalidades: entre 30 y 50 personas Lesionados: entre 100 y 300 personas Días de interrupción del servicio: entre 60 y 90 días Impacto socio ambiental: Afectación ambiental cuya recuperación puede realizarse entre dos y cinco años después de la ocurrencia del evento. La comunidad puede verse afectada en su salud o en su hábitat hasta por el lapso de tiempo establecido para la recuperación del ecosistema.	4
Muy fuerte	Fatalidades: más de 50 personas Lesionados: más de 300 personas Días de interrupción del servicio: más de 90 días Impacto socio ambiental: Afectación ambiental cuya recuperación puede realizarse en mas de cinco años o el daño es muy grave y/o permanente y/o La comunidad puede verse afectada por un lapso de tiempo prolongado en su salud o en su hábitat.	5

*Tabla 4 calificación para territorio afectado, elaboración propia a partir de herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo (UNGRD, 2014)*

TERRITORIO AFECTADO		
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR
Baja	Afectación menor al 5% de la infraestructura del sistema	1
Moderada	Afectación entre el 5% y el 10% de la infraestructura del sistema	2
Media	Afectación entre el 10% y el 20% de la infraestructura del sistema	3
Fuerte	Afectación entre el 20% y el 30% de la infraestructura del sistema	4
Muy fuerte	Afectación de más del 30% de la infraestructura del sistema	5

*Tabla 5 rangos de calificación final de la amenaza elaboración propia a partir de herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo (UNGRD, 2014)*

NIVEL DE AMENAZAS	
INTERVALO	DESCRIPCIÓN
1 - 3	Baja
4 - 6	Moderada
7 - 9	Media
10 - 12	Alta
13 - 15	Muy Alta

*Tabla 6 calificación final del nivel de amenaza elaboración propia a partir de herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo (UNGRD, 2014)*

AMENAZA (EVENTO INICIANTE)	PERIODO DE RECURRENCIA (PEOR ESCENARIO)	FRECUENCIA DE OCURRENCIA		NIVEL DE INTENSIDAD		TERRITORIO AFECTADO		NIVEL DE AMENAZA	
		VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN	VALOR	CALIFICACIÓN
REMOCIÓN EN MASA	EVENTOS: AÑO 2011; 2017 - FENÓMENO DE LA NIÑA	4	ALTA	3	MEDIA	3	MEDIA	10	ALTA

### **Calificación de la vulnerabilidad**

La calificación de la vulnerabilidad se hizo de acuerdo con al grado de exposición de los elementos, es decir la vulnerabilidad física y además la vulnerabilidad social y ambiental, de la siguiente manera.

*Tabla 7 escala de calificación de la vulnerabilidad física, elaboración propia a partir de herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo (UNGRD, 2014),*



VULNERABILIDAD FÍSICA		
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR
Baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antigüedad de la edificación y/o construcción menor a 5 años</li> <li>- Estructura de concreto reforzado o materiales de buena calidad con adecuada técnica constructiva en excelente estado de conservación</li> <li>- Construido con las normas sismo resistentes actuales</li> <li>- Zonas que no presentan problemas de estabilidad y con buena cobertura vegetal</li> <li>- Cuenta con sistemas de detección y extinción de incendios que cumplen con la normatividad aplicable (NFPA)</li> <li>- Cuenta con sistemas de seguridad física suficiente y circuito cerrado de vigilancia (CCV). Cuenta con cooperación de las autoridades militares y protocolo de seguridad.</li> <li>- Zona sin problemas de orden público</li> </ul>	1
Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antigüedad de la edificación y/o construcción entre 5 y 10 años</li> <li>- Estructura de concreto reforzado o materiales de buena calidad con adecuada técnica constructiva en buen estado de conservación</li> <li>- Construido con las normas sismo resistentes de la época, con análisis de vulnerabilidad realizado bajo las normas vigentes y requiere reforzamiento estructural de algunos elementos del sistema</li> <li>- Zonas que no han presentado problemas de estabilidad y se encuentran en zonas de riesgo geológico bajo</li> <li>- Cuenta con sistemas de detección y extinción de incendios pero no se encuentran homologados con la normatividad aplicable (NFPA)</li> <li>- Cuenta con sistemas de seguridad física suficiente. Cuenta con cooperación de las autoridades militares y protocolo de seguridad.</li> <li>- Zona sin problemas de orden público</li> </ul>	2
Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antigüedad de la edificación y/o construcción entre 10 y 15 años</li> <li>- Estructura de concreto reforzado, madera, bloques, con adecuada técnica constructiva pero en regular estado de conservación</li> <li>- Construido con las normas sismo resistentes de la época y sin análisis de vulnerabilidad realizado bajo las normas vigentes</li> <li>- Zonas que no han presentado problemas de estabilidad pero que se encuentran en zonas de riesgo geológico</li> <li>- Cuenta con sistemas de extinción de incendios pero no cuenta con sistema de detección o viceversa, que cumple con la normatividad aplicable.</li> <li>- Cuenta con sistemas de seguridad física insuficiente. Cuenta con cooperación de las autoridades militares y no cuenta con protocolos de seguridad.</li> <li>- Zona con problemas de orden público moderado.</li> </ul>	3
Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antigüedad de la edificación y/o construcción entre 15 y 20 años</li> <li>- Estructura de concreto, madera, bloques, sin adecuada técnica constructiva y en estado malo de conservación</li> <li>- Cumple parcialmente con la normatividad aplicable</li> <li>- Zonas con problemas de estabilidad evidente y sin cobertura vegetal</li> <li>- Cuenta con sistemas de detección y extinción de incendios que no cumplen con la normatividad aplicable (NFPA)</li> <li>- Cuenta con sistemas de seguridad física insuficiente. Cuenta con cooperación de las autoridades militares y no cuenta con protocolos de seguridad.</li> <li>- Zona con problemas de orden público alto.</li> </ul>	4
Muy Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No cuenta con sistema de detección y extinción de incendios que No cumplen con la normatividad aplicable (NFPA)</li> <li>- No cuenta con sistemas de seguridad física.</li> <li>- No cuenta con cooperación de las autoridades militares y no cuenta con protocolos de seguridad.</li> <li>- Zona con problemas de orden público extremo.</li> </ul>	5

*Tabla 8 escala de calificación de la vulnerabilidad ambiental elaboración propia a partir de herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo (UNGRD, 2014)*

. VULNERABILIDAD AMBIENTAL		
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR
Baja	Los daños en los componentes del sistema traería bajas afectaciones al ecosistema; su recuperación puede realizarse entre los dos primeros meses después de la ocurrencia del evento.	1
Moderada	Los daños en los componentes del sistema traería moderadas afectaciones al ecosistema; su recuperación puede realizarse entre dos y seis meses después de la ocurrencia del evento.	2
Media	Los daños en los componentes del sistema generarían fuertes afectaciones moderadas al ecosistema; su recuperación puede realizarse entre seis meses y dos años después de la ocurrencia del evento.	3
Alta	Los daños en los componentes del sistema generarían graves afectaciones al ecosistema; su recuperación puede realizarse entre dos y cinco años después de la ocurrencia del evento.	4
Muy Alta	Los daños en los componentes del sistema generarían muy graves afectaciones al ecosistema; su recuperación puede realizarse en más de cinco años.	5

*Tabla 9 escala de calificación de la vulnerabilidad social, elaboración propia a partir de herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo (UNGRD, 2014)*

VULNERABILIDAD SOCIAL		
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR
Baja	La ocurrencia del evento no afectaría la salud y el hábitat de la comunidad	1
Moderada	La ocurrencia del evento afectaría la salud y el hábitat de la comunidad entre un día y tres meses	2
Media	La ocurrencia del evento afectaría la salud y el hábitat de la comunidad entre tres y seis meses	3
Alta	La ocurrencia del evento afectaría la salud y el hábitat de la comunidad entre seis meses y un año	4
Muy Alta	La ocurrencia del evento afectaría la salud y el hábitat de la comunidad hasta por el lapso de un año	5

### **Delimitación de las áreas de influencia de las estaciones**

El área de influencia de cada una de las estaciones es muy importante ya que permite zonificar las alertas. El método usado para elaborar este trabajo se llama “Polígonos de Thiessen” en honor al meteorólogo Alfred h. thiessen. Este es un método geométrico en el cual se unen entre si los puntos de las estaciones, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos alrededor de los puntos de control, de este modo el perímetro de los polígonos generados es equidistante a los puntos vecinos y delimitan su área de influencia.

### **Determinación de Niveles de Alerta**

El IDEA y la Unidad de Gestión del riesgo establecieron valores de precipitaciones acumuladas a 25 días o puntuales, para diferentes niveles de alerta. Los boletines que contienen esta información son enviados a diario a la empresa, estos mismos rangos de precipitaciones serán

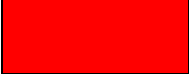
usados para zonificar los niveles de alerta a la infraestructura vulnerable para determinada zona (tabla 1).

*Tabla 10 rangos de precipitación y niveles de alerta IDEA y Red hidrometeoro lógica de Caldas*

NIVEL DE ALERTA	Acumulado a 25 días (mm)
Amarilla	200 – 300
Naranja	300 – 400
Roja	> 400

Según se establece en la Ley 1523 de 2012 la alerta se define como el “Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos”. En el decreto 2157 de 2017 para efectos de armonización con la estrategia Nacional de Respuestas se definen niveles de alerta con colores que servirán para iniciar con las respectivas acciones de respuesta a la emergencia de la siguiente manera:

<b>VERDE</b>	Normalidad en Actividades
<b>AMARILLO</b>	Preparación para la respuesta
<b>NARANJA</b>	Alistamiento
<b>ROJO</b>	Inicio de acciones de

 respuesta

La lluvia del 19 de Abril de 2017 es un claro ejemplo de una lluvia atípica que por su intensidad tiene un muy alto poder erosivo, este tipo de eventos son más difíciles de estudiar ya que muchos miembros de la comunidad científica aseguran que se deben al “cambio climático”. Por otro lado el acumulado a 25 días que se maneja en el país, también parece ser insuficiente debido a este factor.

### **Caracterización e identificación de las zonas vulnerables y susceptibles a movimientos en masa**

Las precipitaciones acumuladas a 25 días o las lluvias puntuales de alta intensidad son solamente el mecanismo que detona los movimientos en masa, sin embargo dentro del área de influencia de cada una de las estaciones se encuentran zonas que por sus características morfológicas, antrópicas, o de infraestructura que son más propensas a procesos erosivos. Estas zonas serán identificadas mediante la elaboración de mapas de pendientes, interpolaciones y la interpretación de los mapas del plan de ordenamiento territorial 2017-2031.

### **Identificación de la infraestructura**

La infraestructura operada por Aguas de Manizales S.A E.S.P son todos los elementos que componen el sistema de acueducto de la ciudad de Manizales (captación o bocatomas, aducción, conducción, plantas de tratamiento, redes de distribución y tanques de compensación), además del sistema de alcantarillado compuesto por redes colectoras e interceptoras, el material y

diámetro de las tuberías es variable y depende de las características hidráulicas de su localización. El principal objetivo de este trabajo es plantear rutinas de inspección a la infraestructura cuando determinada estación entre en un nivel de alerta Naranja o rojo, Pero es indispensable determinar que infraestructura se debe revisar, Esto depende del tipo de infraestructura, edad, estado y otras variables inherentes a ella.

### **Elaboración del documento de la propuesta de protocolo**

Finalmente se debe desarrollar un texto final en el cual esté contenida la información, para que de este modo la empresa tenga las herramientas necesarias para la implementación del protocolo de seguridad en épocas de invierno.

## Efectos y Daños Causados por Deslizamientos

Los daños causados por deslizamientos van desde afectaciones a la calidad del agua hasta la destrucción total o parcial de tramos de tuberías, Plantas de Tratamiento y otras infraestructuras del sistema de acueducto. Por su parte el alcantarillado sanitario además de los posibles daños directos, también se presentan afectaciones ambientales debido al vertimiento de agua residual sobre los tramos afectados.

El tipo de afectación depende también del tipo de infraestructura comprometida durante un deslizamiento. A continuación se describen las principales afectaciones en el sistema de acueducto y alcantarillado.

**Captación y Aducción:** Los elementos que componen el sistema de Captación y las cajas o tuberías de aducción pueden quedar enterrados, desbastados, taponados o colmatados por sedimentos, debido al impacto de flujos, avalancha. Además de esto el aporte de sedimentos afectan directamente la calidad del agua debido al aumento en su turbidez. En particular las cenizas depositadas por la actividad del Complejo Volcánico Ruiz- Tolima. Son ricas en Aluminio y la presencia de este elemento hace más difícil el proceso de Potabilización. En el caso del terremoto de Limón Costa Rica la OPS/OMS describe: *“se afectaron varias cuencas por deslizamientos con porcentajes de devastaciones no menores al 30%. En solamente una de ellas esto significó 8000 hectáreas devastadas, y en otra que servía como la principal fuente de abastecimientos del sistema de agua potable de la ciudad de Limón, se detectaron hasta 27*



*deslizamientos que provocaron un aumento inesperado en los niveles de turbiedad del agua, nivel que iba más allá de la capacidad de la planta de tratamiento, lo cual hizo necesario sacar de operación la toma de aguas por bombeo localizada en el río”.*

**Planta de Tratamiento:** Los daños en la planta de tratamiento solo se dan cuando la misma ha sido construida en el área de influencia de un deslizamiento, flujo o avalancha. En el caso de los terremotos si está construida sobre un terreno licuable puede generar el colapso parcial o total de algunas estructuras.

**Conducción y Distribución:** La Principal afectación se debe al arrastre o destrucción de tramos de tuberías, válvulas, hidrantes y otros elementos ubicados sobre el trayecto del deslizamiento. En el caso de las conducciones la afectación es mayor debido a que estas transportan un caudal alto el cual puede ser vertido sobre la masa fluyente, afectando directamente la dinámica del movimiento. Además una destrucción en un tramo de conducción deriva en la interrupción del servicio de acueducto, los usuarios afectados dependerán de la importancia para el sistema del tramo afectado.

**Tanques de Compensación:** El tipo de afectación depende específicamente de la localización del tanque con respecto a la pendiente, es decir si un tanque está localizado sobre la base de un talud, de presentarse un deslizamiento en el mismo esto podría llevar a un aplastamiento o

agrietamiento del mismo debido al impacto de la masa fluyente. Si el tanque está localizado en la parte alta de la ladera, un deslizamiento podría afectar la estabilidad del mismo. En eventos anteriores se han presentado deslizamientos que si bien no afectaron las condiciones de equilibrio los tanques, la empresa de manera preventiva los ha sacado de funcionamiento. Por ejemplo los tanques Isabela I y II por los deslizamientos del 19 de Abril de 2017.

**Red residual:** Los colectores en la ciudad están localizados generalmente debajo de vías y zonas verdes. Sin embargo algunos tramos también se pueden ver afectados por la ocurrencia de fenómenos de origen erosivo. Los interceptores que están contruidos en laderas que bordean ríos y quebradas, algunas de estas de alta pendiente, son quizás el elemento más vulnerable del sistema de Alcantarillado Sanitario. Se ven afectados por destrucción total o parcial de los tramos contruidos sobre la trayectoria de los deslizamientos. Por lo dicho anteriormente la zonificación de las estaciones también tendrá en cuenta los Interceptores administrados por la empresa.

## Polígonos de Thiessen

El método de polígonos de Thiessen se utiliza para determinar el área de influencia de una serie de puntos en el espacio que representan las estaciones. Se crea al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión de manera que el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en el espacio designan su área de influencia. Por medio del software Arcmap se ejecutó esta interpolación en la cual se pudo determinar el área de influencia de cada una de las estaciones hidrometeorológicas. Después se creó una capa con los polígonos de cada área de influencia para usarlo como máscara al momento de seleccionar la infraestructura (fig. 1).

Una vez obtenido el resultado de la interpolación y teniendo en cuenta eventos de lluvias registrados en el pasado, que generaron deslizamientos (fig. 2). Es posible acercarse a valores de precipitación de lluvias acumuladas y puntuales que puedan generar emergencias en las diferentes áreas de influencia de cada estación.

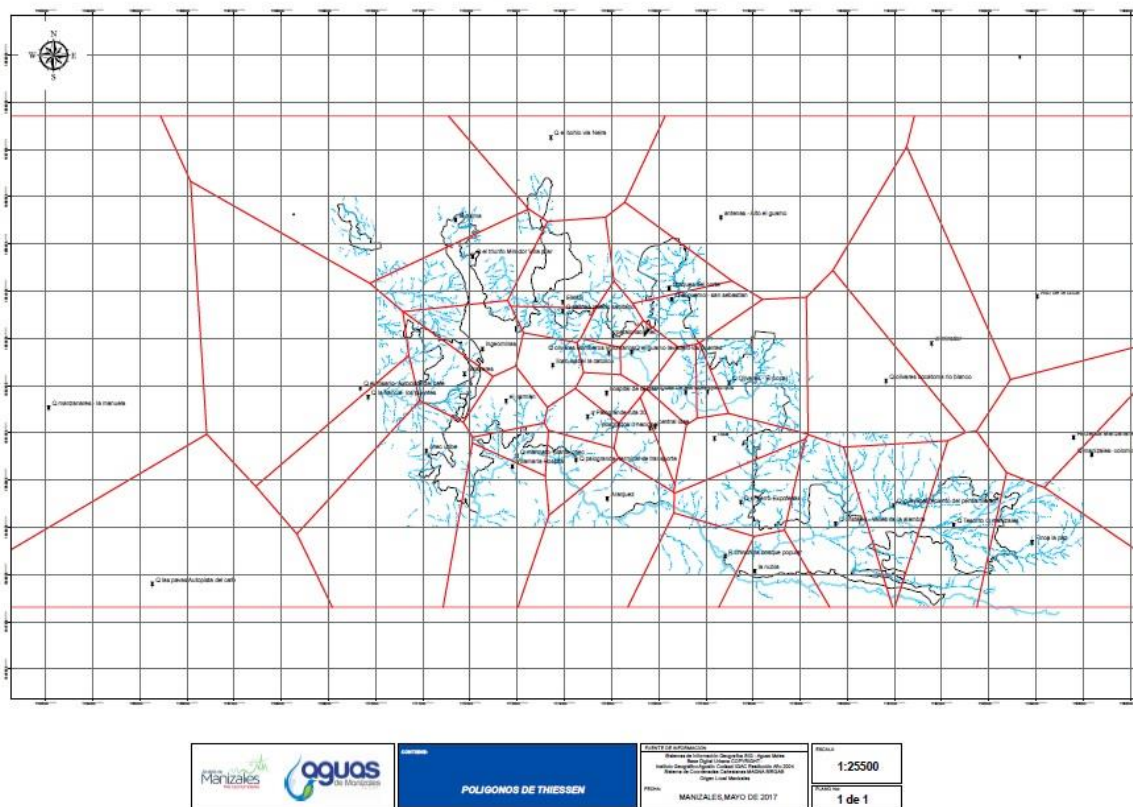


Figura 6. Mapa de la ciudad, en donde se pueden observar los polígonos de Thiessen y las estaciones administradas por el IDEA y Corpocaldas.

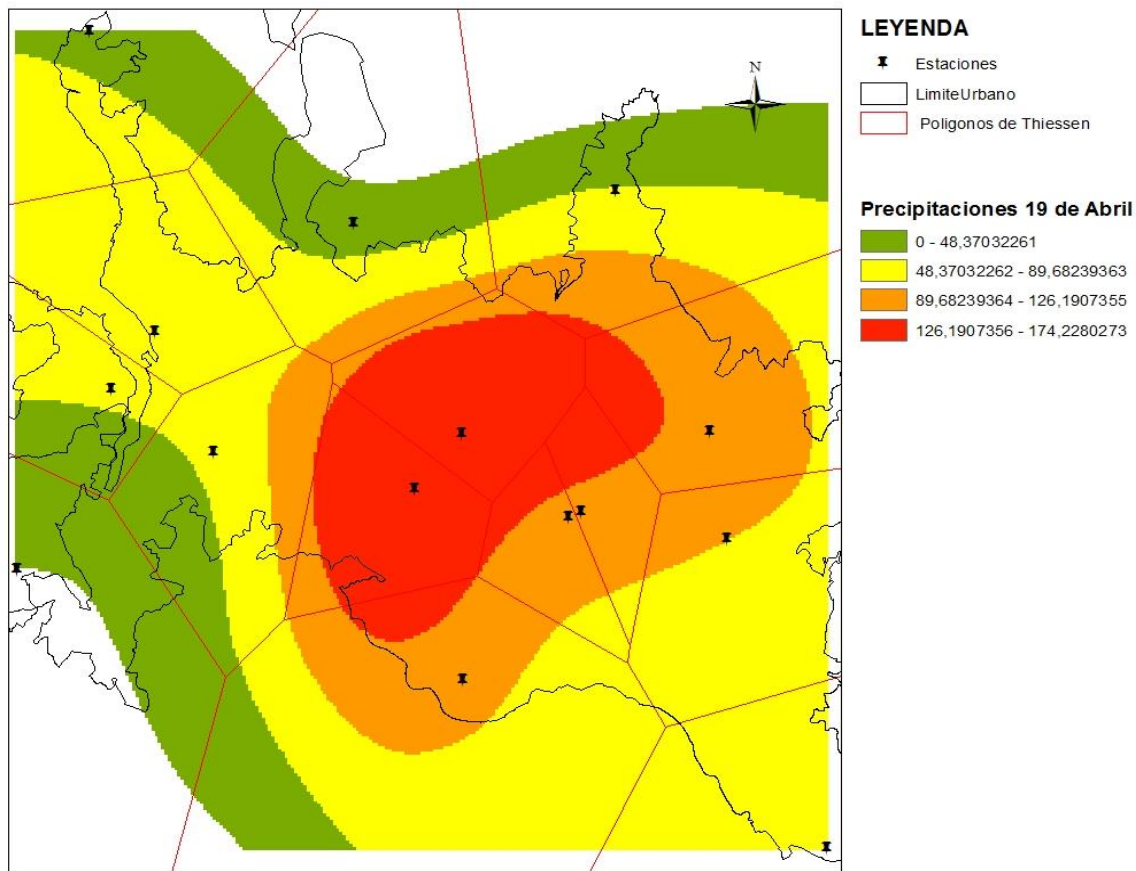


Figura 7. Mapa de la ciudad, en donde se pueden observar los polígonos de Thiessen y las estaciones administradas por el IDEA y Corpocaldas (2018)..

Este mapa concuerda con la capa de deslizamientos levantada por Corpocaldas para ese día, en donde se podría apreciar que en el área del polígono rojo, se encontraba la mayor concentración de deslizamientos.

## **Estaciones de referencia**

En la tabla 2 se muestra el nombre de las estaciones de referencia para este estudio. Teniendo en cuenta que las estaciones Hidrometeorológica (HM) además de reconocer precipitaciones, registran los niveles de las quebradas o ríos donde están instaladas, mientras que las meteorológicas (M) solo registran precipitaciones. Por lo tanto las estaciones HM comienzan su nombre con la quebrada o río en la cual se encuentra y además el nombre del punto de referencia.

*Tabla 11 nombres de las estaciones usadas*

nombre
Aguas de Manizales
Alcazares
Alto de La Coca
antenas - Alto El Guamo
Aranjuez
Bosques del Norte
Central IDEA
Chec Uribe
El Carmen
El Mirador
EMAS
Finca La Paz
Hacienda Manzanares
Hospital de Caldas
Ingeominas
La Nubia
La Palma
Liceo Isabel La Catolica
Niza
Peralonso Chec
Posgrados U Nacional
Q Cristales - Valles de la Alambra
Q El Bohio via Neira
Q El Guamo - San Sebastian
Q El Guamo lavadero Los Puentes
Q El Perro-Expoferias
Q El Rosario- Autopista del Cafe
Q El Triunfo Mirador Villa Pilar
Q Guayabal Reciento del Pensamiento
Q La francia- Los Puentes
Q las pavas Autopista del cafe
Q manizales- Colombit
Q manzanares - la manuela
Q Marmato- Planta Chec
Q Olivares - El Popal
Q Olivares Bocatoma Rio Blanco
Q Olivares Bomberos Voluntarios
Q Palogrande- Terminal de Transporte
Q Palogrande Ruta 30
Q Salinas Relleno Sanitario
Q Tesorito Q manizales
R chinchina Bosque Popular
Villamaria Hospital
Yarumos

## SECTORIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y LAS ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

Teniendo en cuenta que la infraestructura de acueducto y alcantarillado administrada por la empresa comprende el perímetro urbano y gran parte de la zona rural. Es necesario sectorizar la ciudad, para lo cual se toma como referencia, la sectorización hidráulica del sistema de acueducto de Manizales. La cual divide en 4 grandes sectores: zona Norte que corresponde principalmente a la comuna ciudadela del norte, zona Centro que corresponde al centro histórico de Manizales y barrios aledaños como Chipre, La Montana, La Francia y Santa Sofía, la zona Sur abarca desde la vía Panamericana, hasta La Comuna La Fuente. Entre la avenida Santander y La Enea se denomina zona Oriente. Estas 4 Zonas se dividen en sectores hidráulicos (figura 3)

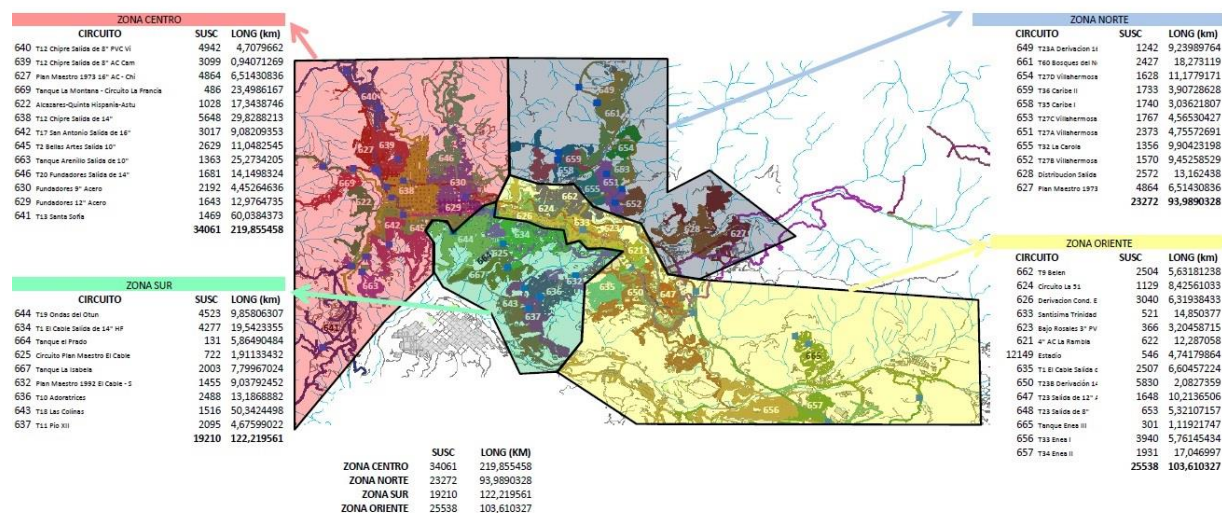


Figura 7. Sectorización Hidráulica del sistema de acueducto, Tomada del Sistema de Información Geográfica de Aguas de Manizales a 2018



De este modo sobreponiendo la figura 3 y la capa de las estaciones y polígonos de Thiessen se puede desarrollar una idea preliminar de sectorización, para posteriormente evaluar en cada sector hidráulico cual es la infraestructura más vulnerable y de este modo poderla monitorear dependiendo de los datos de las estaciones suministrados por el IDEA.

### **Zona Centro**

Esta zona es la más amplia en cuanto a longitud de las redes ya que de los Tanques Chipre y Santa Sofía se alimentan las redes de distribución de la zona rural. En la tabla 3 se muestran las estaciones de referencia para esta zona y los respectivos sectores hidráulicos que se encuentran dentro del área de influencia de cada estación y en el mapa de la figura 4 se consolida dicha información.

ZONA CENTRO		
ESTACION	SECTOR HIDRAULICO	NUSH
Q Triunfo mirado de Villa Pilar La Palma	T12 Chipre salida de 8" pvc	640
Ingeominas	T12 Chipre salida de 8" AC	639
	T12 Chipre salida de 14"	638
	Plan Maestro 1973 16"- Chipre	627
Emas y Q salinas relleno sanitario	T20 Fundadores salida de 14"	646
	Fundadores salida de 9" acero	630
Liceo Isabel La Católica	Fundadores salida de 9" acero	630
	Fundadores 12" acero	629
	T2 Bellas Artes salida 10"	645
El Carmen	T2 Bellas Artes salida 10"	645
	T 17 San Antonio salida de 16"	642
	Tanque Arenillo Salida de 10" centenario	663
Q Marmato Planta Chec, Hospital Villamaria	Tanque Arenillo Salida de 10" La Montana Estambul	663
Alcazares	Alcázares-Quita Hispania	622
	Tanque La Montana Circuito Francia	669
Chec- Uribe	T13 Santa Sofía	641
	T12 Chipre salida de 14" - Centenario	638
Q Las Pavas Autopista del Café	T 59 Las Lomas	660
Q Manzanares- La Manuela	TQ La Montana circuito San Peregrino	670
	TQ la Cabaña	660
Q El Rosario Autopista del Café	TQ La Montana circuito Aurora	668

*Tabla 12 Estaciones de referencia de los Sectores hidráulicos de la zona centro (elaboración propia a partir del SIG de Aguas de Manizales S.A E.S.P)*

### **Zona Norte**

Corresponde principalmente a los barrios ubicados al costado Norte de la Avenida Del Río como La Comuna de La Ciudadela del Norte, La Cumbre y La Sultana. Además por su cercanía con las Aducciones y Bocatomas de Río Blanco en este sector se asocian dichas infraestructuras.

Tabla 13 Zona Norte (elaboración propia a partir del SIG de Aguas de Manizales S.A E.S.P)

ZONA NORTE		
ESTACIÓN	SECTOR HIDRAULICO	NUSH
Bosques del Norte	T23A Derivacion de 16" AC Ciudadela del Norte	649
	T60 Bosques del Norte	661
Q El Guamo y Bosques del Norte	T27C Villahermosa Salida de 8 AC	653
	T27C Villahermosa Salida de 8 PE	654
Peralonso Chec	T35 caribe I	658
	T36 Caribe II	659
Q El Guamo Lavadero los puntos o Aguas de Manizales	T27A Villahermosa Salida de 6" PVC	651
	T32 La Carola	649
	T36 Caribe II	659
	T27B Villahermosa 6" PVC	652
Yarumos	Distribucion salida de 14 Matadero	628
Q Olivares El Popal	Plan Maestro 1973 16" AC-La Cumbre Sultana	627
Bocatoma Rio Blanco	Aduccion La Ye- Olivares	0
	Aduccion Rio Blanco- Olivares	0
	Aduccion Olivares - Niza	0
El Mirador y Alto de La Coca	Aduccion Rio Blanco- Olivares	0
	Aduccion Las Palomas	0
	Aduccion Pinares	0
Planta Niza	Planta de Tratamiento Niza y aduccion	0

## Zona Oriente

La zona Oriente Abarca desde El sector de Los Rosales, Belén hasta Expoferias, La Enea, La Florida. En cuanto al perímetro urbano es la zona más grande y de mayor longitud total en tubería. La tabla se muestra las estaciones de referencia y los sectores hidráulicos que cada una tiene dentro de su área de influencia.

*Tabla 14 Zona Oriente (elaboración propia a partir del SIG de Aguas de Manizales S.A E.S.P)*

ZONA ORIENTE		
ESTACIÓN	SECTOR HIDRAULICO	NUSH
Q Olivares Bomberos Voluntarios	T 9 Belen	662
Q El Guamo Lavedero Los puentes		662
Hospital de Caldas	Derivacion Cond. El Cable - Fundadores 12" HF	626
	Santisima Trinidad 4" PVC	633
	Circuito la 51	624
Postgrado U Nacional central IDEA	Estadio	12149
	T1 El Cable Salida de 8"	635
	T23B Derivación 14" HF	650
Aguas de Manizales	Bajo Rosales 3" PVC	623
	4" AC La Rambla	621
Q El Perro Expoferias	T23B Derivación 14" HF	650
Niza	T23 Salida de 12" Alta Suiza	647
	T23 Salida de 8"	648
La Nubia Rio Chinchina Bosque Popolar	T33 Enea I	656
Q Critales Valles de Alambra	Tanque Enea III	665
	T34 Enea II	657
Rio chinchiná Bosque Popular y La Nubia	Aducción Romerales y california - Luis prieto	0
	Aduccion Cajones y Chichiná Luis prieto	0

## Zona Sur

La zona sur va desde el barrio Fátima hasta la Vía Panamericana incluyendo los barrios Aranjuez, La Isabela y el Prado. En la tabla 6 se muestra el detalle de las estaciones de referencia para los sectores hidráulicos.

*Tabla 15 Zona Sur (elaboración propia a partir del SIG de Aguas de Manizales S.A E.S.P)*

ZONA SUR		
ESTACIÓN	SECTOR HIDRAULICO	NUSH
Liceo Isabel la Católica El Carmen	Plan Maestro 1992 El Cable - San Antonio 24"	632
Q Palogrande Ruta 30	AC T19 Ondas del Otun	644
Q Palogrande Ruta 30	Circuito Plan Maestro El Cable 20" tanque el prado e Isabela, (ondas de Otún)	625 664 667 644
Hospital de Caldas	T1 El Cable Salida de 14" HF	634
Aranjuez	T10 Adoratrices	637
Q Palogrande terminal	T11 Pio XII	636
	T18 Las Colinas	643

## Infraestructura Crítica

El área de infraestructura de la empresa ha descrito varios elementos de la cadena de valor, los cuales por su importancia en el sistema de acueducto deben de ser prioridad a la hora de desarrollar este protocolo u otras medidas de monitoreo o mitigación. Las aducciones, Plantas de tratamiento y conducciones, así como algunos tanques de compensación son elementos que deben funcionar todo el tiempo. En la tabla 7 se muestra el indicador de disponibilidad de la infraestructura crítica del mes de septiembre de 2017.

*Tabla 16 indicador de disponibilidad de infraestructura Septiembre 2018*

	INDICADOR DISPONIBILIDAD INFRAESTRUCTURA		
	HORAS REALES DE OPERACIÓN (MES)	HORAS PLANEADAS DE OPERACIÓN(M ES)	CALCULO INDICADOR
PLANTA NIZA	720	720	100,00%
PLANTA LUIS PRIETO GOMEZ I	720	720	100,00%

PLANTA LUIS PRIETO GOMEZ II	720	720	100,00%
TANQUE 23	720	720	100,00%
TANQUE DISTRIBUCIÓN	720	720	100,00%
TANQUE CABLE	720	720	100,00%
TANQUE VILLA HERMOSA	720	720	100,00%
TANQUE CHIPRE	720	720	100,00%
CONDUCCION 28"	720	720	100,00%
CONDUCCIÓN 30"	720	720	100,00%
<b>TOTAL PROMEDIO</b>	<b>720</b>	<b>720</b>	<b>100,00%</b>



### **Estaciones de Referencia para la Infraestructura Crítica**

Al igual que con el resto de la infraestructura estos elementos deben estar “amarrados” a una estación de referencia para incluirlos en el monitoreo para las épocas de invierno. En **PLANTA NIZA** está instalada la estación Niza la cual es la estación de referencia para la planta de tratamiento al igual que el **TANQUE 23** y **TANQUE DE DISTRIBUCIÓN**, para La **PLANTA LUIS PRIETO GOMEZ** las estaciones de referencia son La Finca La Paz, y Quebrada Tesorito, para el **TANQUE EL CABLE** las estaciones: Central IDEA y Postgrados Universidad Nacional, para el **TANQUE VILLA HERMOSA**: las estaciones Quebrada Olivares- Aguas de Manizales y Quebrada El Guamo-Lavadero los Puentes, para **EL TANQUE CHIPRE**, la estación Ingeominas y finalmente para las **CONDUCCIONES DE 28 Y 30** Pulgada, Las estaciones Quebrada Cristales, La Nubia, Quebrada El Perro- Expoferias y Niza. Es de resaltar que el tramo de expoferias ya está identificado por parte de la empresa, como de alta vulnerabilidad pues se han presentado diversos procesos erosivos que han puesto en riesgo la estabilidad de esta infraestructura.

## Conclusiones

- Se ha ejecutado la recopilación de una base de datos de variables climáticas reportados para el departamento de Caldas en el período de 1981 y 2010 y se han recopilado datos de las lluvias mensuales acumuladas de estaciones cercanas al sitio de cada evento, con el fin de establecer una relación entre la cantidad de lluvia antecedente y la ocurrencia del deslizamiento, emergencias en las áreas de influencia.
- Se considera que las estaciones hidrometeorológicas son fundamentales para zonificar la infraestructura crítica en épocas de alta pluviosidad, pues los registros de precipitaciones varían notablemente de una estación a otra.
- La implementación de los polígonos de Thiessen fue necesaria para llevar a cabo con eficiencia este trabajo puesto que estos delimitan de forma óptima las zonas de influencia, dejando en la parte central de cada uno la zona de control y ubicando cada zona equidistancialmente a esta zona de control, permitiendo una interpretación más equitativa y poder determinar bien las zonas de alerta.
- Dadas las condiciones geológicas, estratigráficas y morfodinámicas de la ciudad de Manizales, es un territorio con alta susceptibilidad a los deslizamientos lo cual causa afectaciones a las Plantas de tratamiento y demás estructuras pertenecientes al sistema de acueducto y alcantarillado, aumentando dicha susceptibilidad en un rango considerable en épocas de invierno, la puesta en marcha de este protocolo permitirá tomar medidas de

mitigación y de este modo reducir las posibles afectaciones a la infraestructura, vienes privados, personas y continuidad de los servicios públicos prestados por esta entidad.

- La clasificación de la infraestructura de acuerdo a los sectores hidráulicos, es la forma más eficiente de plantear los protocolos de monitoreo, ya que Manizales se divide en cuatro grandes zonas, (Norte, Sur, Oriente y Occidente) las cuales tienen en su área de influencia diferentes barrios y comunas, lo cual que la identificación de la infraestructura susceptible en épocas de invierno.
- Se considera para la ocurrencia de deslizamientos, basado en la lluvia acumulada de 25 días o lluvias de alta intensidad no es solo la causa de los deslizamientos, pues La condición de superación del umbral de lluvia no implica un deslizamiento, pero se dan las condiciones de humedad para que ocurra, teniendo en cuenta el estado del talud o la ladera en cuestión y factores geológicos y antrópicos que condicionen la ocurrencia de los deslizamientos.
- Este protocolo aplica para las alertas generadas por lluvias acumuladas a 25 días ya que es la metodología aplicada actualmente para el Sistema de Alerta Temprana de la ciudad, para las lluvias intensas que generan deslizamientos superficiales aún no se tienen en cuenta en el SAT.
- Una distinción de esta metodología de causas podría conducir a la construcción de un sistema de alerta temprana ante aludes en zonas críticas de Manizales en una plataforma

SIG, favorecida por pluviómetros cercanos a aquellos sitios críticos con la información en tiempo real, para tomar decisiones con anticipación y evitar muertes y daños en infraestructuras.

- Como consecuencia de lo expuesto en este informe, la combinación de factores geomorfológicos, hidráulicos, geológicos y antrópicos en un estudio de modelamiento del fenómeno podría establecer una aproximación a la descripción de las causas de los deslizamientos ocurridos que no responde a lo explicado en este informe.

### Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de este protocolo de manera oportuna, ya que con el paso del tiempo los fenómenos de cambio climático se dan en intervalos más cortos, su predicción es cada vez más compleja, además los periodos de alta pluviosidad son más extendidos, lo que genera que el terreno circundante a la infraestructura de acueducto y alcantarillado sufra daños y se deteriore.
- Partiendo de la base de que no todos los tramos de tubería deben ser tratados de la misma manera, en cuanto a vulnerabilidad. Es necesario incluir otras variables en los análisis como la pendiente del terreno, las formaciones superficiales y el inventario de movimientos en masa. De esta manera se puede llegar a identificar en cada sector hidráulico los tramos o segmentos de red vulnerables a los movimientos en masa.
- Se recomienda establecer terrenos, zonas vulnerables o susceptibles a movimientos en masa o desprendimientos de terreno y de acuerdo a esto crear rutinas de inspección, monitoreo de dichas zonas y planear las medidas de mitigación para estos eventos.
- Se recomienda la implementación de tablas de en las que se incluya la localización exacta de los puntos donde el riesgo sea mayor de acuerdo a la cartografía de POT 2017-2031 las cuales permitirán una reacción oportuna y adecuada dependiendo del riesgo presente en cada zona.



## Bibliografía

- Aguas de Manizales . (s.f.). *Estudio de Vulnerabilidad Tanques*.
- Aguas de Manizales. (s.f.). *Evaluacion del riesgo por deslizamiento en los tanques de aguas de Manizales*.
- Alvaréz, E., & Gonzales, H. (1978). Informe Preliminar de la geología de La Cordillera Occidental.
- BANCO MUNDIAL. (2017). . *Indestructibles: Construyendo la resiliencia de los más pobres frente a desastres naturales*.
- CONGRESO DE COLOMBIA. (2012). LEY 1523.
- Escobar, C. E., & Duque, G. (2016). *Geotecnica para el tropico andino*. Manizales.
- Herrera, J. A. (2009). El Concepto de Pobraza y sus Implicaciones en Colombia.
- Hooke, J. (1996). *GEOLOGICAL AND LANDSCAPE CONSERVATION*.
- IDEA, C. .: (2014). *Conocimiento de riesgo y sistemas de informacion*.
- IDEA; CORPOCALDAS; Universidad Nacional . (2014). *Evaluacion probabilista del riesgo sismico del sistema de Aguas de Manizales*.
- Naranjo, J. L. (1989). *Geologia de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geologicos*. manizales .
- Narváez, L., & Ortega, A. L. (2009). Gestión del Riesgo de Desastres un Enfoque Basado en Procesos.
- OPS(OMS). (1999). Estudio de Caso Terremoto del 22 de abril de 1991 - Limón, Costa Rica.
- Pizarro, R. (2001). La Vulnerabilidad Social y sus desafíos: una mirada desde América Latina. *Naciones Unidas*.
- PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. (2017). DECRETO 2157.
- Rebotier, J., Peláez, J. L., & Pigeon, P. (2013). Las paradojas de la resiliencia: miradas cruzadas entre colombia y francia. 127-145.
- Serna, J., & Carrizosa, M. (2015). *ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA DE LA REGIÓN DEL EJE CAFETERO Y ZONAS ALEDAÑAS*. Manizales .
- Servicio Geologico Colombiano. (2015). *MAPA GEOLOGICO DE COLOMBIA*.
- SIAC. (06 de 11 de 2018). *SIAC*. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/web/siac/ninoynina>.
- SIMAC. (20 de 02 de 2019). *Gestión del Riesgo*. Obtenido de [http://www.gestiondelriesgomanzales.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=146](http://www.gestiondelriesgomanzales.com/index.php?option=com_content&view=article&id=146)
- UNAL. (20 de 02 de 2019). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co>
- UNGRD. (s.f.). Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/SAT.aspx>

UNGRD. (2014). *herramienta metodologica para la formulación de programas de gestion del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo.*

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2016). *Guia para la impremenctacion de sistemas de alerta temprana.* bogotá.

Uribe, C., & Orozco, J. (2017). *Analisis de Suceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en el sector comprendido entre Malteria y La Esperanza Escala 1:25000.* Manizales.

wikipedia. (06 de 11 de 2018). *wikipedia.* Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/La\\_Ni%C3%B1a\\_\(clima\)](https://es.wikipedia.org/wiki/La_Ni%C3%B1a_(clima))