

**ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS RETROSPECTIVO Y PROPUESTA ECO-
AMBIENTAL PARA LA SOLUCIÓN DE LA CÁRCAVA EL TABLAZO
UBICADA AL SUR OCCIDENTE DEL MUNICIPIO DE MANIZALES**

GHIOVANNA MARCELA MUÑOZ RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES
2015**

**ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS RETROSPECTIVO Y PROPUESTA ECO-
AMBIENTAL PARA LA SOLUCIÓN DE LA CÁRCAVA EL TABLAZO
UBICADA AL SUR OCCIDENTE DEL MUNICIPIO DE MANIZALES**

GHIOVANNA MARCELA MUÑOZ RODRÍGUEZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR A EL TITULO DE
GEÓLOGA

DIRECTOR

FERNANDO DE JESÚS SANCHEZ ZAPATA

Ing. Geólogo, Especialista en Geotecnia

ASESOR

GERMÁN ANDRÉS GARZÓN ARIAS

Geólogo

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES
2015**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director
Manizales, Febrero de 2015.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ingeniero Geólogo y profesor, Fernando de Jesús Sánchez Zapata, por la oportunidad brindada y su colaboración desinteresada, y al Geólogo Germán Andrés Garzón Arias por su compromiso para con el trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ANEXOS	10
INTRODUCCIÓN	11
JUSTIFICACIÓN	12
1. GENERALIDADES.....	13
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo general.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
1.2 METODOLOGÍA	14
1.2 .1 Revisión bibliográfica	14
1.2 .2 Trabajo de campo	14
1.2 .3 Análisis de datos.....	14
1.2 .4 Procesamiento software.....	14
1.2 .5 Elaboración del informe final.....	15
1.3 LOCALIZACIÓN	15
2. ANÁLISIS RETROSPECTIVO	17
2.1 ESTRUCTURAS INGENIERILES	18
2.1.1 Pantalla pasiva	18
2.1.2 Pernos	19
2.1.3 Drenes	20
2.1.4 Canales recolectores de agua	20
2.1.5 Diques de sedimentación	21
2.2 FOTOINTERPRETACIÓN.....	23
2.2.1 Fotointerpretación Año 2007	24
2.2.2 Fotointerpretación Año 2008	25
2.2.3 Fotointerpretación Año 2010	26
2.2.4 Fotointerpretación Año 2014	27
3. GEOLOGÍA	30
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	30
3.1.1 Complejo Quebradagrande	30
3.1.2 Formación Manizales.....	31
3.1.3 Formación Casabianca.....	31

3.1.4	Depósitos Cuaternarios	32
3.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	33
3.2.1	Complejo Quebradagrande	33
3.2.2	Formación Casabianca.....	34
3.2.3	Depósitos de Caída Piroclástica.....	35
3.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	36
3.3.1	Marco tectónico regional.....	36
3.3.2	Marco tectónico local.....	37
3.4	HIDROGEOLOGIA.....	39
4.	ESTEREOGRAFÍA.....	40
5.	GEOMORFOLOGÍA.....	46
5.1	PROCESOS EROSIVOS	46
5.1.1	Erosión pluvial	47
5.1.2	Erosión por escorrentía	47
5.1.3	Erosión por escurrimiento difuso	47
5.1.4	Erosión laminar.....	48
5.1.5	Erosión en surcos	48
5.1.6	Erosión en cárcava	49
5.2	MOVIMIENTOS EN MASA.....	53
5.2.1	Deslizamientos traslacionales	54
5.2.2	Deslizamientos rotacionales	55
5.2.3	Deslizamientos diédricos	55
5.2.4	Deslizamientos planares.....	56
5.2.5	Caída de bloques.....	56
5.2.6	Flujos.....	57
5.3	MORFOMETRIA	59
5.3.1	Pendientes bajas	59
5.3.2	Pendientes medias	60
5.3.3	Pendientes altas	60
5.3.4	Pendientes muy altas	60
6.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	61
6.1	Años 2008 – 2010	62
6.2	Año 2011.....	63

6.3	Año 2012.....	64
6.4	Año 2013.....	65
6.5	Año 2014.....	66
7.	SOLUCIÓN ECO-AMBIENTAL	67
7.1	DISEÑO ECO-AMBIENTAL	68
7.1.1	Construcción de Trinchos Vivos	68
7.1.2	Construcción de Filtros Vivos	70
7.1.3	Biota	72
8.	PRESUPUESTO	73
9.	CONCLUSIONES	78
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	16
Figura 2. Pantalla.....	18
Figura 3. Perno.....	19
Figura 4. Drenes.....	20
Figura 5. Canales recolectores de agua.....	21
Figura 6. Secuencia evolutiva dique de sedimentación I.....	22
Figura 7. Diques de sedimentación I y II.....	22
Figura 8. Diagrama 3D de la zona de estudio.....	23
Figura 9. Imagen satelital de la zona de estudio Año 2007.....	24
Figura 10. Aerofotografía digital de la zona de estudio Año 2008.....	25
Figura 11. Fotografía aérea digital de la zona de estudio Año 2010.....	26
Figura 12. Sección ortofotomapa de la zona de estudio Año 2010.....	27
Figura 13. Imagen satelital de la zona de estudio Año 2014.....	27
Figura 14. Tabla del cálculo del área de la Cárcava el Tablazo.....	28
Figura 15. Complejo Quebradagrande.....	33
Figura 16. Formación Casabianca.....	34
Figura 17. Depósitos de caída piroclástica.....	35
Figura 18. Reconstrucción paleogeográfica del Nor-Occidente de Suramérica para la mitad del Eoceno.....	36
Figura 19. Mapa de fallas y lineamientos de la ciudad de Manizales.....	37
Figura 20. Trazos de fallas en la zona de estudio.....	38
Figura 21. Zona de falla.....	38
Figura 22. Ubicación de las tres principales laderas de la Cárcava El Tablazo.....	40
Figura 23. Tabla de pendientes en porcentajes de la zona de estudio.....	41
Figura 24. Tabla de las diaclasas en la zona de estudio.....	41

Figura 25. Estereografía de la ladera Occidental.....	43
Figura 26. Estereografía de la ladera Norte.....	44
Figura 27. Estereografía de la ladera Oriental.....	45
Figura 28. Erosión por escurrimiento difuso.....	48
Figura 29. Erosión en surcos.....	49
Figura 30. Erosión en cárcava.....	50
Figura 31. Agrietamiento del terreno.....	53
Figura 32. Deslizamientos traslacionales.....	54
Figura 33. Deslizamiento rotacional.....	55
Figura 34. Deslizamiento diédrico.....	56
Figura 35. Caída de bloques y flujo de detritos.....	58
Figura 36. Mapa de pendientes en grados del área de estudio.....	59
Figura 37. Corte esquemático en sentido N-S del área de estudio.....	60
Figura 38. Cuadro de las características máximas de lluvias en Manizales.....	62
Figura 39. Características de lluvias en Manizales para el año 2011.....	63
Figura 40. Características de lluvias en Manizales para el año 2012.....	64
Figura 41. Características de lluvias en Manizales para el año 2013.....	65
Figura 42. Características de lluvias en Manizales para el año 2014.....	66
Figura 43. Fórmula para el espaciamiento entre trinchos.....	69
Figura 44. Esquema de la implementación adecuada de trinchos vivos.....	70
Figura 45. Esquema de la implementación adecuada de filtros vivos.....	71

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Mapa Geológico de la zona de estudio.
- Anexo 2. Mapa de Pendientes en porcentaje de la zona de estudio.
- Anexo 3. Mapa de Fallas y Lineamientos de la zona de estudio.
- Anexo 4. Clasificación de los movimientos en masa.
- Anexo 5. Columna Estratigráfica de la zona de estudio.
- Anexo 6. Diseño Eco-Ambiental área total.
- Anexo 7. Secuencia Diseño Eco-Ambiental
- Anexo 8. Diseño Eco-Ambiental 1 Año de recuperación.
- Anexo 9. Diseño Eco-Ambiental 3 Años de recuperación.

INTRODUCCIÓN

La cárcava El Tablazo está ubicada en el Municipio de Manizales Caldas, entre las coordenadas 5° 02' 20" y 5° 03' latitud Norte, y 75° 32' 10" y 75° 32' 40" longitud Oeste.

Con un avance diario, debido a acciones de procesos naturales que aumentan su expansión, esta cárcava se convierte en una de las más extensas de la región central del país, con un área aproximada de 30 hectáreas y una capacidad de extensión a más de 60ha, en toda su zona de influencia delimitada por la cuenca de la Quebrada El Salado y sus tributarios.

La cuenca de la Quebrada El Salado con uso de suelos destinados a café, tiene una localización estratégica si se tiene en cuenta que por su área de influencia se establece infraestructura de importancia para la región, como las vías Manizales - Pereira y Manizales – Medellín; el oleoducto de occidente, redes de acueducto y líneas de transmisión eléctrica.

La actividad erosiva severa de la cárcava cuenta con más de 40 años, profundizando la red de drenaje hasta niveles que llevan al desconfinamiento del macizo rocoso que soporta las laderas y a la migración lateral del cauce, acciones detonantes de movimientos en masa, que afectan de forma directa zonas de la veredas El Alto Tablazo, Guacas y el Aventino, y el barrio Gutiérrez con taponamiento y derrumbamiento de vías, viviendas, establecimientos comerciales y áreas de cultivos, entre otros.

JUSTIFICACIÓN

Manizales es una ciudad de laderas, que ocupa el territorio de arriba hacia abajo y empieza a generar presión sobre los bosques andinos y drenajes de la vecindad; está ubicada en una zona de alto riesgo sísmico y geotectónico, específicamente las conducciones que avanzan sobre laderas inestables con actividades antrópicas intensas. La ciudad está en el medio ambiente del trópico andino, donde el clima y la particular circunstancia de los suelos residuales le imponen condiciones a un territorio de pendientes vulnerables, máxime si se trata de compartir escenarios afectados por procesos urbanos.

El sector conocido como el Tablazo, localizado al S-W de la ciudad de Manizales, presenta una topografía fuerte y abrupta producto de la incisión de los cauces y a la cercanía con el sistema de fallas Romeral, siendo estos factores inherentes a la degradación del terreno; la Cárcava El Tablazo acarrea consigo procesos de erosión severa, erosión hídrica, fluvial y movimientos en masa, que comprometen grandes volúmenes de material, el invierno acelera los procesos de las unidades de suelo y roca afectando aún más las laderas y sus ocupantes poniéndolos en una situación de amenaza continua.

Este escenario amerita satisfacer la necesidad que demanda el terreno; por tal motivo es necesaria la aplicación de técnicas adecuadas basadas en un estudio Geológico para esta sección del S-W de Manizales, brindando de esta manera una solución basada en una propuesta eco-ambiental que solvete la situación actual de la cárcava y su proyección a futuro de manera preventiva.

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Realizar la actualización del análisis retrospectivo de la cárcava El Tablazo para determinar su evolución a través del tiempo, y proponer una solución eco-ambiental para mitigar los procesos erosivos y generar su auto-recuperación.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las características geológicas, estratigráficas y estructurales de los materiales que conforman la ladera donde se localiza la cárcava.
- Determinar los procesos erosivos y movimientos en masa más recientes.
- Establecer las condiciones actuales y funcionamiento de las obras de contención implementadas.
- Elaborar el diseño digital de la solución eco-ambiental para la cárcava exhibiendo su área total con la implementación de las técnicas de control hidráulico de aguas y revegetalización.
- Realizar el presupuesto del costo total de la propuesta eco-ambiental
- Proponer esta solución a la ciudad de Manizales.

1.2 METODOLOGÍA

1.2.1 Revisión bibliográfica

Se desarrolló principalmente por consulta de planchas topográficas y fotografías aéreas-satelitales para la localización y determinación de la zona de estudio y el análisis preliminar e interpretación de la información preexistente.

Se recopiló trabajos realizados por estudiantes de las universidades locales y de las entidades gubernamentales y privadas referentes a los procesos e intervenciones que se han realizado en esta sección de Manizales, como también la recolección de diferentes bases de datos tanto físicas como digitales de la zona de trabajo; además de metodologías para trabajo en campo relacionadas con los temas específicos tratados en este estudio.

1.2.2 Trabajo de campo

Esta etapa se basó en el desarrollo práctico de campo, para el reconocimiento, descripción y clasificación de los criterios geológicos, con el fin de analizar las características físicas de la región y la intervención de los diferentes factores que influyen en el entorno, para la caracterización y levantamiento del estado actual de las laderas y de los procesos que intervienen en la cárcava.

Se revisó los trabajos correctivos que se han hecho en esta ladera y como ha sido su funcionamiento. En el área se estableció una posible solución ambiental para mitigar la vulnerabilidad de las laderas y de los procesos que involucran el avance de la cárcava.

1.2.3 Análisis de datos

El método implementado fue el análisis retrospectivo; con el cual, a través de la correlación de todos los elementos desarrollados en trabajo de campo y de consulta bibliográfica (fotografías aéreo-satelitales y mapas), se pudo determinar los criterios geológicos, estructurales y ambientales para el planteamiento de la solución ecológica, donde se expone los resultados del razonamiento ambiental aplicado según la dinámica del área de estudio.

1.2.4 Procesamiento software

Esta etapa se desarrolló a través los programas software tecnificados con GPS, bases de datos digitales, fotografías satelitales y aéreas; realizando el diseño computarizado del área que involucra la Cárcava El Tablazo por medio de la aplicación de sistemas operativos como ArcMap, Autocad y Surfer; con los cuales se diseñó el esquema ambiental sobre el área demandante, para proyectar los diferentes perfiles de solución implementada a través de las técnicas de control de aguas y revegetalización con materiales “vivos”, es decir

estructuras obtenidas a través de recursos naturales como guadua y vegetación apta para cubrir la necesidad del terreno.

1.2.5 Elaboración del informe final

Se realizó el texto final donde expone los resultados obtenidos, al satisfacer los objetivos para los cuales se realizó el estudio. Se implementaron imágenes y figuras que acompañadas del análisis escrito, sintetiza el presente estudio.

1.3 LOCALIZACIÓN

La ciudad de Manizales se encuentra en la esquina noroccidental de Sur América, en el occidente colombiano, en la Cordillera Central en el Departamento de Caldas; está delimitada por las siguientes coordenadas geodésicas con origen Bogotá:

$$X = 835.000 - 850.000$$

$$Y = 1.045.000 - 1.057.000$$

El área de estudio se localiza al sur occidente de la ciudad de Manizales a 1998 m.s.n.m., específicamente en el flanco occidental del Río Chinchiná, en la cuenca de la Quebrada el Salado (correspondiente al sector El Tablazo), con una extensión de 30 hectáreas (ha). Su ubicación es $5^{\circ} 02' 20''$ - $5^{\circ} 03' 20''$ latitud Norte y $75^{\circ} 32' 10''$ - $75^{\circ} 32' 40''$ longitud Oeste; y con las siguientes coordenadas geodésicas (figura 1):

$$X = 837.171\text{m} - 838.401\text{ m}$$

$$Y = 1\text{`}049.516,5\text{ m} - 1\text{`}048.636,5\text{ m}$$

Consignadas en las planchas topográficas número 206-III-C y 206-III-D-1 del IGAC a escala 1:10.000 del año 2004.

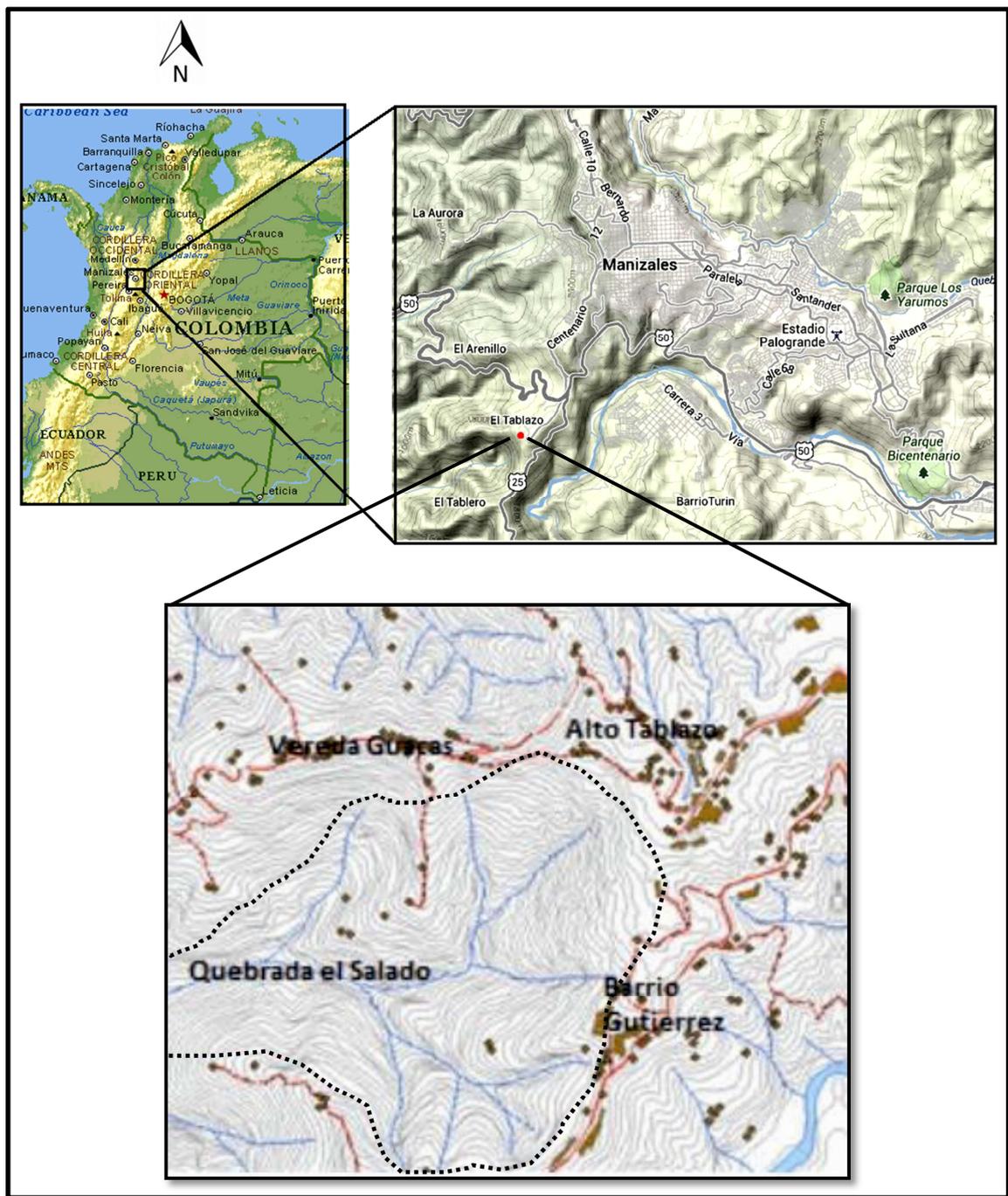


Figura 1. Localización del área de estudio. Punteado se delimita aproximadamente el área de la Cárcava El Tablazo.

2. ANÁLISIS RETROSPECTIVO

El análisis retrospectivo a través del registro fotográfico, determina los parámetros antes, durante y después, teniendo en cuenta las variables como clima, litología, tectónica, geomorfología, erosión, movimientos en masa e intervención antrópica. Mediante este análisis se define la dinámica evolutiva de la cárcava El Tablazo a través del tiempo y los aspectos ambientales en pro a su solución.

La cárcava El Tablazo abarca gran parte del extremo occidental de las laderas de Manizales, la cual está ampliándose, migrando lateralmente y profundizándose continuamente; ello evidencia que éste es un proceso activo que seguirá expandiéndose y consumiéndose progresivamente el terreno.

Uno de los limitantes principales en la regulación de cárcavas remontantes son los costos de su control cuando la solución se direcciona hacia la Ingeniería convencional con estructuras elaboradas en concreto, por el desconocimiento de otras soluciones alternas, eficientes y de menor costo, como lo son los tratamientos de tipo biológico. Entre los años 2006 y 2007 se realizaron obras civiles, las cuales pretendían estabilizar y controlar el cauce principal por medio de diques de sedimentación en concreto ciclópeo con vertedero hidrodinámico; estos diques tiene una altura de 20 metros, es de anotar que estas estructuras construidas requirieron de altos costos económicas de infraestructura e implementación; en el año 2011 se continuo con el esquema ingenieril en concreto realizando una serie de pantallas pasivas y pernos de anclaje.

Actualmente en el área de estudio dichas obras realizadas, se encuentran deterioradas y casi todas inservibles, es decir, que no cumplieron el objetivo para las cuales fueron construidas; la inestabilidad y profundización de la cárcava continua, a medida que esta sigue su actividad erosiva las obras se rompen, se dañan y son cedidas del terreno por los deslizamientos; la problemática del control de drenajes sigue y es evidente en todo el área afectando toda sus zonas de influencia y aledañas, convirtiéndose en una amenaza para la ciudad de Manizales.

La solución eco-ambiental refiere a la regulación y prevención, a través técnicas de control hidráulico de aguas, estabilización de taludes, movimientos masales, y de revegetalización del terreno, para que la misma cárcava se auto-soporte y recupere; se busca que estos tratamientos se conviertan a través del tiempo, en obras vivas no percederas y que estén acordes con el entorno natural, sin causar impacto ambiental negativo.

2.1 ESTRUCTURAS INGENIERILES

2.1.1 Pantalla pasiva

Estructura ubicada en la parte superior de la cárcava El Tablazo, está elaborada en concreto y con forma de pared sub-vertical de dimensiones aproximadas de 3.5 m de alto y 42° de inclinación. (Figura 2).

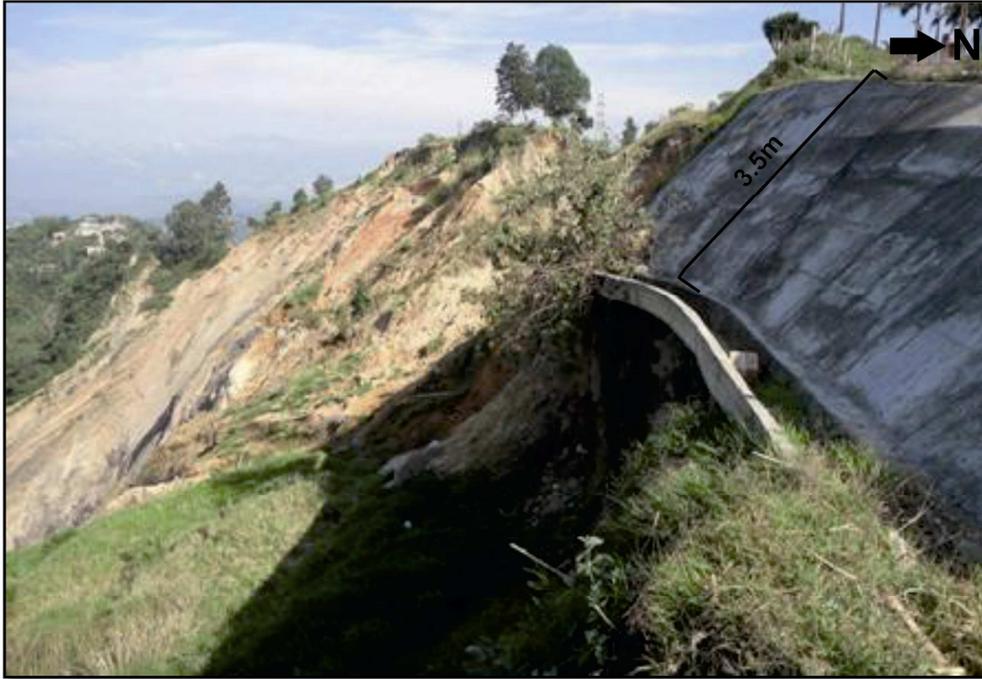


Figura 2. Pantalla. En la parte inferior canal de control de aguas, debajo de él erosión de sus soportes.

Estas pantallas son resistentes y su objetivo es evitar que los terrenos sigan cediendo, actuando como una pared impermeable impidiendo la inestabilidad de la zona y la filtración de aguas lluvias y de escorrentías; posee una canaleta en su parte inferior para canalización de dichas aguas. En la zona se ven fallas técnicas de dicha estructura debido a que la pantalla no cumple con su objetivo, ya que hacia sus costados sigue filtrando las aguas, su canal relector de aguas está taponado con vegetación y basuras, otras se hallan fracturadas, de manera tal que la erosión y movimientos masales continúan.

2.1.2 Pernos

se trata de una estructura elaborada en concreto que se ancla al terreno, por medio de un tubo metálico que sale a la superficie, localmente poseen un patrón de forma cúbica y tienen unas medidas aproximadas de 2.0m x 2.0m; el propósito de los pernos es estabilizar los taludes con el drenado de agua escorrentía. Su distribución espacial trata de seguir paralelamente la corona de la cárcava desde el NW al SE; se observaron 8 pernos, 6 de los cuales están dañados, fracturados, movidos de su lugar original y/o otros rotos; lo anterior es evidencia de que estas estructuras ingenieriles no son aptas para la solución a la problemática de esta área, debido a la naturaleza de su material es cedido del terreno ya que no se ajusta ni se integra a este mismo. (Figura 3).



Figura 3. Perno. Se encuentra removido del terreno y en su parte de atrás resquebrajado.

También es de notar el uso del pasto Vetiver como planta matriz para el control de erosión, estabilización de taludes y control de flujos; distribuido principalmente en la parte superior de la cárcava.

2.1.3 Drenes

Son tubos de diferentes longitudes aproximadamente de 1 pulgada y 2 m que se eyectan sobre el terreno, dejando un parte sobresaliente, con la finalidad de drenar el agua sub-superficial del terreno, principalmente de la parte alta de la zona de estudio; en varios sectores se observó de ellos escasa salida de agua, la cual cae de nuevo directamente sobre la ladera en la parte inmediatamente más baja de donde se localizan los drenes. (Figura 4).



Figura 4. Drenes. Sobre la parte superior de la cárcava estas estructuras se observan aleatoriamente sobresaliendo del terreno y con escasa salida de agua.

2.1.4 Canales recolectores de agua

Corresponden a construcciones elaboradas en dos diferentes materiales, saco en suelo (costal relleno) y en concreto sin disipadores; su función es la de controlar y encausar las aguas (lluvias y escorrentía) mal drenadas en el territorio. Estas estructuras están dispuestas transversales al talud, en dirección NW de la corona de la cárcava en inmediatez a la vereda Guacas; se observa que no cumplen con el objetivo, ya que se detectó que las aguas se desvían y no se encausan por dichos canales y siguen estando mal drenadas afectando las fincas cafeteras aledañas. (Figura 5).



Figura 5. Canales recolectores de agua. En la zona inferior de la foto geotextil y en la superior canales en saco suelo, el agua se desvía de ellos formando surcos en el terreno.

2.1.5 Diques de sedimentación

Estas obras fueron realizadas entre los años 2006 y el 2007 con un alto costo de implementación; consisten en una construcción de 3 diques de sedimentación en concreto ciclópeo con vertedero hidrodinámico, tienen una altura de 20 metros.

Su función es estabilizar y controlar el cauce principal; estas estructuras localizadas hacia la base de la Cárcava El Tablazo, se encuentran que actualmente no cumplen con lo que se pretendía, ya que estas en su parte superior presentan derrumbamiento y remoción de material por parte del cauce de la quebrada El Tablazo, además de presentar agrietamientos debido a movimientos masales. El cauce principal continúa su profundización y laterización, (Figura 7).

Actualmente estas enormes estructuras se encuentran muy erosionadas, derrumbadas y en estado de abandono ya que no existe seguimiento ni regulación por parte de las entidades correspondientes, (Figura 6).

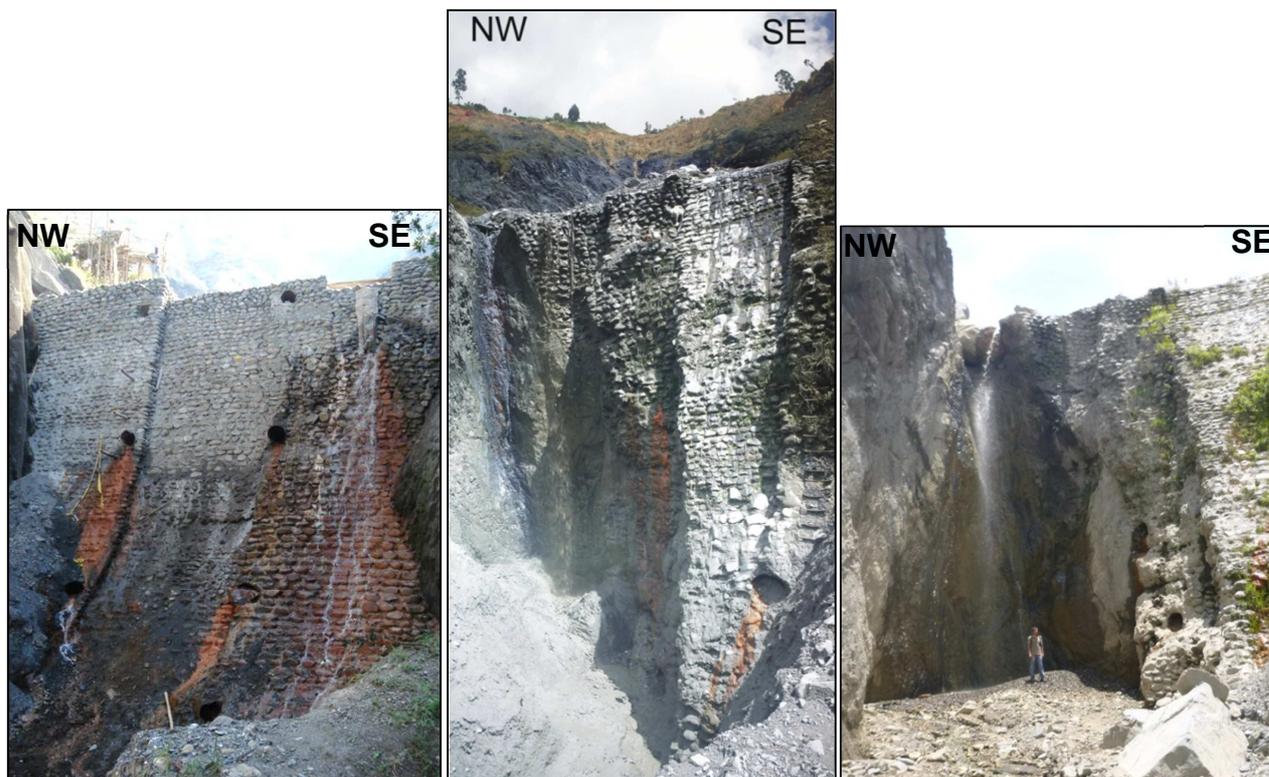


Figura 6. Secuencia evolutiva dique de sedimentación I en el tiempo. Izquierda, año 2008 su construcción. Centro, año 2010, la erosión en la parte alta removió material y desencausó las aguas. Derecha, se observa en dirección NW el flujo descontrolado de las aguas que desgastan la superficie removiéndola y arrastrando material hacia al cauce principal.

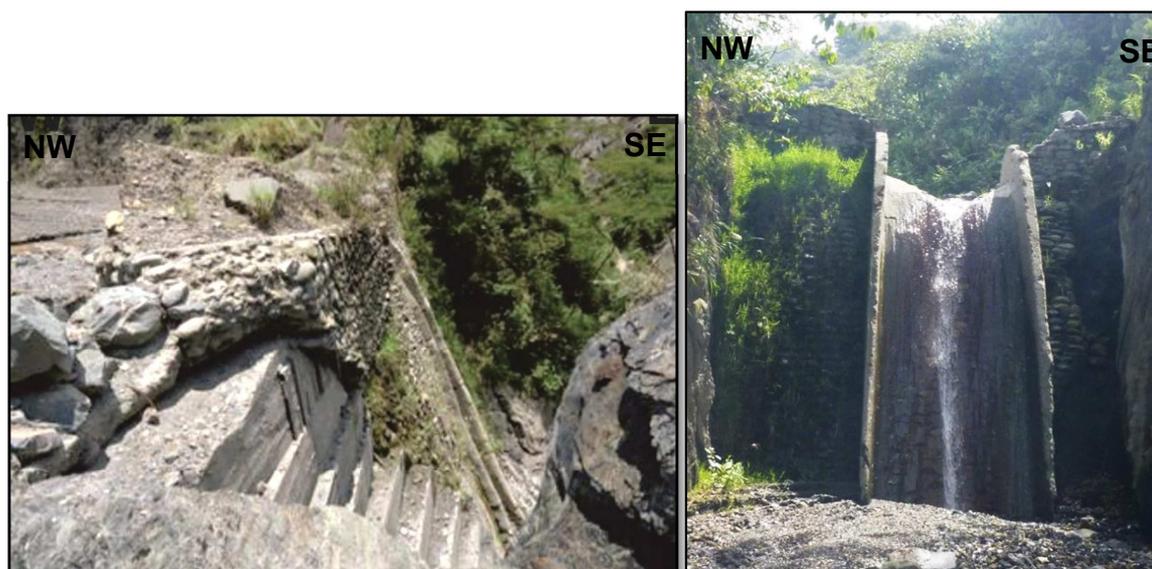


Figura 7. Diques de Sedimentación II y III. Izquierda dique II, en su parte superior derecha flujo de detritos y remoción lateral de su superficie, arrasando material hacia el cauce. Derecha dique III, encausa las aguas provenientes de las partes altas de la ladera que traen consigo flujos de detritos, lodo y material removido de los diques superiores, en la desembocadura se erosiona y amplía el canal del cauce principal.

2.2 FOTOINTERPRETACIÓN

En el presente trabajo se realizó fotointerpretación a través de fotografías satelitales en algunos intervalos del lapso de los años 2007 - 2014, principalmente se analizó la actividad de los cauces, cauce Barrio Gutiérrez, cauce vereda Guacas y la quebrada El Tablazo (cauce principal), los procesos erosivos evidentes y la expansión de la Cárcava El Tablazo para realizar el cálculo del área mediante el software Arcgis versión 10.2.1 y determinar su evolución e impacto en la actualidad y a futuro, (Figura 8). Las fotografías analizadas fueron las siguientes:

- Imagen satelital del año 2007 tomada del Geoportal del IGAC.
- Aerofotografía digital 17001000151010112008-955c.TIF Municipio de Manizales del año 2008, adquirida en el IGAC Territorial Caldas.
- Fotografía Aérea Digital 0401003000029737 formato Tiff del año 2010, tomada del BNI (BANCO Nacional de Imágenes IGAC).
- Ortofotomapa del Municipio de Manizales Territorial Caldas, 2010.
- Imagen satelital del año 2014 tomada de Geoeye, I-cubed mediante enlace de yahoo maps.

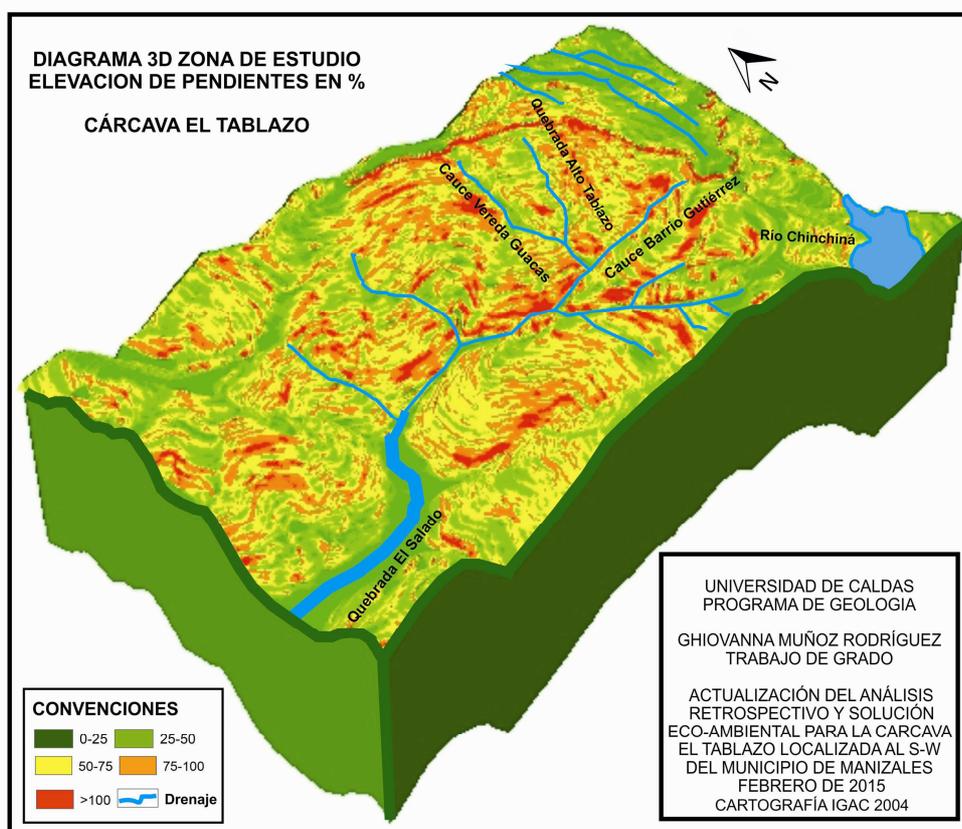


Figura 8. Diagrama 3D de la zona de estudio. Elevación en porcentajes; el modelo exhibe los cauces de la Cárcava El Tablazo.

2.2.1 Fotointerpretación Año 2007



Figura 9. Imagen satelital de la zona de estudio año 2007.

En esta fotografía se observa que la antigua vía que comunicaba el Alto Tablazo con la vereda Guacas ya se deslizó totalmente, fue absorbida y removida por los procesos erosivos que expanden el área de la cárcava; Es notorio que el asentamiento poblacional ya no se concentra cerca a las laderas de la cárcava como lo era antes. Para este año la corona de la cárcava presenta un avance en dirección norte; los 3 cauces (cauce Barrio Gutiérrez, Vereda Guacas y quebrada El Tablazo) se notan con desprotección de vegetación, observándose que el cauce B. Gutiérrez ha sido el que ha tenido mayor profundización y socavación lateral, generando debilidad en la ladera, susceptible a movimientos en masa, provocando más inestabilidad del talud, (Figura 9). El cálculo del área de la cárcava El Tablazo para este año fue de 229837.58 m^2 .

2.2.2 Fotointerpretación Año 2008

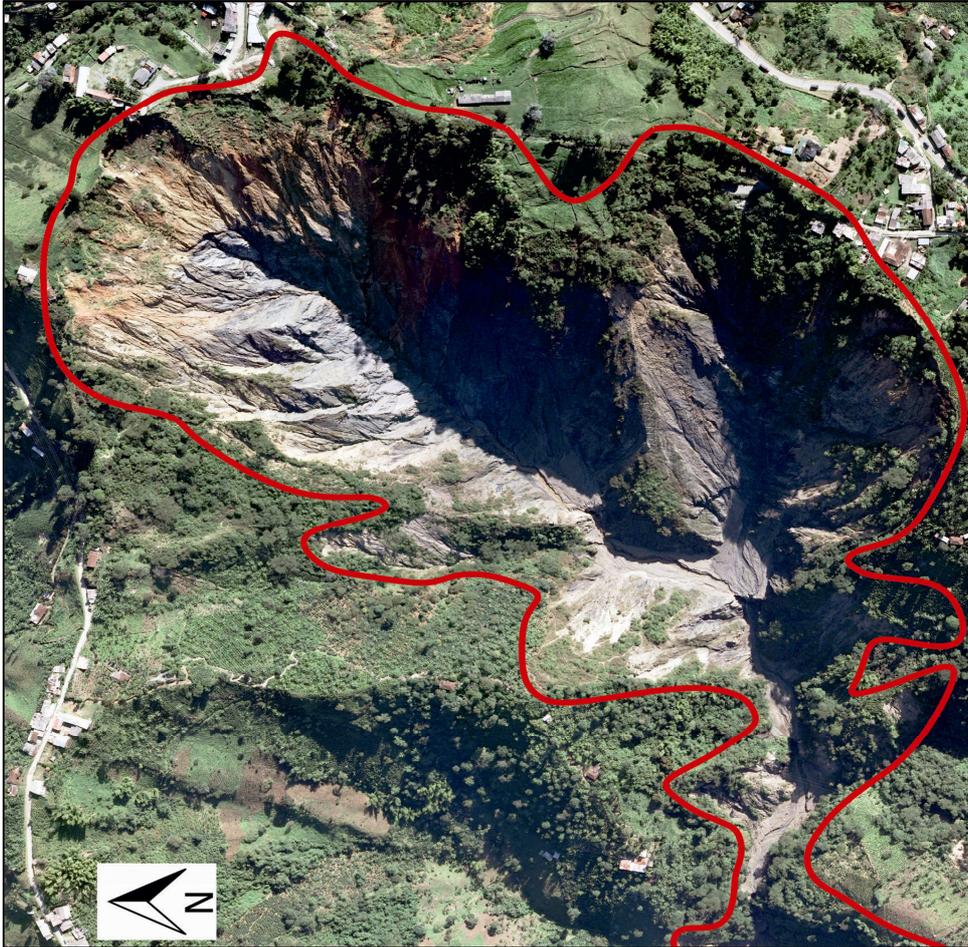


Figura 10. Aerofotografía digital de la zona de estudio año 2008.

En la fotografía se observa un aumento preferencial en el ala sur-oriental de la cárcava, afectando principalmente las vereda El Aventino y el barrio Gutiérrez, este proceso corresponde a erosión en cárcava, el cual acelera la expansión de su área, acompañada de deslizamientos y movimientos en masa; es de anotar que entre el cauce del Barrio Gutiérrez y la quebrada El Tablazo hay una socavación que forma un nuevo drenaje, hacia el final del lecho del cauce principal (quebrada El Tablazo) se percibe un aumento del canal por procesos de socavación lateral. En dirección norte de la cárcava se advierte el continuo aumento de la corona principalmente hacia el costado oeste afectando la vereda Guacas. La desprotección vegetal nuevamente es el común denominador año a año (Figura 10); el cálculo del área de la cárcava El Tablazo para este año fue 238645.19 m².

2.2.3 Fotointerpretación Año 2010



Figura 11. Fotografía aérea digital de la zona de estudio año 2010.

En la fotografía se observa un crecimiento general del área de la cárcava, la cual se “remonta” sobre sus zonas contiguas, ocasionando a la vez que se colapsen y generen nuevos movimientos masales, La cárcava se expande cada vez más hacia la vereda Guacas al nor-occidente.

Se avista que en los dos laterales de la cárcava (oeste – este) la porción vegetativa disminuye sectorialmente provocando inestabilidad del talud, (Figura 11). El cálculo del área fue 250739.92 m².

En el acercamiento que se muestra a continuación de la porción norte de la corona de la cárcava, exalta como esta cabalga hacia la parte residual de la carretera deslizada, ampliando su pendiente y por ende su inminente deslizamiento provocando a futuro la desaparición total de la vía que anteriormente comunica las veredas El Alto Tablazo y Guacas, (Figura 12).



Figura 12. Sección ortofotomapa de la zona de estudio año 2010.

2.2.4 Fotointerpretación Año 2014



Figura 13. Imagen satelital de la zona de estudio año 2014.

En esta fotografía se aprecia como las edificaciones que se encontraban al borde norte de la corona de la cárcava ya no se encuentran, debido a que estas se deslizaron a causa de movimientos en masa que provocaron que el terreno cediera arrasando consigo viviendas y establecimientos comerciales de la vereda El Alto Tablazo. Se observa en el interior de la cárcava y hacia sus costados la escasa vegetación y en sentido sur la profundización y ampliación del canal de su cauces. Quizás la parte más notoria es la adición de un ala en dirección nor-occidental, inmediata a la vereda Guacas presentando erosión en cárcava y aumentando su extensión, el caculo del área para este último año fue de 28.279047m².

A continuación se tabulan los datos del área de la Cárcava El Tablazo, obtenidos a través de la fotointerpretación:

Año	Área m ²	Hectáreas (ha)	Incremento/ Decrecimiento entre años +/-	*Aumento/ Disminución %
1970	190411.680	19.0411680		
1987	185444.587	18.5444587	- 0.4967093 ha	- 2.6086
1993	171052.834	17.1052834	- 1.4391753 ha	- 10.1810
2007	229837.585501	22.9837585501	+ 5.87847515 ha	20.7056
2008	238645.190552	23.8645190552	+ 0.88076050 ha	25.3311
2010	250739.923804	25.0739923804	+ 1.22880183 ha	31.6830
2014	282790.476060	28.2790476060	+ 3.20505468 ha	48.5152

Figura 14. Tabla del cálculo del área de la Cárcava El Tablazo. La división en la tabla indica que los tres primeros años se tomaron de los registros de Botero y Garzón (2010). Los cuatro últimos registros se midieron en el presente trabajo.* El aumento en % del área de la Cárcava El Tablazo, tomo con base en el registro más antiguo del área, 190411.680 m²; medido en fotografía aérea Vuelo SA-104-F8, del año 1970 a escala 1:10000, fotos 043, 044, en Botero y Garzón (2010).

Se puede concluir entonces, que la Cárcava El Tablazo desde el año 1970 hasta 1993 se conserva manteniéndose estable y presentando auto recuperación en sus laderas; para el año 2007 se observa un aumento del 20.7% de su área, indicando que con el aumento de la intervención antrópica la ladera aceleró su proceso de incisión y expansión.

En el año 2008 la cárcava presenta un aumento areal del 4.62% con respecto al año anterior (2007), es decir, 0.9 ha en un año, es un aumento alto teniendo en cuenta que ha transcurrido solo un año; mientras que en el lapso 2008-2010 tuvo un incremento del 6.35%, ósea que amplió su área 1.2 ha en dos años. El lapso entre los años 2010 – 2014 presenta un incremento del 16.83%, es decir que el área de la cárcava se amplió a 3.2 ha en 4 años.

Se puede inferir entonces, un promedio anual de aumento del área de la Cárcava El Tablazo, basado en los últimos 7 años (2007-2014) de 0.76 ha/año (Figura 14); el cual, obviamente está sujeto a presentar aumento o disminución año a año según las variables clima, precipitaciones, vientos e intervención antrópica entre otras, que pueden o no acelerar los procesos de degradación de la cárcava influyendo directamente en su expansión areal y por ende en la amenaza que esto representa para los pobladores de las zonas aledañas a la cárcava.

Esta proyección a futuro de la expansión de la cárcava es alarmante y crítica sobre todo para las temporadas invernales con fuertes y continuas precipitaciones que se presentan en el Municipio de Manizales, principalmente para las veredas inmediatas a sus laderas como lo son Guacas, El Tablazo y El Aventino, y el barrio Gutiérrez; el terreno que ocupa estas localidades está en amenaza continua de sufrir deslizamientos y avalanchas, representando un riesgo inminente para sus habitantes y pertenencias como ya ha sucedido antes.

La pérdida real de infraestructura que se tiene sobre toda la zona de influencia de la cárcava el tablazo corresponde principalmente a la desaparición de parte de la malla vial que comunica las veredas El Alto Tablazo y Guacas, 7 ha aproximadamente de cafetales de la V. Guacas y 5 viviendas de allí mismo; 6 edificaciones de la vereda El Alto Tablazo, 2 de ellas correspondientes a establecimientos comerciales y otra vivienda comercial (tienda); 1 vivienda del barrio Gutiérrez.

3. GEOLOGÍA

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Los Andes colombianos se encuentran formados por cuatro ejes montañosos, las cordilleras Oriental, Central, Occidental y la Serranía del Baudó, están separadas entre sí por los valles del Magdalena, Caúca, Atrato y San Juan. La ciudad de Manizales está localizada en las estribaciones de la cordillera Central siendo atravesada y rodeada por un denso sistema de fallas que ejercen un control estructural caracterizado por profundas disecciones de los cauces circundantes y pendientes muy fuertes, en cercanías a un conjunto de volcanes activos e inactivos; en consecuencia, la geología de la región es compleja y la topografía abrupta. En Manizales, se ha identificado varias unidades geológicas de diversos ambientes, por lo que se realizó una recopilación de estudios anteriores y de manera breve se obtuvo lo siguiente:

3.1.1 Complejo Quebradagrande

En concordancia, todos los autores que han definido esta unidad, reconocen que se encuentra de manera general compuesta por dos miembros; uno de ellos con origen volcánico y el otro de origen sedimentario, y que ambos afloran en el flanco Oeste de la cordillera Central, al Occidente de la falla de San Jerónimo y al Este del sistema de fallas de Romeral. La edad del Complejo Quebradagrande es definida por GROSSE (1942) en un rango más antiguo, correspondiente al Cretáceo Inferior a Superior; el cual está caracterizado por intercalaciones de rocas volcánicas y metasedimentarias, y en algunos sectores intruído por plutones terciarios. González (1996) describe que el paquete de rocas metasedimentarias está compuesto por lutitas, filitas, pizarras y metaconglomerados, entre otras; mientras que el paquete de rocas volcánicas corresponde a basaltos, andesitas y piroclastitas, las cuales afloran principalmente en el área central del Municipio de Neira.

La unidad volcánica es definida por Naranjo (2005), como un cinturón de diabasas con una amplitud menor a 1 Km, intercaladas con rocas sedimentarias; el tipo de contacto entre estas unidades no es claro, aunque se asemeja a ser fallado, no hay evidencias de ser así; por lo cual éste aún no se ha definido concretamente.

Hacia su parte occidental, Nivia et al. (2006) representan al Complejo Quebradagrande como una cuenca marginal sometida a procesos volcánico – sedimentarios asociados a un arco volcánico; el sistema de fallas de Romeral se encuentra afectando estructuralmente al Complejo Quebradagrande por lo que ocasiona la segmentación de éste en bloques.

3.1.2 Formación Manizales

Esta formación suprayace al Complejo Quebradagrande y es a la vez suprayacida por la Fm. Casabianca. Flórez (1986) definió a la Formación Manizales como una acumulación volcanodetrítica de piedemonte; mientras que Naranjo y Ríos (1989), la denominan como un conjunto de rocas sedimentarias volcanogénicas procedentes del complejo volcánico Ruiz-Tolima, con un rango de edad entre los 8 Ma y 4 Ma (Mioceno Medio- Plioceno Temprano); en cuanto a su litología, estos dos últimos autores, la describen con una parte conglomerática polimíctica, con matriz de arcilla, limo, arena y grava, poco litificado, y compuesto por fragmentos redondeados y mal seleccionados de anfíbolitas, brechas sedimentarias, esquistos micáceos, grauvacas, neis biotítico, cuarzo ahumado, cuarzo lechoso y cuarzodioritas; una de las características más destacable de esta sección, es la absoluta ausencia de material volcánico tanto en los fragmentos como en la parte de la matriz. El contacto del nivel conglomerático es erosivo en inmediación con una secuencia de rocas volcanoclásticas correspondientes a conglomerados tobáceos o lapillstone y a areniscas tobáceas.

La Formación Manizales tiene un espesor de 140 m; esta secuencia es fluvial hacia la base, y volcanodetrítica hacia la parte media y superior, con flujos piroclásticos intercalados, (Borrero et al. 1993, en Castro et al. 1995).

Herrera y López (2003), redefinieron la Fm. Manizales con dos miembros, La Estampilla y La Linda, estos compuestos por estratos volcanoclásticos y no volcánicos, conglomeráticas y poco arenosos, con asociaciones faciales que sugieren la depositación de flujos de escombros, flujos hiperconcentrados y flujos de corriente de baja sinuosidad y lecho gravoso en un ambiente de abanico aluvial; ocasionalmente unidades sin-eruptivas de depositación de flujos piroclásticos y lahares, aparecen de forma interrumpida en la sucesión.

3.1.3 Formación Casabianca

Thouret (1984), fue el primer autor que denominó el nombre de Formación Casabianca, posteriormente fue redefinido por dos autores, Borrero y Naranjo (1990), los cuales para el depósito, definieron el rango de edad Plioceno tardío -Pleistoceno temprano (3.5Ma-1.5 Ma).

Naranjo y Ríos (1989), indican que éste depósito se localiza en los flancos Oriental y Occidental de la parte media de la Cordillera Central, proveniente de la actividad volcánica del volcán nevado del Ruiz y Cerro Bravo, como consecuencia de ésta, en los cauces fluviales resulta una agradación que agrupa sedimentos volcanogénicos de grano grueso y en menor proporción ignimbritas, tobas y sedimentos volcánicos; representados en un ambiente tropical en las partes bajas y semiárido en las partes altas, debido a sus diferentes componentes presenta una característica fundamental, una intensa alteración en los materiales.

El área de esta formación para el sector de Manizales es redefinida por López (2003); al norte sus límites son la quebrada Olivares y al sur el río Chinchiná, al oriente el trazo de la quebrada El Perro, y al occidente la base del escarpe de Chipre, la parte baja del barrio La Linda y el caserío El Arenillo; además plantea que este depósito constituye un periodo de agradación sin-eruptiva de dos abanicos aluviales, en el que fue depositada una espesa sucesión de flujos volcanohidrológicos (lahares y flujos de corriente) y en menor proporción piroclásticos.

3.1.4 Depósitos Cuaternarios

3.1.4.1 Depósitos de Caída Piroclástica

Estos depósitos son manifestaciones de la última actividad del complejo volcánico Ruiz-Tolima, presentando fragmentos rotos de composición pumácea y escoria de composición dacítica; así como fragmentos de dacitas y andesitas porfídicas de espesores variables entre los 10m y 20m (Naranjo y Ríos, 1989).

Según, Aguirre y Dunoyer, 1997 (en Herrera y López, 2003), se hallan tres columnas (3 SETS) en la secuencia de tefras que soporta a Manizales. El primer SET o SET I constituye los últimos 5000 años, establecido por medio del análisis del carbono 14; aflora en el sector del Cerro de Oro y se caracteriza por presentar intercalaciones de niveles gruesos de lapilli con pómez y niveles de menor espesor de cenizas pardas con pómez.

El SET II infrayace el SET I, aflora en los barrios la Francia y la Sultana, comprende un rango de tiempo entre 5000 años y 31700 +/- 980 años, éste a su vez se subdivide en los subSET IIA y IIB. El subSET IIA que está por encima del IIB, consiste en una serie de niveles de ceniza media a fina de colores pardos y masivos con presencia ocasional de pómez en interestratificación con niveles de ceniza gris deleznable. El subSET IIB a diferencia del IIA, en su parte inferior presenta niveles de lapilli y remoción en algunas de los niveles de ceniza gruesa, además de un grado de alteración mayor.

Por último El SET III aflora en el sector de la universidad de Caldas y el barrio Palermo y corresponde a los depósitos más antiguos (entre los 31170 +/- 980 años y 39000 años), se caracteriza por presentar potentes capas de ceniza fina, de color avano a grisáceo con alto contenido de humedad.

3.1.4.2 Depósitos Coluviales

Corresponden a depósitos de ladera o de vertiente, que proceden de las partes altas de las pendientes a causa del desprendimiento de materiales como resultado de los movimientos en masa, ya sea debido a factores climáticos, antrópicos, gravedad o naturalezas de los mismos; éstos se acumulan en las

depresiones o bases de las laderas y están constituidos por material piroclástico y fragmentos de rocas.

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

3.2.1 Complejo Quebradagrande

Parte del área media superior de la Cárcava El tablazo está constituida litológicamente por el miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande caracterizado por su coloración grisácea; conformada por filitas silíceas intercaladas con lodolitas grafitosas estratificadas; a través de los planos de estratificación se observa emplazamiento de eyecciones de cuarzo como producto de la actividad magmática, (Figura 15); sobreyaciendo esta secuencia se hallan unos depósitos volcánicos, conformados por componentes volcánicos retrabajados y por acumulación de cenizas (tobas).

Para la parte basal de la cárcava, se hallan los afloramientos más representativos del complejo; se observa además el miembro ígneo plutónico, constituido por una roca tipo Basalto, masiva, con textura afanítica y con una transición de coloraciones grises a verdosas pasando a tonalidades más oscuras, debido a mayores estados de meteorización.



Figura 15. C. Quebradagrande. Entre el basalto y la lodolita grafitosa se observa eyecciones de cuarzo.

Las rocas presenta un sistema de diaclasas; La tendencia principal del diaclasamiento es N27W/37NE (1). las tendencias de las familias de diaclasas son: N5W/85SW (2), N53E/40 NW (3) y N80E/80SE (4).

Se observa además en la parte más inferior de la cárcava, después del III dique de sedimentación, la zona de falla, donde debido a procesos de trituración de las rocas se presentan cataclasitas.

3.2.2 Formación Casabianca

Como unidad suprayacente, en la corona de la cárcava, se tiene los afloramientos más representativos de este depósito; el cual se caracteriza por su coloración parda y por ser matriz-soportado, con un 80 % de matriz y 20 % de clastos, estos últimos son en su mayoría metamórficos, subangulares de baja esfericidad, con tamaños que varían desde guijos hasta guijarros; en su matriz volcanoclástica se pueden observar fragmentos de pómez, (Figura 16).



Figura 16. F. Casabianca. El polígono rojo exhibe clastos metamórficos y el de color amarillo pómez; meteorización producto de aguas sub-superficiales.

Los flujos de lodo presentan una coloración rojiza indicando un estado de meteorización avanzado; Estos materiales se encuentran intensamente fracturados y alterados, por la presencia de grietas que hacen parte de las

coronas de los deslizamientos activos, donde la superficie de los deslizamientos de tipo traslacional es el contacto de las Lodolitas grafitosos del Complejo Quebradagrande con los depósitos de flujo de lodo Formación Casabianca; en esta zona los materiales se encuentran bastantes sueltos debido a que sus partículas han perdido cohesión.

3.2.3 Depósitos de Caída Piroclástica

Subyaciendo los horizontes de suelo orgánico, en la región más alta de la cárcava, donde todavía no se ha presentado procesos erosivos intensos procedentes de movimientos en masa, se manifiesta éste depósito con la presencia de niveles decimétricos de lapilli y ceniza. Sobreyaciendo a la Formación Casabianca, se encuentra estos depósitos de caída piroclástica aflorantes hacia la corona de la cárcava; presentan una coloración grisácea clara a parda, tamaño ceniza, y minerales como anfíboles y cuarzo vítreo. (Figura 17).

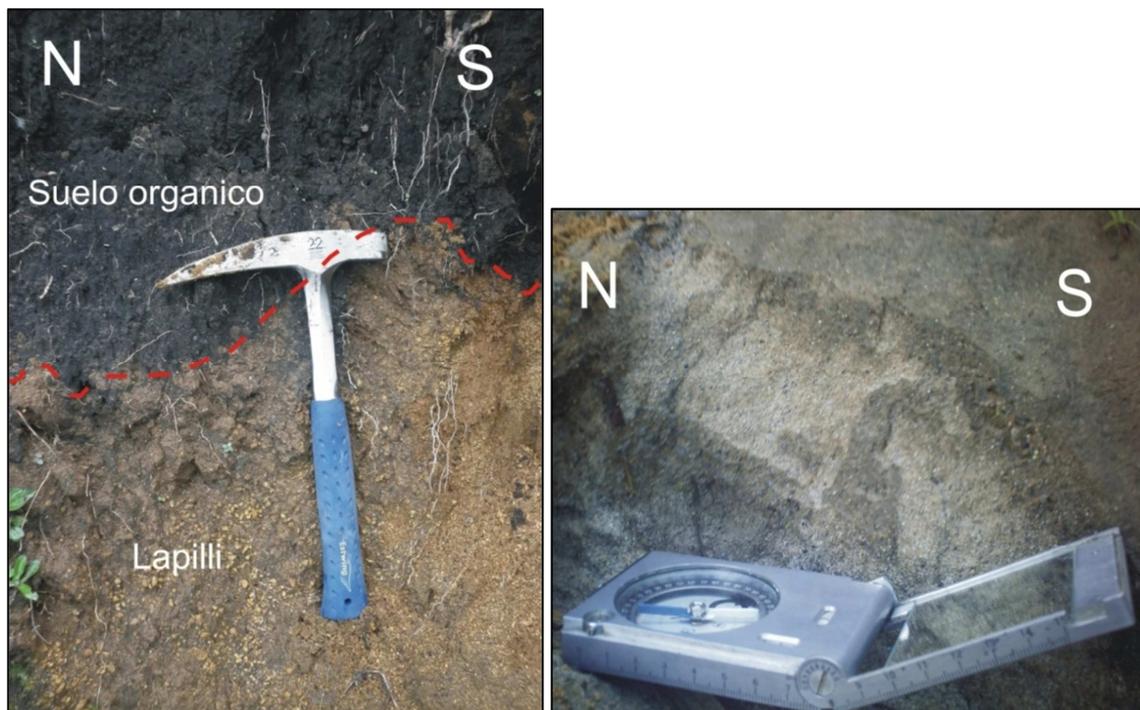


Figura 17. Depósitos de caída piroclástica. Izquierda, lapilli. Derecha, Cenizas volcánicas.

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

3.3.1 Marco tectónico regional

El continente Sur-Americano, presenta en su esquina Nor-Oeste en la cual se localiza Colombia, una interacción de placas litosféricas con diferentes campos de esfuerzos traducida en una compleja configuración tectónica procedente de una larga evolución iniciada desde el Jurásico Tardío; ello evidenciado en los

diferentes rasgos que caracterizan las rocas, rasgos como lo son la generación de grandes cadenas montañosas y sistemas de fallas que atraviesan el país de Norte a Sur, como la zona de fallas Cauca – Romeral, la cual marca el límite occidental de la cordillera central.

El movimiento entre la placa Caribe y la placa Suramericana, es definido por Moreno y Pardo (2003), como dextral en el rango de edad Albiano – Plioceno; éste generan cabalgamientos de materiales oceánicos sobre el basamento de la actual cordillera central, siendo éste rocas correspondientes al Complejo Quebradagrande, sucedido de una acreción frontal para el rango de edad Paleoceno – Mioceno, de esta manera se configura la margen occidental de Colombia en un límite tectónicamente activo, y en consecuencia hace que la placa Nazca yaza en dirección este en la placa Suramericana originando una zona de subducción, mientras que la migración hacia el Nor-Este de la placa Caribe continua con su trazo. (Figura 18).

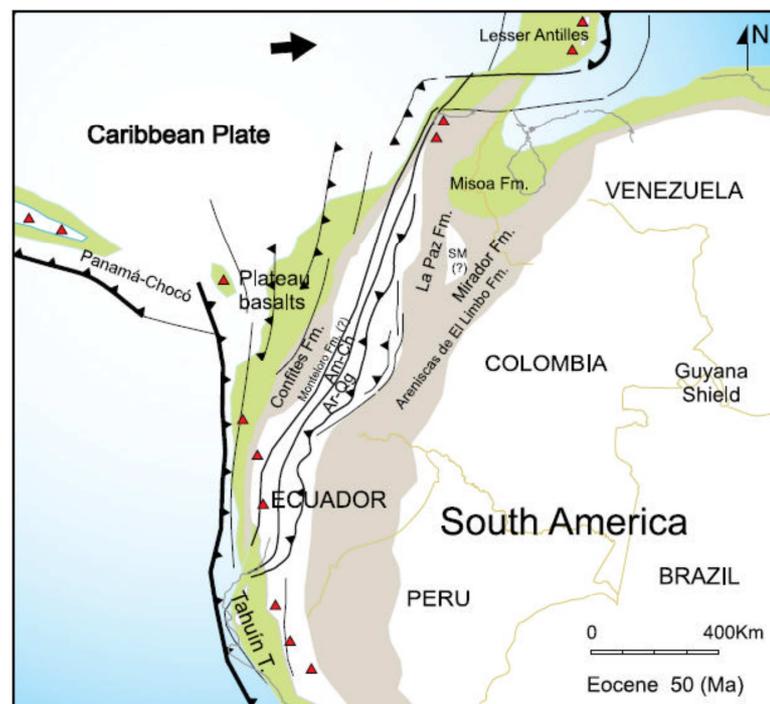


Figura 18. Reconstrucción paleogeográfica del Nor-Occidente de Sur América para la mitad del Eoceno (Moreno y Pardo, 2003).

3.3.2 Marco tectónico local

En Manizales definen un sistema de falla regional que la atraviesa de Norte a Sur, como el sistema de fallas de Romeral (SFR) y varios lineamientos locales que atraviesan a Manizales de Oeste a Este. Además es evidente el levantamiento compresivo en la parte occidental, el cual se anuncia con el escarpe de Chipre, haciendo que las zonas vecinas al fallamiento ofrezcan problemas de inestabilidad a causa del intenso fracturamiento de las formaciones geológicas. Como evidencias de estos fallamientos se tienen rasgos Geomorfológicos como alineamiento de silletas, cambios bruscos en la dirección de drenajes, cambios de pendientes y fuertes escarpes, (Botero y Garzón 2010). Debido a que la secuencia piroclástica presenta alta erodabilidad en sus componentes y a la alta plasticidad de los materiales de la Formación Casabianca, Sánchez (2007) indica que estas formaciones presentan en campo muy pocas evidencias de las fallas. (Figura 19).

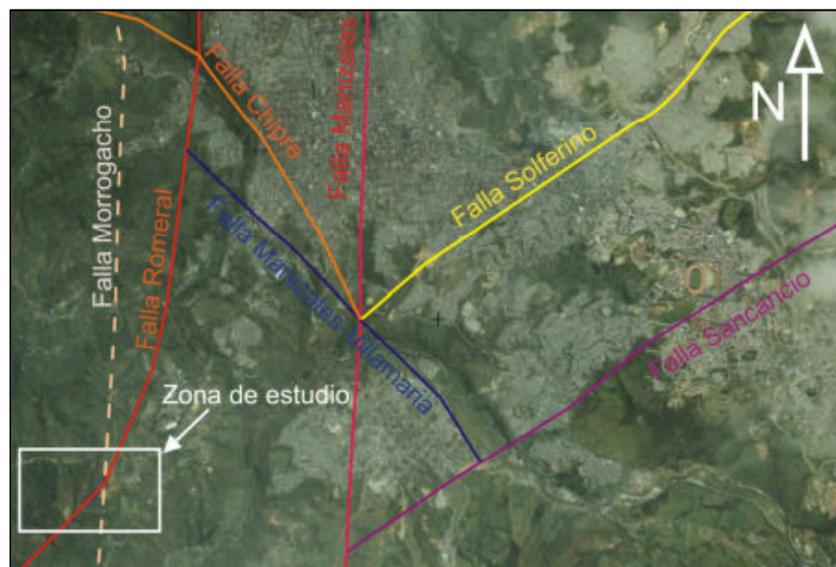


Figura. 19. Mapa de fallas y lineamientos en la ciudad de Manizales (tomado y modificado de) Naranjo y Ríos 1989).

Los lineamientos y fallas presentes en el área de estudio se cartografiaron en las fotografías satelitales; además por estudios de campo, de determino la interpretación geomorfológica del relieve de la zona; el alineando de silletas permite seguir el trazo de la falla Romeral (Naranjo y Ríos 1989); (Figura 20).El control estructural sobre la dinámica de los cauces causa un direccionamiento observado en el cauce principal y en el de vereda Guacas; el escalonamiento presente en el macizo rocoso, evidencia que el desplazamiento se da en forma fraccionada, mas no sobre una superficie neta en su totalidad sino sobre varios planos de estratificación y diaclasas contiguos.



Figura 20. Trazo de fallas en la zona de estudio.



Figura 21. Zona de Falla. En negro se resalta las eyecciones cuarzosas; en medio, la zona de cataclasis.

La trituración de las rocas es otra importante evidencia estructural, donde los elementos estructurales corresponden también a un sistema de diaclasas sobre las rocas del Complejo Quebradagrande localizadas hacia la parte baja de la cárcava sobre la ladera oriental. En la zona de falla, los planos de estratificación en algunos sectores, coincide con las superficies de diaclasamiento, la roca al sufrir procesos de trituración debido al fallamiento, experimenta cataclasis. La roca producto, cataclasita, se observa en la zona de estudio habitualmente angulosa, constituida por porfiroclastos y fragmentos de roca embebidos en una matriz cristalina ligeramente recristalizada.

3.4 HIDROGEOLOGIA

Las corrientes hídricas del municipio de Manizales hacen parte de la gran cuenca hidrográfica del río Cauca, en la vertiente occidental de la cordillera Central. Estas corrientes, con excepción de la quebrada Llanogrande, pertenecen a la cuenca del río Chinchiná. Los drenajes que corresponden a la cuenca del río Chinchiná en jurisdicción del municipio de Manizales corren en dirección norte-sur debido al sistema de fallas geológicas existentes que le confieren la característica de drenajes subparalelos.

Tres importantes vertientes cruzan la ciudad de Manizales por sus costados sur, norte y occidental.

- La vertiente sur, cuya principal fuente hídrica es el río Chinchiná.
- La vertiente norte, cuyo eje principal es la quebrada Olivares, llamada también Minitas.
- la vertiente occidental, que tiene como ejes de drenaje principales las quebradas La Francia y El Arenillo, tributarias de la quebrada El Rosario, la cual nace en el extremo occidental de Manizales.

La zona de estudio se encuentra determinada por la cuenca de la Quebrada el Salado, donde confluye la quebrada El Tablazo (cauce principal), este se localiza al norte cárcava. La cuenca local del cauce principal de la Cárcava El Tablazo presenta forma redondeada, característica de una cuenca torrencial donde los caudales de escorrentía se concentran rápidamente en los cauces, estimulan la concentración de caudales instantáneos y el poder erosivo de la corriente. Esta característica del sistema de drenaje es acentuada por las laderas pendientes y prolongadas, desprovistas de vegetación, ambientes muy propicios de áreas muy degradadas, productoras de caudales sólidos altos.

Un segundo cauce se localiza al sur del principal, el cauce barrio Gutiérrez, el cual en los últimos años se ha ido profundizando a medida que la ladera oriental se ha visto desprovista de cubierta vegetal; un último cauce intersecta al principal en su costado sur occidental, cauce vereda Guacas; el cual, así como la Quebrada El Tablazo y el cauce B. Gutiérrez, presentan control estructural por el macizo rocoso con escalonamientos. El tramo entre la confluencia de los tres cauces es muy profundo, y esta alimentado por varios cauces menores que atributan la cuenca, el tramo final que coincide con la desembocadura presenta un canal amplio y llano.

4. ESTEREOGRAFÍA

La cárcava El Tablazo presenta tres laderas, (Figura 22), las cuales se denominaron según su orientación de la siguiente manera:

- Ladera occidental, orientación N87E/62NW
- Ladera norte, orientación N44W/58NE
- Ladera oriental, orientación N18E/68NW

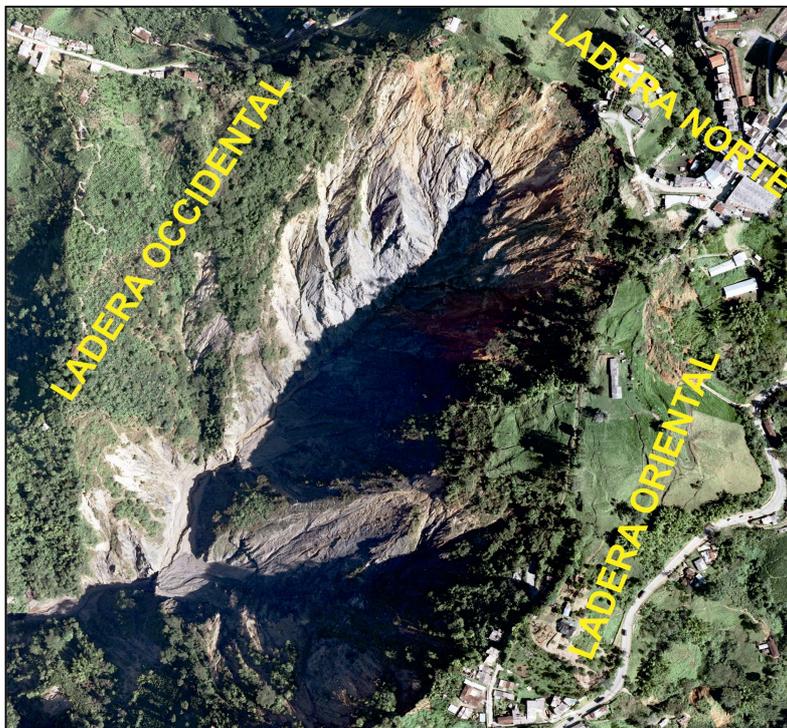


Figura 22. Ubicación de las tres principales laderas de la cárcava El Tablazo.

La pendiente en porcentaje se halló a través de la siguiente fórmula trigonométrica: $m = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1)$, (Figura 23), se obtuvieron los siguientes resultados tabulados así:

Ladera	Y_2	Y_1	X_2	X_1	m	m%
Occidental	1900	1620	520	30	0.574	57.4
Norte	1980	1620	680	30	0.553	55.3
Oriental	1885	1610	500	20	0.598	59.8

Figura 23. Tabla de pendientes en % de la zona de estudio. Los valores en Y_2 , Y_1 se tomaron de las curvas de nivel de la cota más alta y la más baja respectivamente hasta donde llega cada ladera; los valores en X_2 corresponden a las distancia que hay entre Y_2 Y_1 según la escala del mapa; X_1 equivale a la distancia que hay entre la cota más baja 1550 (cota correspondiente al drenaje principal) y Y_1 medida según la escala. Datos tomados de la plancha topográfica número 206-III-D-1 del IGAC a escala 1:10.000.

En la zona de estudio se determinó las siguientes diaclasas:

- N27W / 37 NE (1)
- N5W / 85SW (2)
- N53E / 40 NW (3)
- N80E / 80SE (4)

Los siguientes datos se determinaron para ser procesados y clasificados mediante el programa OpenStereo 0.1.2 Devel 2009-2011, (Figura 24).

Rumbo	Dip /Buzamiento	Azimut	Dip/dix
N27W	37NE	333	63
N5W	85SW	355	265
N53E	40NW	53	323
N80E	80SE	80	170

Figura 24. Tabla de las diaclasas de la zona de estudio. Procesamiento de datos.

Se clasificó los movimientos a los que está expuesta cada ladera según la clasificación de Hoek (1974), de la siguiente manera:

DESLIZAMIENTO PLANAR:

- Que el rumbo del lineamiento sea +/- 15 ° paralelo al rumbo del talud.
- Que el buzamiento sea menor y en la misma dirección del talud.

VOLCAMIENTO:

- Que el rumbo del lineamiento sea +/- 15 ° paralelo al rumbo del talud.
- Que el buzamiento sea alto (entre 60 y 90 grados) y en dirección contraria a la del talud.

DESLIZAMIENTO DIÉDRICO:

- Que la línea de intersección entre dos discontinuidades cumpla:
- Que el rumbo del lineamiento sea +/- 15 ° paralelo al rumbo del talud.
- Que el buzamiento sea menor y en la misma dirección del talud

Para cada ladera de acuerdo a esta clasificación, se determinó que:

Ladera occidental: orientación N87E/62NW.

Deslizamiento planar, deslizamiento diédrico entre (3,4), (2 ,4), (1,4).

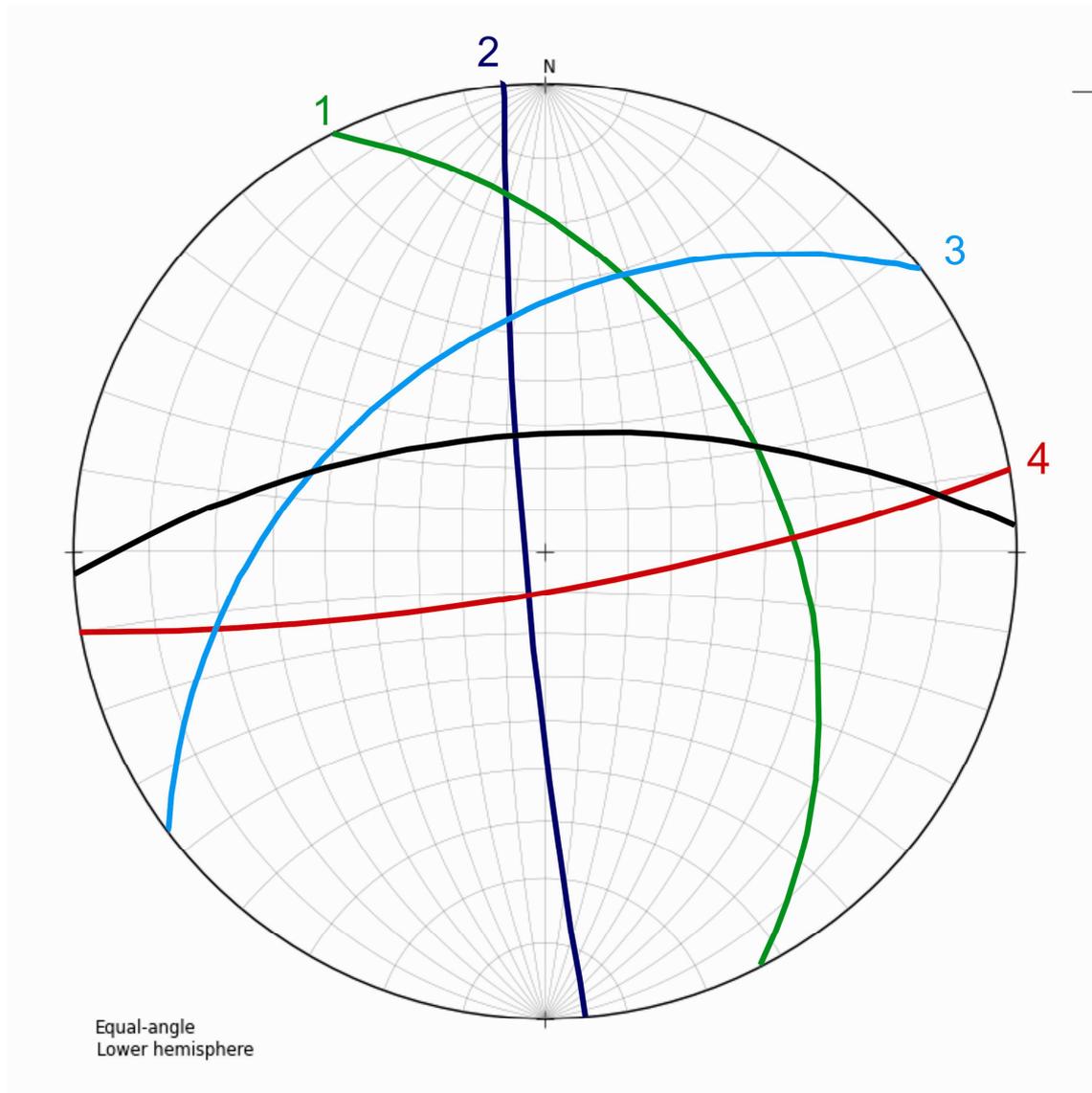


Figura 25. Estereografía de la ladera occidental; en negro la disposición de la ladera en los otros colores los lineamientos de las diaclasas. N27E/ 37SE (1), N5W/ 85SW (2), N53E/ 40NW (3) y N80E/ 80SE (4) tendencia principal.

Ladera norte: orientación N44W/58NE.

Deslizamiento planar, deslizamiento diédrico entre (2,4)

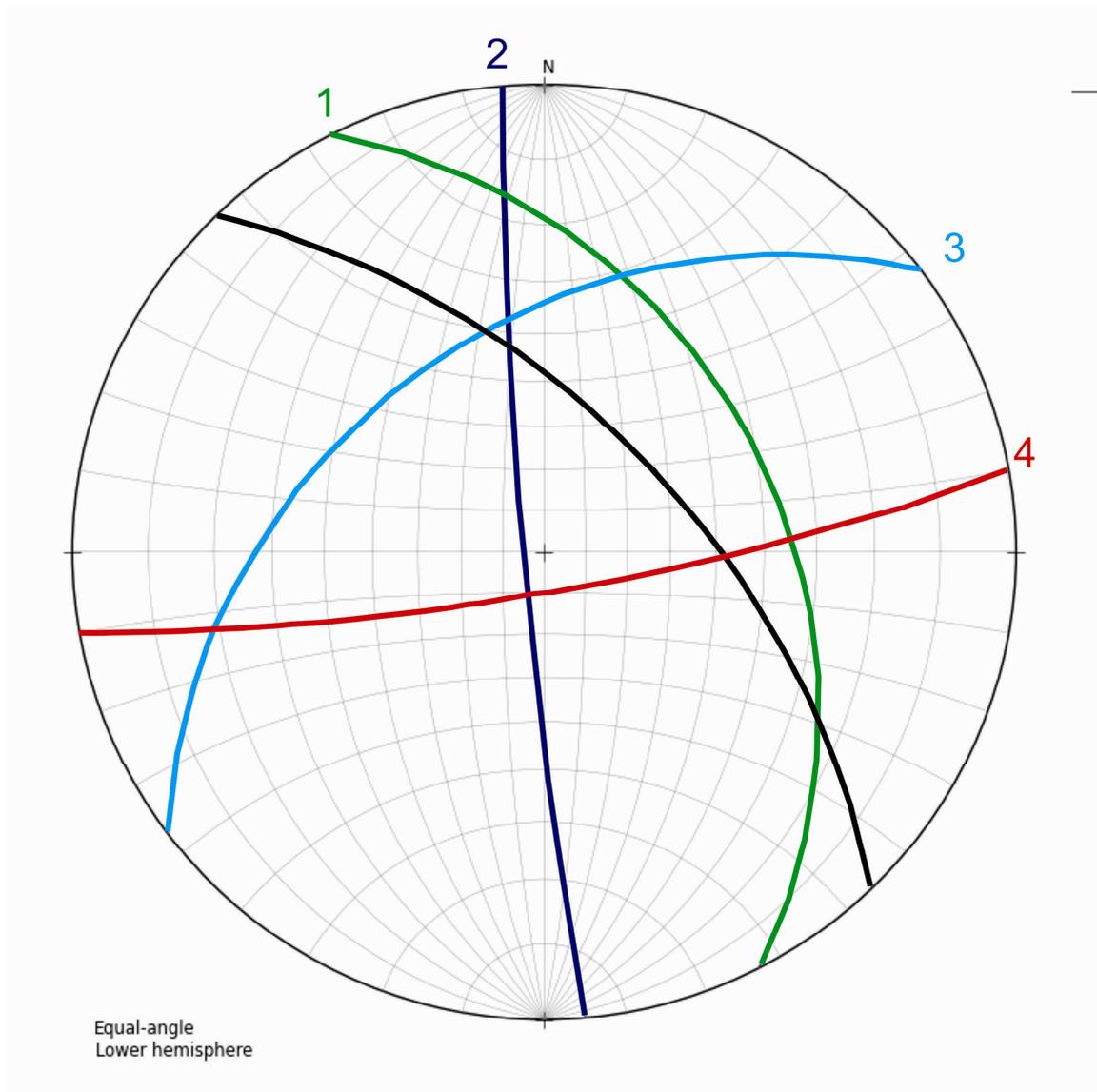


Figura 26. Estereografía de la ladera norte; en negro la disposición de la ladera en los otros colores los lineamientos de las diaclasas. N27E/ 37SE (1), N5W/ 85SW (2), N53E/ 40NW (3) y N80E/ 80SE (4) tendencia principal.

Ladera oriental: N18E/68NW.

Deslizamiento planar, deslizamiento diédrico entre (2,3), (2,4), (1,2).

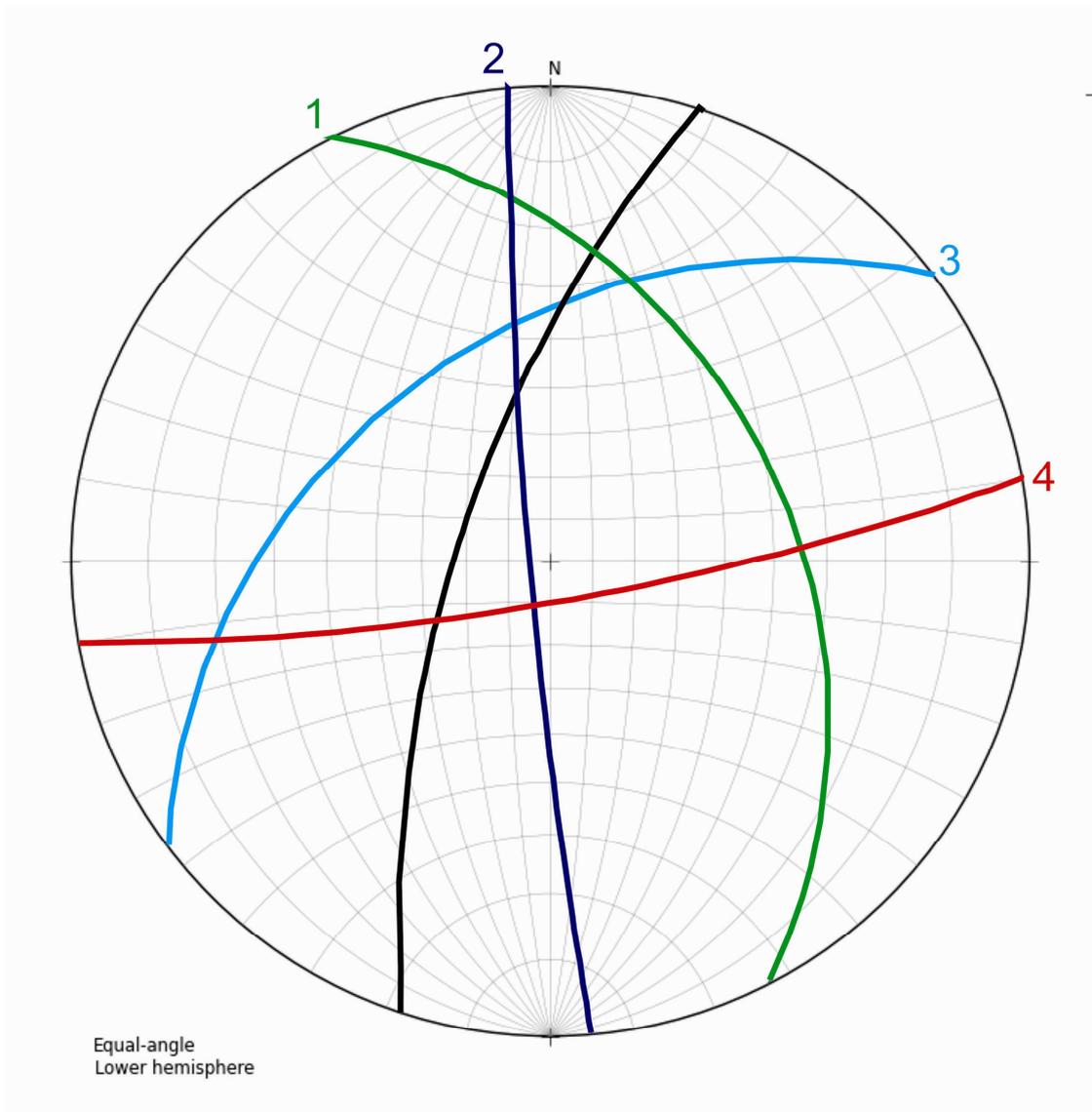


Figura 27. Estereografía de la ladera oriental; en negro la disposición de la ladera en los otros colores los lineamientos de las diaclasas. N27E/ 37SE (1), N5W/ 85SW (2), N53E/ 40NW (3) y N80E/ 80SE (4) tendencia principal.

5. GEOMORFOLOGÍA

El sistema cordillero Andino donde se da las áreas de mayor levantamiento orogénico, presenta un relieve de montaña alto a medio; precisamente a este último es del que hace parte Manizales debido a su posición geográfica; esta expresión de altitudes medias a altas sugiere un contexto de mayor energía disponible e inestabilidad dentro de su expresión geomorfológica; dinámica que se manifiesta en la transferencia de materiales hacia las partes bajas de la laderas que componen el medio.

Dentro del área de estudio, al occidente de Manizales entre las veredas Alto Tablazo y Bajo Tablazo, el dominio caracterizante es el relieve montañoso con presencia de altiplanicies, cerros y depresiones como cuencas; estos modelados por diversos procesos denudativos, derivan el terreno hacia una configuración de disección profunda, activa y controlada estructuralmente, que se manifiesta en la fuerte inestabilidad y en la capacidad dinámica de las vertientes; como producto principal de toda esta actividad adicionada a otros factores como tiempo y clima, se obtiene movimientos en masa de manera creciente y abundante sobre todo el sector.

La cárcava El Tablazo se encuentra a 2050 msnm y se extiende sobre parte del sector conocido como El Tablazo, la cota más alta de la cárcava va desde los 1980 m hasta su punto más bajo en su cauce principal 1550 m.

5.1 PROCESOS EROSIVOS

Estos procesos están relacionados a los principales agentes modeladores actuantes en la zona, como son: el agua que proviene principalmente de los sistemas fluviales, como la Quebrada El Alto Tablazo, Cauce Vereda Guacas y Cauce Barrio Gutiérrez, así como las precipitaciones pluviales, actividad antrópica y biológica, el intemperismo y la dinámica de factores geo-tectónicos; este conjunto de elementos actúa directamente en la degradación y modelado del relieve, siendo la erosión su principal manifestación.

En la cárcava El Tablazo se presentan procesos de erosión severa, tanto hídrica como fluvial, de esta manera los más importantes corresponden a la erosión laminar, surcos, carcavamiento y socavación lateral en sus cauces.

5.1.1 Erosión pluvial

También conocida como Erosión por salpicadura; es un tipo de erosión hídrica producida por la caída de las gotas de lluvia sobre el suelo; su impacto está en función de la velocidad, forma y tamaño de las gotas (erosividad), y de la resistencia del suelo a su poder erosivo (erodabilidad). El efecto de la salpicadura sobre los materiales de la Cárcava El Tablazo, es especialmente acentuado debido a las condiciones climáticas subtropicales que combinan fuertes precipitaciones y desfavorable protección del suelo; éste fenómeno se extiende por toda la cárcava esencialmente sobre el terreno desprovisto de vegetación, la lluvia mueve el suelo no protegido, capas de agua enturbada por material terroso suspendido, corren a través de estas superficies desnudas. Este suelo al no presentar una adecuada cobertura protectora, es dividido y soltado por el impacto de las gotas de lluvia.

5.1.2 Erosión por escorrentía

Este tipo de erosión hídrica, consiste es el arrastre de suelo ocasionado por el agua que escurre ladera abajo; dependiendo de la pendiente o grado de inclinación del terreno, la cantidad de agua y del tipo de suelo, se presentan formas diferentes de esta clase de erosión.

En la cárcava este proceso, además de ocasionar arrastre de material hacia partes más bajas de la ladera produce la destrucción del agregado y la formación de una costra que reduce la infiltración y aumenta más aun la escorrentía.

5.1.3 Erosión por escurrimiento difuso

Proceso conocido también como erosión normal, la cual consiste en desplazamientos cortos de pequeñas partículas y agregados de suelo, o en la formación de surquillos temporales; ocurre aun en terrenos con buena cobertura vegetal. En el área de estudio se presenta sobre casi todo el terreno.



Figura 28. Erosión por escurrimiento difuso. Las flechas indican la dirección de la trayectoria de las partículas (En rojo).

5.1.4 Erosión laminar

Proceso de remoción y arrastre por mantos de agua, de las partículas más livianas del suelo, extendidas en forma uniforme en toda la superficie del suelo; éste tipo de erosión hídrica es casi imperceptible y cuando se detecta sólo queda una delgada capa de suelo; se presenta en todo el terreno de la cárcava y se propicia principalmente en las zonas de mayor pendiente, sin vegetación y con bajo contenido de materia orgánica; solo se puede apreciar como un proceso de disminución de láminas de suelo; tajando tenue pero continuamente su espesor. Esta erosión es el efecto combinado de la acción del golpeteo que desprende las partículas de suelo y de la escorrentía. (Figura 28).

5.1.5 Erosión en surcos

Ocurre por el escurrimiento concentrado de las aguas de sub-superficiales (escorrentía) produciendo turbulentos flujos que erosionan la superficie en forma de canales sub-paralelos, independientes y durables de poca profundidad, estos forman una micro-red de drenaje donde al profundizarse se unen aumentando su tamaño dando lugar a la formación de cárcavas. (Figura 29).

Este flujo canaliza y jerarquiza la superficie generando los denominados surcos o zanjas por donde fluye el agua en dirección de la pendiente. Se manifiesta en los sectores donde la cárcava presenta superficies lisas y de pendiente uniforme, y lateralmente en las paredes de los diques en concreto ciclópeo, localizados a la base de ésta.



Figura 29. Erosión en surcos. A través de los canales circulan pequeños flujos de agua; los surcos al alcanzar profundidad y capacidad suficiente se convierten en drenajes.

5.1.6 Erosión en cárcava

Surge generalmente luego de la erosión laminar y la erosión en surcos, al aumentar el volumen de escorrentía o su velocidad; suele ser producto del descuido en la aplicación de medidas protectoras cuando se tienen formas incipientes de erosión, pudiéndose alcanzar estados de gran avance y desarrollo de difícil control posterior. La erosión en cárcava constituye el estado más avanzado de erosión, causada por una concentración mayor del agua que escurre ladera abajo, debido a la unión de varios surcos, dando lugar a la formación de zanjas profundas, ramificadas y de gran extensión. Son muy

marcadas en el terreno. Se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava, (Figura 30).

La Cárcava El Tablazo es el resultado de este proceso combinado, repetitivo y acelerado de erosión, originado por socavamientos sucesivos de surcos y cárcavas sobre el todo terreno, debido al flujo incontrolado del agua escorrentía. En toda el área de la cárcava la iniciación y propagación de fracturas es de significancia particular en la destrucción de la superficie, ya que conduce a caídos de roca o colapso del talud.

La evolución de la cárcava se ha dado a la consistencia relativa que presentan los diferentes horizontes del suelo a medida que los diversos procesos han actuado, la consistencia del material cambia, haciéndose cada vez más susceptible, generando ambientes propicios para la activación de deslizamientos en sus tres laderas. Las paredes de la cárcava son sub-verticales; en tanto que cuando se presenta un aumento en la resistencia de las capas inferiores, se desarrollan en forma de "V". En su progresivo despliegue, la cárcava inicialmente tiene una sección en V, pero al encontrar material más resistente y/o interceptar el nivel freático se ha extendido lateralmente, tomando forma en U.

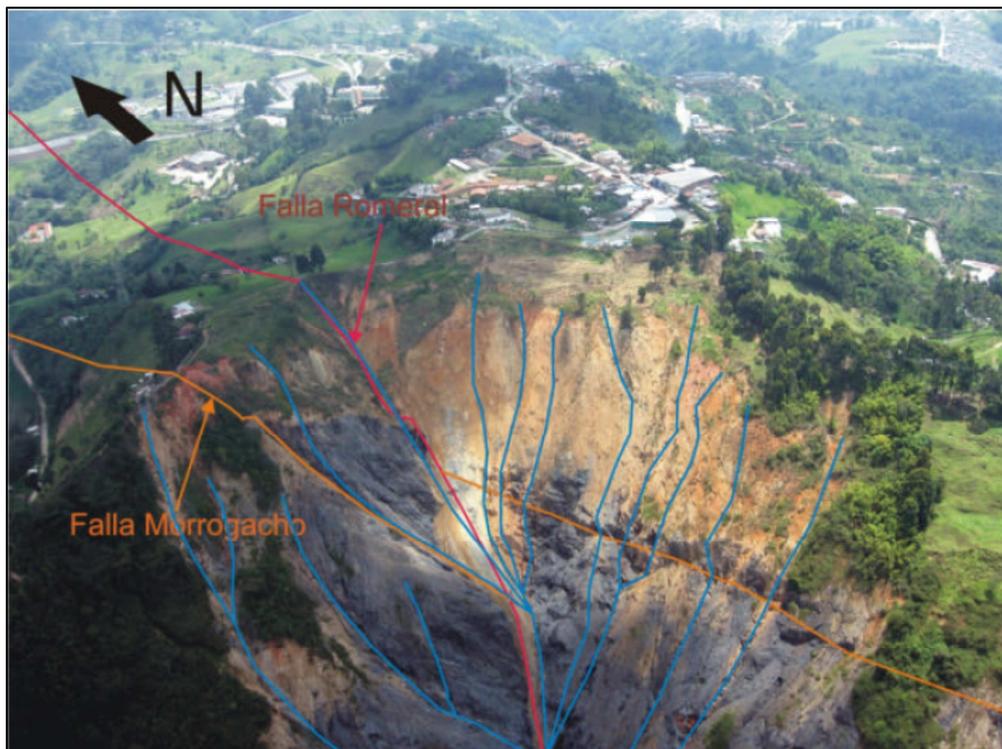


Figura 30. Erosión en cárcava. Resultado de la combinación de procesos y tiempo.

En la cárcava, una vez ya formados los continuos surcos y micro-cárcavas, la concentración del agua que escurre por ellos hace retroceder las entalladuras, formando una micro-red de drenajes, compuesta esencialmente de por 3 cauces, el de la vereda Guacas, barrio Gutiérrez y por el cauce principal quebrada El Tablazo, que al unirse aumentan el tamaño y longitud de la misma, hacia arriba y hacia los lados de la ladera evolucionando hasta la cima de ésta, fenómeno comúnmente conocido como cárcava regresiva o remontante.

5.1.6.1 Cauce Vereda Guacas

Su nombre deriva precisamente por su inmediata localización al sur de la vereda Guacas; se ubica en la ladera occidental de la cárcava con una orientación Norte-Sur; su lecho rocoso está conformado por rocas del complejo Quebradagrande; donde el cambio de litología marca la transición cambio de pendiente, hacia la cabeza del drenaje por las lodolitas grafitosas y hacia su base por basaltos, siendo éste el más corto y resistente de los tres cauces. Su ladera presenta recuperación con vegetación espontanea, indicadora de estabilidad incipiente. El Cauce Vereda Guacas intercepta en su trayectoria suroeste el cauce principal quebrada El Tablazo, perpetuándose en uno solo en dirección de la pendiente de la ladera norte.

La superficie por donde circula el flujo de agua ha sido modelada a partir de los procesos de socavación, sobre todo al pie de la ladera (occidental), hacia donde son arrastrados los materiales desprendidos de las partes altas de ésta.

5.1.6.2 Cauce barrio Gutiérrez

Su nombre se debe a que este cauce nace en el Barrio Gutiérrez, tiene una dirección Sur-Este desembocando en sentido Nor-Oeste en el cauce principal (270m más arriba de la intercepción del Cauce Vereda Guacas con el de la quebrada El Tablazo). Este cauce ubicado en la ladera oriental de la cárcava, y que bordea parte del área de la Vereda El Aventino, está trazado sobre pendientes fuertes y escarpadas, siendo uno de los detonantes de los movimientos en masa en este sector, ya que se identifican procesos de constante profundización en los depósito alterados y fracturados de la formación Casabianca, mientras que ladera abajo en los grandes escarpes los materiales más resistentes del Complejo Quebradagrande brindan estructuras escalonadas; por último en la zona de la confluencia con el cauce principal, la corriente provoca procesos de profundización severa para ajustar el lecho rocoso al nivel de la Quebrada El Tablazo.

5.1.6.3 Cauce Vereda El Tablazo (cauce principal)

Toma su nombre debido a la inmediatez con la vereda El Alto Tablazo; se localiza sobre la ladera norte de la cárcava con una orientación Nor-Este – Sur-Oeste. Es el cauce principal y de mayor longitud, tiene su origen en la parte más norte de la cárcava, en pendientes conformadas por macizos rocosos fracturados y alterados del Complejo Quebradagrande, indicadores de una zona de debilidad estructural y de estar afectados por procesos de erosión severa. En la trayectoria aguas arriba sobre la quebrada El Tablazo se encuentran varias curvas formadas gracias al control estructural o por la presencia de diques cuarzosos de inyección; aguas abajo, el tramo del cauce principal está definido por los macizos rocosos más resistentes de esta misma formación originando pequeños cañones; debido al tipo de material presente en esta parte de la cárcava, prima la erosión por socavamiento que los movimientos en masa.

Las rocas que conforma la ladera presentan buzamientos hacia el Este, ejerciendo control estructural hacia la ladera Este de la cárcava y aún más hacia el Barrio Gutiérrez haciendo cada vez más inestable esta zona. Inicialmente el cauce presenta laderas en forma de “V” característica de cauces juveniles en proceso de profundización, los cuales a medida que se van socavando, encontrando material más resistente e interceptando niveles freáticos, se extienden lateralmente adquiriendo formas en U.

La Quebrada El Tablazo es alimentada al noroccidente por el Cauce Guacas y al suroriente por el Cauce Barrio Gutiérrez; hacia la base de la cárcava donde se da la acumulación de materiales y procesos acarreados de las partes superiores, se observa como el cauce a su paso a remodelado la superficie por donde su trayectoria fluye, generando procesos de socavación y erosión lateral del canal y desbordamiento del mismo. los diques de contención implementados con vertedero hidrodinámico que se localizan hacia esta parte baja de la cárcava, no cumplen su función, por el contrario el flujo de agua no se canaliza a través de ello si no que se dispersa hacia sus costados, formando descontrol hídrico del cauce y surcos en los extremos de dichas estructuras en concreto, produciendo deterioro, fracturamiento y derrumbamiento de los mismos, contribuyendo a la acumulación de materiales de arrastre, taponamiento y baja infiltración de las aguas aumentando la escorrentía y por ende la erosión. La Quebrada El Tablazo sigue su trazo sureste hasta encontrarse con la Quebrada El Salado.

5.2 MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa, toman diversos nombres (deslizamientos, derrumbes, coladas de barro, soliflucción, hundimientos, desprendimientos y desplomes); además dependen del grado de saturación de los materiales del terreno, velocidad del desplazamiento, profundidad de la masa desplazada y longitud de la pendiente del terreno. Son los desplazamientos de masas de suelo o roca, causados por la infiltración del agua en el terreno y por efecto de la fuerza de gravedad, involucrando grandes volúmenes de material. Ocurren cuando las capas superiores aumentan de peso, la pendiente es favorable y hay movimientos de agua en las capas inferiores, formando planos de deslizamiento, (Botero y Garzón, 2010). Los primeros signos de movimientos masales lo representan las grietas en el terreno, las cuales más tarde serán el escarpe principal del deslizamiento (Cruden y Varnes, 1996); (Figura 31).

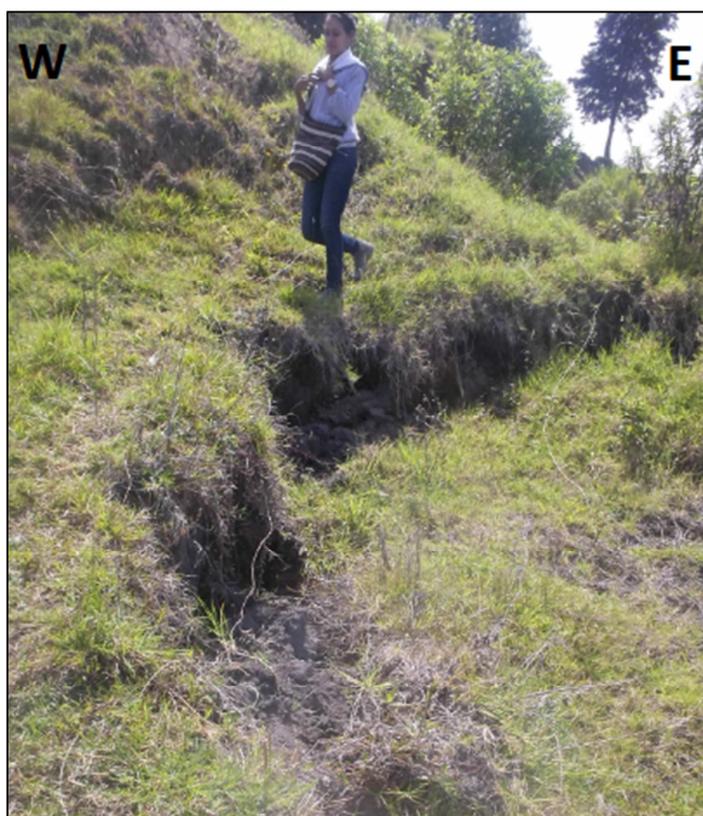


Figura 31. Agrietamiento del terreno. Parte superior de la cárcava.

Dentro del área estudiada se observan movimientos en masa en zonas de alta pendiente, en las laderas contiguas a los afluentes hídricos, cercanos o alejados de estos, son identificables, directamente en campo, como también en

las fotografías satelitales; tienen características variadas, van desde deslizamientos menores del orden de unos cuantos m² formando escarpes erosivos, hasta deslizamientos mayores con extensiones del orden de cientos de m²; hay evidencia movimientos en masa inactivos que probablemente se reactivaran por los diversos procesos actuantes en la zona. Se identificó 2 tipos de movimientos en masa.

5.2.1 Deslizamientos traslacionales

Sucede a medida que el material desprendido se desplazan a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada y se superpone a la superficie original del terreno; en los deslizamientos traslacionales la masa desplazada puede también fluir convirtiéndose en un flujo de detritos o tierra ladera abajo (Cruden y Varnes, 1996). Estos movimientos involucran volúmenes muy grandes, conformados por suelos y macizo rocoso y se dan esencialmente a lo largo de la corona de la cárcava, (Figura 32).



Figura 32. Deslizamientos traslacionales. El cambio de pendiente está dado por el cambio de litología.

5.2.2 Deslizamientos rotacionales

Ocurre cuando el desplazamiento del terreno sufre un giro sobre una superficie de rotura curvilínea y cóncava con poca deformación interna del material; la cabeza del material desplazado se mueve verticalmente hacia abajo, mientras que la parte superior del material desplazado se bascula hacia el escarpe (Cruden y Varnes, 1996). Se presenta por lo general en materiales consolidados como depósitos transportándose *in situ* y en rocas totalmente fracturadas como los de la Fm Casabianca y en el miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande, en sitios puntuales de la corona de la cárcava desplazando el material a las partes baja de la pendiente. (Figura 33).



Figura 33. Deslizamiento rotacional en la parte más superior de la cárcava.

5.2.3 Deslizamientos diédricos

Este ocurre cuando la intersección de dos discontinuidades estructurales tiene “plunge” crítico, en el mismo sentido de la pendiente del talud. (Figura 34). Ladera abajo se presenta este proceso en tipo de roca dura, sobre estratos de metasedimentitas y cuerpos ígneos; estos deslizamientos son controlados por las estructuras geológicas (diaclasas y fallas) que afectan este macizo rocoso.



Figura 34. Deslizamiento diédrico. Resaltado las cuñas que quedan como evidencia del material desplazado que antes se ajustaba entre ellas.

5.2.4 Deslizamientos planares

Consta de un movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla en macizos rocosos consisten en el deslizamiento como unidad o unidades (bloques) talud abajo, a lo largo de una o más superficies planas. También puede generar una falla de cuña a lo largo de la intersección de dos planos, consistente de uno o varios bloques de pequeño a gran tamaño. Se dan hacia la base de la cárcava, condicionados por las diaclasas y fallas presentes en las rocas duras del Complejo Quebradagrande.

5.2.5 Caída de bloques

Bloques de roca (Caída de roca) o material suelto (Caída de tierra) que se desprende de un talud de pendiente fuerte a través del aire por caída libre, a saltos o rodando sobre la superficie; no involucra corte del talud, por tanto su velocidad es extremadamente rápida lo cual puede ocasionar grandes afectaciones a actores expuestos. En el macizo rocoso de la cárcava El Tablazo son comunes los desprendimientos de bloques, debido el diaclasamiento y a la intensidad de los procesos de meteorización, a la erosión hídrica y a la intensidad de la escorrentía en la ladera. Son transportados en caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75° , menos de 45° tienden a rodar y entre estos rangos rebotan; (Figura 35).

5.2.6 Flujos

Movimientos de bloques pequeños de roca y/o de material residual saturado que se mueve sobre una superficie de falla; pueden ocurrir en presencia de agua o en seco, adquieren gran energía en las laderas escarpadas. En la Cárcava El Tablazo, estos se transportan por la presencia de surcos que descienden por la ladera hasta desembocar en el cauce principal; Los materiales son poco consolidados, alterados, fracturados y agrietados, los cuales absorben agua fácilmente y su saturación conduce a la formación de flujos.



Figura 35. Caída de bloques y flujo de detritos.se presentan en la parte superior de la Cárcava.

5.2.6.1 Flujos de detritos

Los flujos pueden ser de roca, de residuos (detritos); en la cárcava estos son frecuentes en zonas de alta pendiente y escasa vegetación, con inclinación fuertes mayores a 45°, en rocas ígneas. Su ocurrencia es mayor en las rocas ígneas y meta-sedimentarias del C. Quebradagrande. (Figura 35).

5.2.6.2 Flujos de lodo

Se denominan flujos de lodo cuando materiales de suelo muy finos con humedades altas forman una masa viscosa; sobre la cárcava estos derivan hacia los cauces provocando fuerzas destructoras grandes debido a la velocidad con que se transportan ladera abajo, donde se presenta la zona acumulación.

Estos movimientos en masa se presentan según las condiciones de las laderas; en la ladera oriental en cercanías al barrio Gutiérrez presenta mayores rasgos de afectación debido a su alta pendiente y a la disposición del macizo rocoso con buzamiento hacia el este; la ladera norte es la que mayor incidencia ha tenido debido a estos procesos, ha afectado la infraestructura de la vereda el Alto Tablazo, arrasando consigo viviendas, establecimientos comerciales, vías, áreas de cultivos, entre otros, y amenazando inminentemente las estructuras que aún se conservan en cercanías a la corona de la cárcava.

La ladera occidental presenta un macizo rocoso más estable, presentado laderas con vegetación, indicadora de estabilidad, aunque la vereda Guacas también se ha visto afectada en su ladera interna con desprendimiento de material, ha habido intervención con estructuras en cemento, pero que de igual forma han sido removidas por el desplazamiento de masas y formación de surcos y micro-cárcavas. Hacia la parte inferior se presentan arcillas, lodolitas silíceas y Basaltos muy resistentes, sobre las cuales los procesos erosivos y movimientos en masa tienen poca incidencia. Sobre estos materiales se depositan, las unidades de roca y componentes que descienden desde la parte alta, generando una gran acumulación de detritos en el cauce principal.

Frecuentemente los procesos de erosión presentan la combinación de dos o más sus tipos; un proceso activo puede convertirse en otro a medida que progresa el fenómeno de la erosión; en la actualidad la Cárcava El tablazo, presenta una combinación de procesos y deslizamientos, por lo tanto se define como un movimiento en masa compuesto.

5.3 MORFOMETRIA

A través de la morfometría se hallan las pendientes de las laderas que constituyen la zona de estudio. El principal objetivo del análisis de pendientes es servir de base para la planificación del uso apropiado de las tierras y el tratamiento de conservación del suelo. A continuación se presenta el mapa de pendientes en grado correspondiente a la zona del tablazo, (Figura 36).

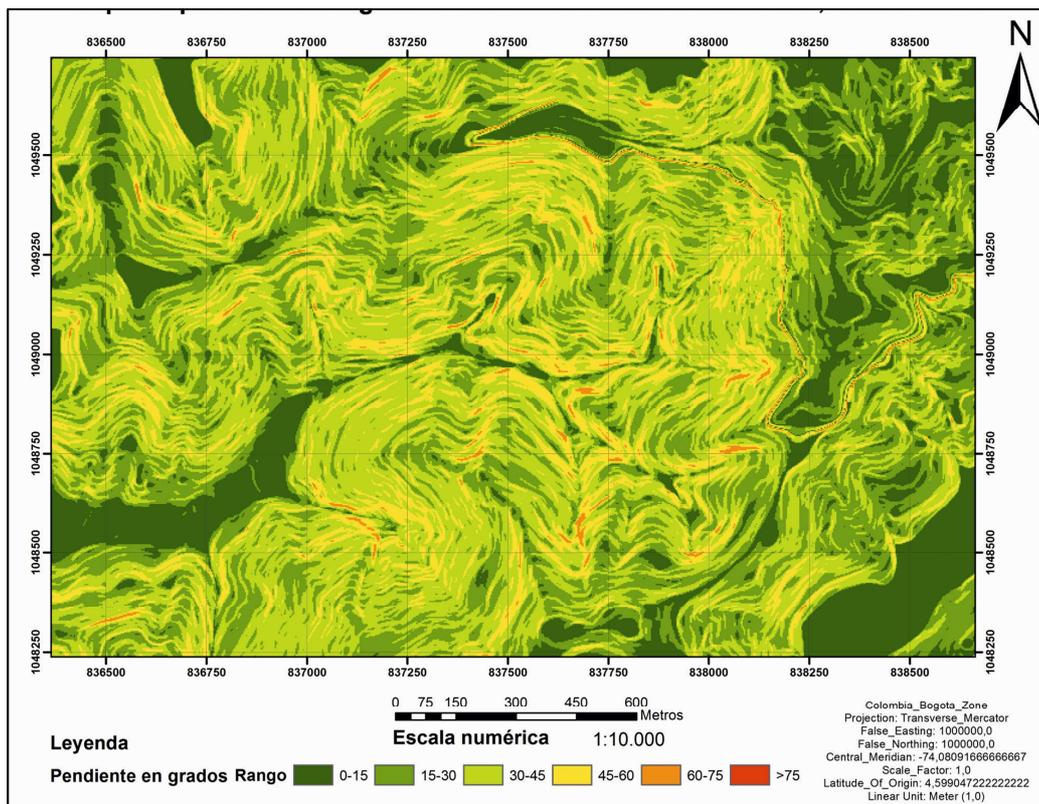


Figura 36. Mapa de pendiente en grados del área de estudio.

5.3.1 Pendientes bajas

Se establecen en el rango 0° - 15° ; se hallan principalmente en la parte Nor-Oriente de la zona de estudio, precisamente en donde se asientan los habitantes de la vereda el Alto Tablazo; en este lugar se encuentran erradicadas edificaciones de uso residencial, rural y comercial; por lo tanto en las pendientes bajas es donde hay mayor intervención antrópica.

Esto terrenos de corresponden a los depósitos conglomeráticos de la Formación Casabianca.

5.3.2 Pendientes medias

Se establecen en el rango $15^\circ - 30^\circ$, en estas zonas se presentan algunos procesos erosivos con pocos movimientos masales.

5.3.3 Pendientes altas

Se establecen en el rango $30^\circ - 45^\circ$, estas son las más frecuentes en toda la extensión de las laderas de la cárcava; corresponden a laderas con vegetación nativa y en algunos casos corresponden a material removido; las pendientes altas se hallan usualmente en las zonas más cercanas a los cauces de la cárcava.

5.3.4 Pendientes muy altas

Se establecen en un solo rango de 45° ; en la zona de estudio este tipo de pendientes se dan en el macizo rocoso del complejo Quebradagrande.

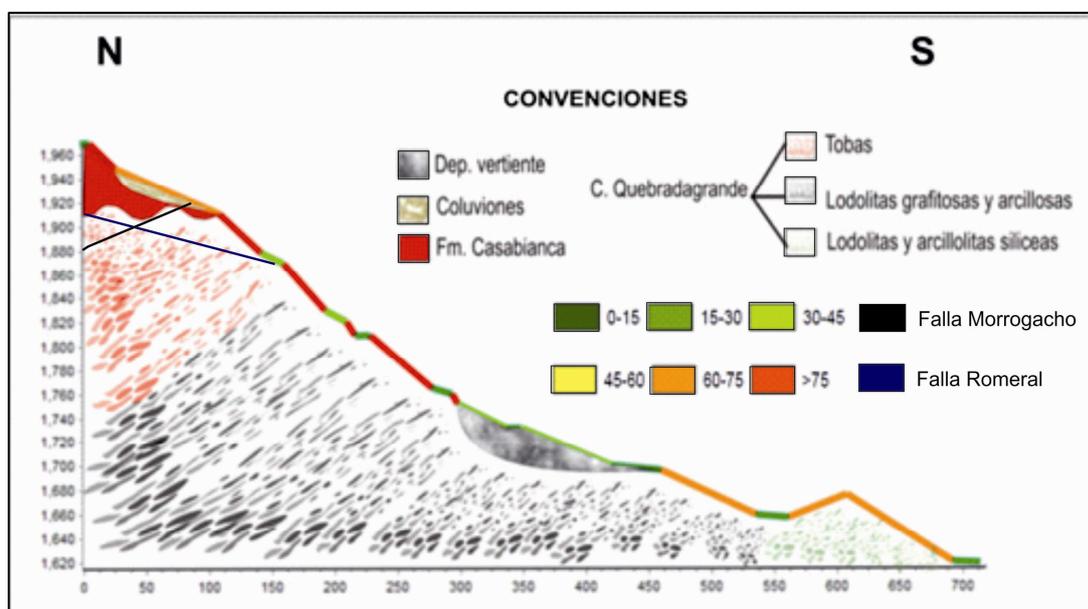


Figura 37. Corte esquemático en sentido N – S del área de estudio. Se muestra las pendientes en grado, la geología y las dos fallas locales.

Las tierras con pendiente inferior a 25 grados y suelo profundo se pueden tratar con las medidas prescritas de conservación de suelos como C (cultivables). De 25 a 30 grados, sin son tratables, las tierras se clasifican como FA (árboles para alimentos y frutos). Todas las tierras con más de 30 grados de inclinación (o menos de 30 grados, pero no tratables) deben clasificarse para otros fines, p.ej. bosque, pastizal, agroselvicultura, etc., para contar con una cubierta vegetal permanente (SHENG, 1992).

6. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Climatológicamente, Manizales se caracteriza por los siguientes aspectos: Se encuentra localizada en la Región Andina, con una altitud promedio de 2150 m.s.n.m., un clima característico ecuatorial de montaña, con dos períodos de máxima precipitación en el año (tipo bimodal), uno entre marzo y mayo y otro hacia los meses de septiembre a diciembre, un promedio anual aproximado de precipitación de 2000 mm y de temperatura de 18°C.

En cuanto al crecimiento urbano y sus patrones de expansión, en términos generales, se tiene una ciudad que nació en una meseta estrecha y poco a poco se fue extendiendo sobre las vertientes de ésta, llegando a urbanizar terrenos difíciles de fuertes pendientes; erradicando los bosques y la vegetación nativa, alterando la evaporación, transpiración y humedad relativa.

La cuenca de la quebrada El Salado, en la parte de la cárcava el Tablazo, presenta varios cambios en el uso de suelo, desde selvas humedad a cultivos de café con sombrío y posteriormente a café tecnificado; este cambio del uso suelo está asociado a la tala de árboles, actividades agrícolas y pecuarias en la ladera, actividades responsables en las alteraciones que sufrió la cuenca en su respuesta hidrológica (Escobar, P. 2006).

EL estado del tiempo, en la ciudad de Manizales es monitoreado a través de una red de estaciones hidrometeorológicas por parte del Instituto de Estudios Ambientales – IDEA. Los Datos hidrometeorológicos en tiempo real son registrados por veintiocho (28) estaciones ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad. En la zona de estudio, en el sector del Tablazo el canal de acopio es la ESTACIÓN CHEC URIBE localizada al norte de la cárcava; con registro de pluviométrico de los últimos 4 años (la estación comenzó su funcionamiento en abril de 2010).

A continuación se hace una reseña entre el año 2008 hasta el 2014, según las estaciones presentes de la Red Meteorológica de Manizales, para la zona de estudio.

6.1 Años 2008 – 2010

Características máximas	Unidades	Máximas	Fecha	Estación	Sector
Duración	horas	12.65	2008-11-14	Posgrados	Centro
Intensidad media	mm/h	46	2010-10-27	El Carmen	Occidente
Intensidad máxima en 5 minutos	mm/h	140	2010-10-27	Ingeominas	Occidente
Indicador A25	mm	663	2008-12-04	El Carmen	Occidente

Figura 38. Cuadro de las características máximas de lluvias en Manizales. Tomando y modificado del IDEA.

El año más lluvioso en Manizales en 52 años de registro fue el 2008 con 2717 mm en estación Posgrados (Referencia: 2627 mm en 1999, estación Agronomía) alcanzando máximos históricos hacia el occidente de la ciudad (estación El Carmen) con 3920 mm.; (Figura 38). El indicador de lluvia antecedente de 25 días alcanzó su máximo valor en la primera semana de diciembre de 2008 en lo que lleva de funcionamiento la Red (662.94 mm – 231% por encima del umbral de los 200 mm).

6.2 Año 2011

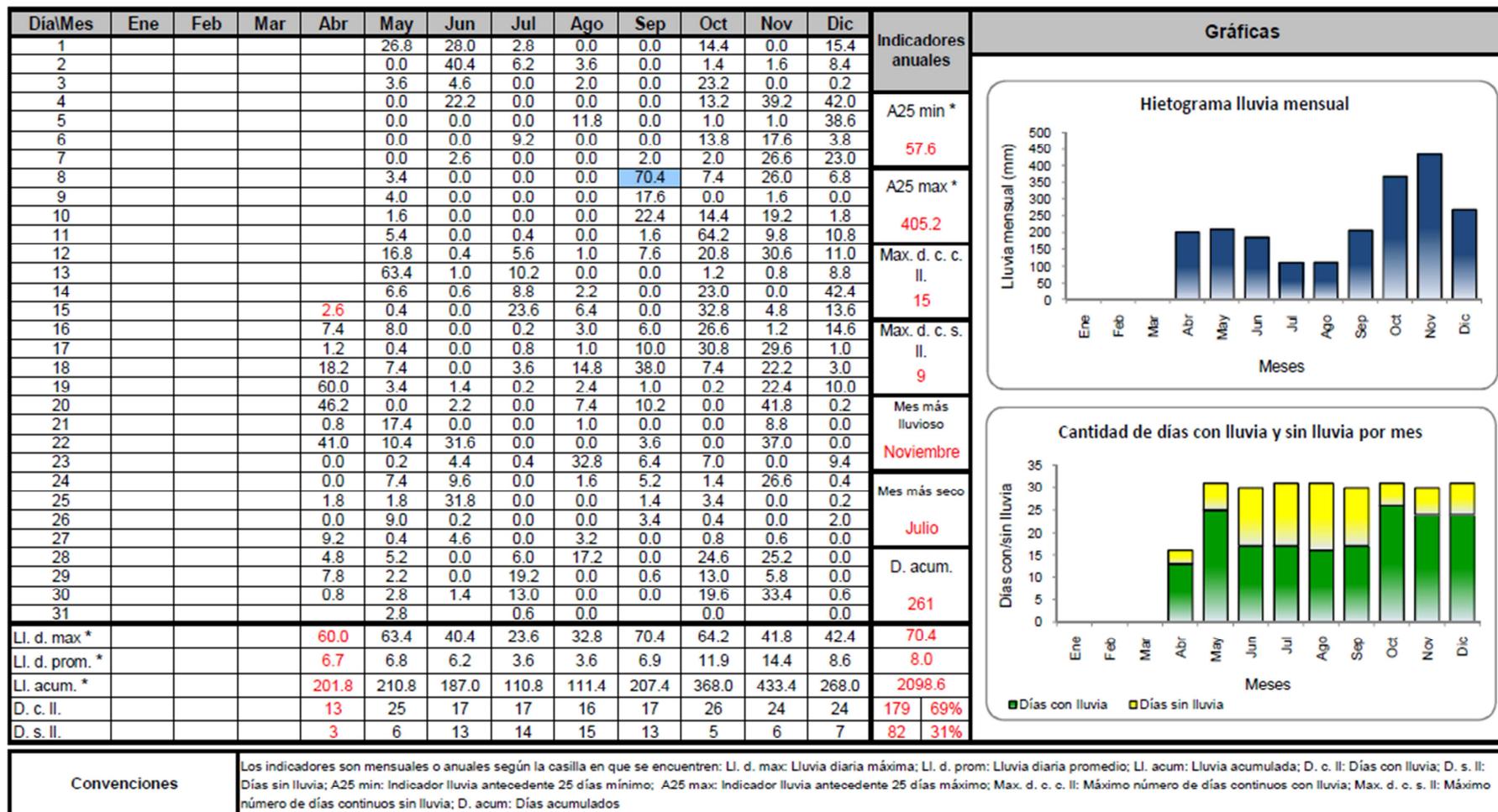


Figura 39. Características de lluvias en Manizales para el año 2011.

6.3 Año 2012

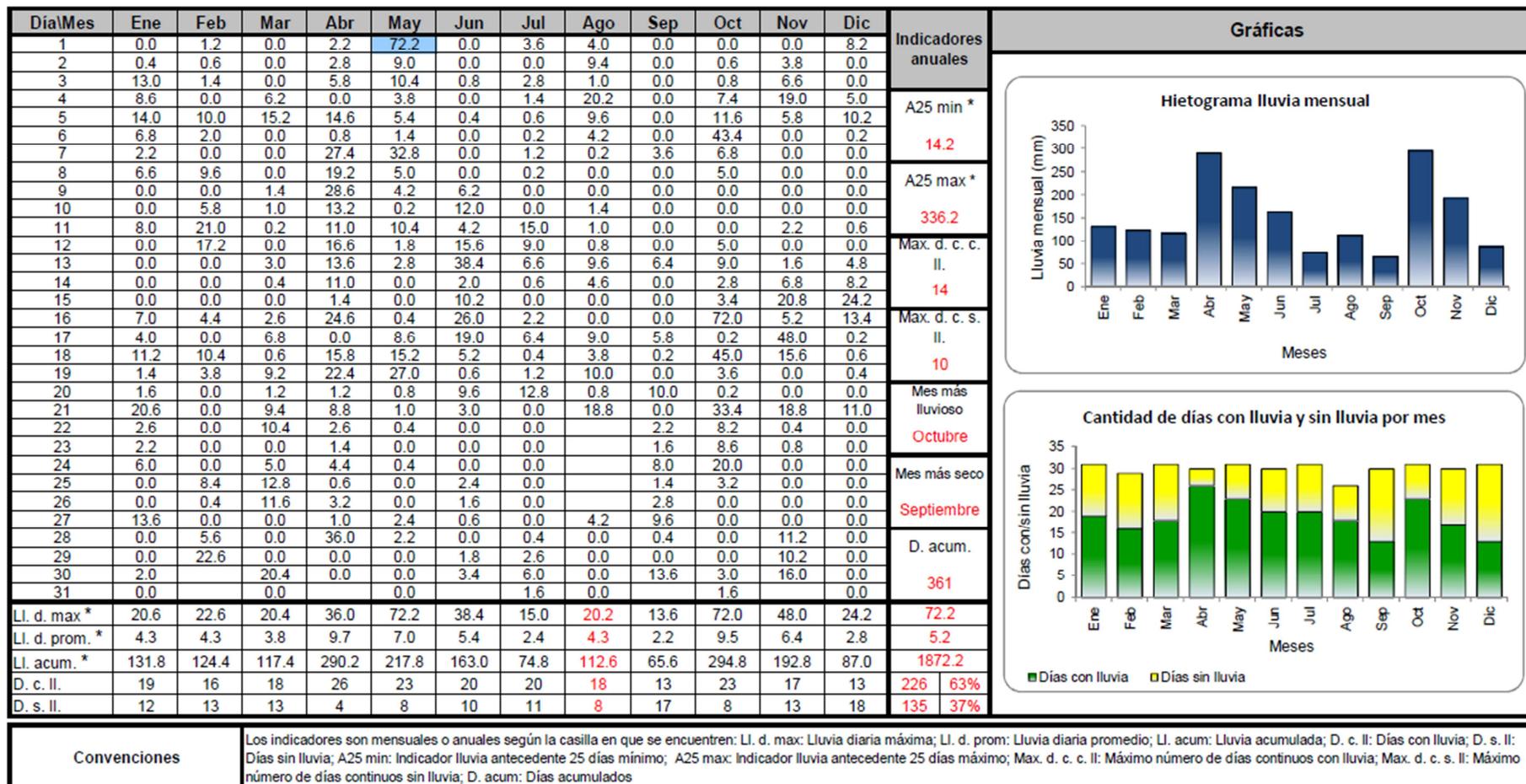


Figura 40. Características de lluvias en Manizales para el año 2012.

6.4 Año 2013

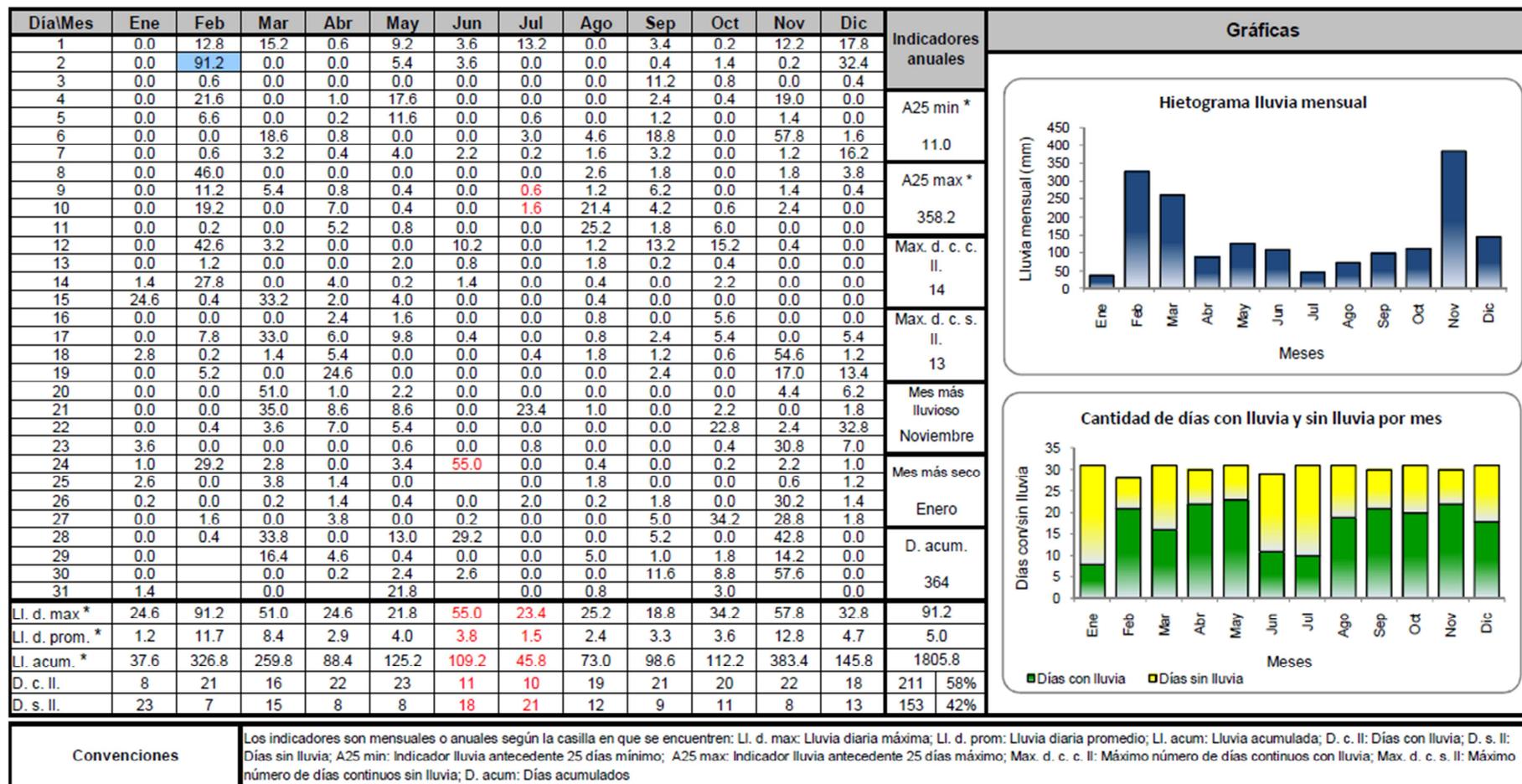


Figura 41. Características de lluvias en Manizales para el año 2013.

6.5 Año 2014

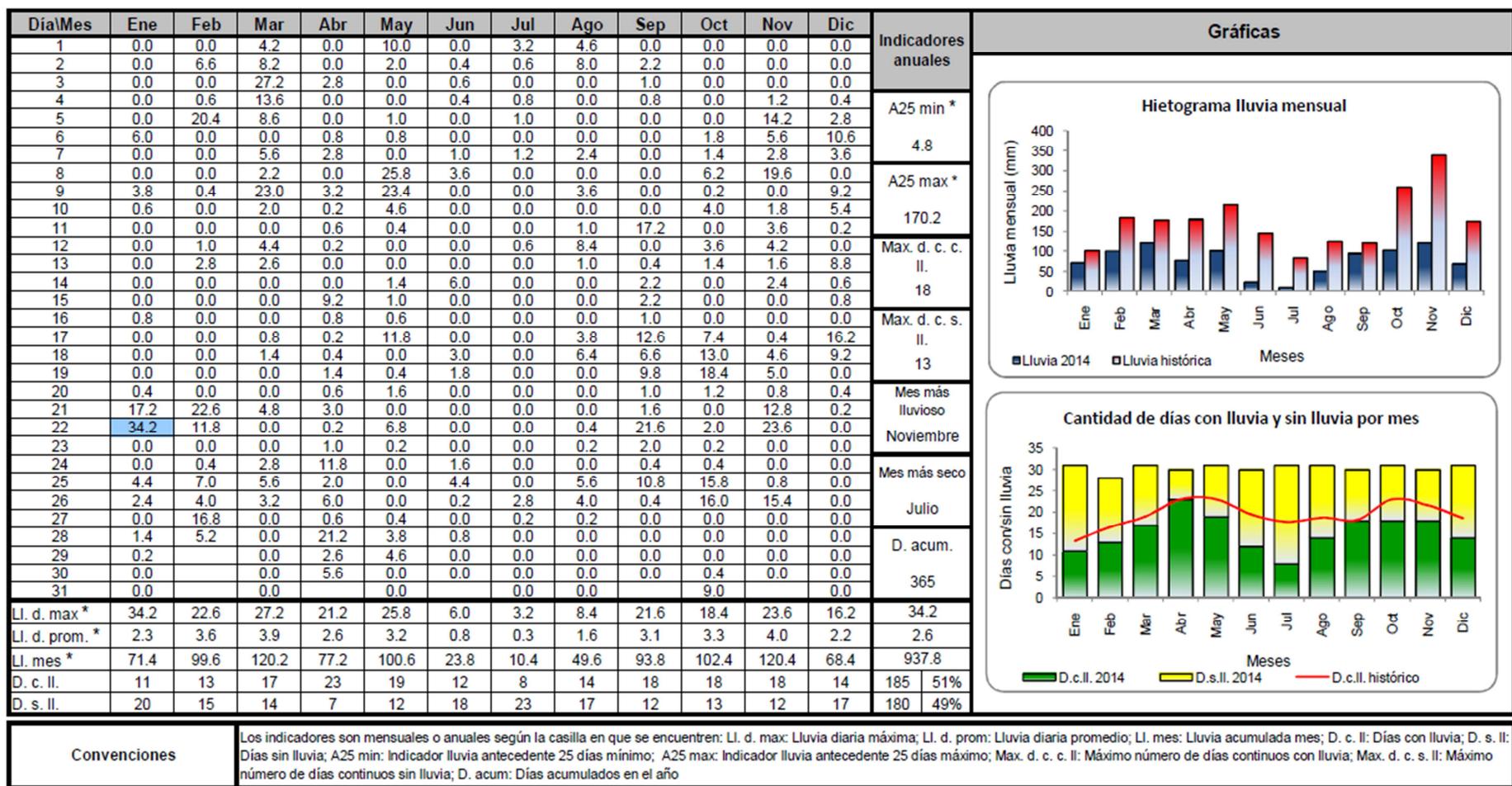


Figura 42. Características de lluvias en Manizales para el año 2014.

Manizales debido a la alta pluviosidad, a las altas pendientes y al uso antrópico, presenta una gran susceptibilidad a generar deslizamientos. El factor más influyente generador de deslizamientos en la zona de estudio, es la alta y prolongada precipitación presente a lo largo del año.

En el sector del Tablazo se puede observar que llueve durante un alto porcentaje en el año, cayendo considerables cantidades de lluvia sobre el área de estudio, de esta manera se indica que el agua al drenarse actúa como principal agente detonante de los procesos y movimientos en masa, además de la intervención drástica de los drenajes naturales que acarrear consigo sedimentos que socavan y profundizan el canal.

Los valores de precipitación media mensual son altos y determinan las condiciones para clasificar la zona en una provincia de humedad elevada, con balance hídrico positivo (Escobar, P. 2006).

7. SOLUCIÓN ECO-AMBIENTAL

Las cárcavas remontantes son frecuentes en la zona cafetera colombiana, principalmente en suelos con pendientes mayores del 40% y originados de materiales metamórficos fracturados, con meteorización avanzada. También en suelos formados por cenizas volcánicas que reposan sobre materiales metamórficos y en aquellos suelos de origen sedimentario.

El control de este tipo de cárcavas por lo general se torna complejo, ya que en el proceso intervienen aguas superficiales y subsuperficiales, que ocasionan saturación del área, profundización del cauce principal de la cárcava, destrucción de sus taludes, movimientos masales, derrumbes, agrietamientos, represamiento de aguas de escorrentía y avalanchas, que destruyen las obras efectuadas previamente en el drenaje aguas abajo (Riviera, P. 1998).

Para la regulación de cárcavas y movimientos masales, Rivera 1998, 1999, 2001, 2002, arguye que es imprescindible un conocimiento integral acerca de las interacciones: roca – suelo – pendiente – clima – planta – animal – infraestructura – hombre, para así determinar de forma precisa la relación causa - efecto de la amenaza y el control de la misma.

Hacia la solución de esta problemática, nos encontramos con que las practicas ecológicas y ambientales son las que mejor se ajustan al contexto y necesidades que demandan en cuestión dicha cárcava; ya que Las obras en concreto en ocasiones propician mayor peso en la ladera y la acumulación de

aguas causando saturación del terreno, lo que da origen a la formación de coladas de lodo que pueden arrastrar consigo las obras realizadas.

La solución eco-ambiental por medio de tratamientos biológicos, trata la prevención y control de la erosión, protección y estabilización de taludes y problemas de movimientos masales, con base en la ecuación universal de erosión y de la resistencia al cortante tangencial de los materiales, que tiene en cuenta los procesos físicos, químicos y biológicos de los fenómenos degradativos.

7.1 DISEÑO ECO-AMBIENTAL

Para generar el diseño basado en prácticas ecológicas y ambientales, en pro a la solución de la Cárcava El Tablazo, se implementó el uso de tres técnicas relativamente sencillas y de bajo costo; las cuales en su tratamiento buscan una integración con los materiales que componen la cárcava, para que de esta manera haya un equilibrio entre la naturaleza de la misma con la implementación de las estructuras adecuadas para su auto-suportación, dando como resultado un balance natural entre problemática y solución.

El diseño digital, tiene en cuenta los parámetros de la construcción de filtros y trinchos e implementación del mallado de biota, alineándose a las condiciones del terreno, pendiente y tipo de material sobre el cual está la ladera; la ecuación correspondiente para su espaciado y funcionalidad brindan una exactitud de implementación a las prácticas ecológicas. A través de software como Autocad 2014 y Arcgis 10.1, se realiza el modelamiento 2D y 3D del área que comprende la Cárcava El Tablazo utilizando la cartografía IGAC HOJA N° 206-II-D-1 del año 2004, de forma tal que se realiza un trazado del área total y la introducción de las técnicas eco-ambientales respectivas para su posible solución y autosoporte.

7.1.1 Construcción de Trinchos Vivos

En la implementación de trinchos, los materiales vegetales empleados deben ser de rebrote fácil, para que posteriormente se transformen en una estructura viva. La construcción de los trinchos se debe realizar siempre de arriba hacia abajo del drenaje, con guadua joven (menor de dos años), estacas de quiebrabarrigo o nacedero, matarratón, caña brava y sauce entre otros; el diámetro debe ser mayor de 5cm y longitud de 0,5 a 1,00m para que de manera sencilla se regeneren y amarren el terreno transformándose en estructuras vivas multistratas y permanentes. (Figura 44).

Sobre los taludes y en el cauce del canal, los trinchos deben quedar bien empalmados con una altura efectiva baja, máximo entre 0,5m a 0,7m con vertedero central para evitar su colmatación y posterior volcamiento.

En zonas de ladera de la zona cafetera colombiana, donde predominan las lluvias frecuentes y de intensidad alta, estos trinchos no cumplen una función de muros de contención, sino como disipadores de energía, función contraria a lo esperado en zonas planas.

Cuando en el área de captación, alrededor de la cárcava y dentro de ella, ocurren agrietamientos, estos se deben sellar con material arcilloso de la misma cárcava y compactar con un mazo. De esta manera, se evita en épocas lluviosas que haya infiltraciones, saturación del terreno y movimientos masales, ya que se favorece la escorrentía máxima.

Los trinchos vivos deben de llevar especificaciones especiales según Riviera (2002), ya que los caudales de agua son muy variables en el año y a través del tiempo, debido a la presencia de lluvias de duración intensa y frecuencia diferente. En zonas de ladera, los trinchos no pueden asimilarse a un muro de contención ni de retenedores de sedimentos que conduzcan a su colmatación y posterior volcamiento, estos en realidad actúan como disipadores de energía de las aguas escorrentía y por lo tanto, estas estructuras para no convertirse en acumuladores de sedimentos no pueden superar 1 metro de altura, para así garantizar el paso libre del agua sin obstrucciones.

La fórmula más sencilla recomendada para calcular el espaciamiento entre trinchos es la propuesta por Anaya et al. 1977 en Rivera, P. 2008. (Figura 43).

$E = \frac{H}{S} * 100$ Donde: E = Distancia entre dos trinchos consecutivos (m),
 H = Altura efectiva entre trinchos (m) y S = Pendiente de la cárcava (%).

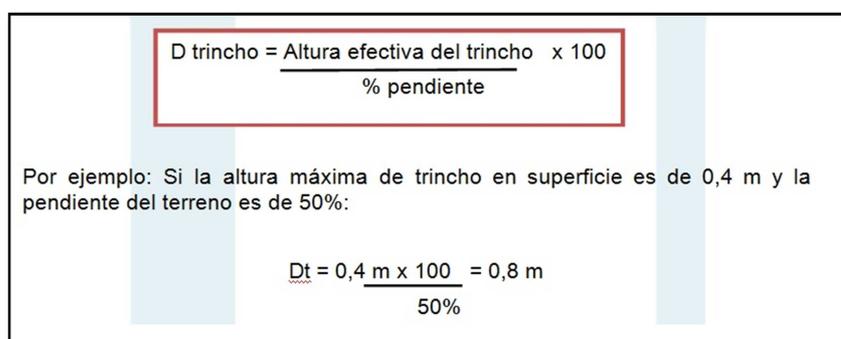


Figura 43. Fórmula para el espaciamiento entre trinchos.

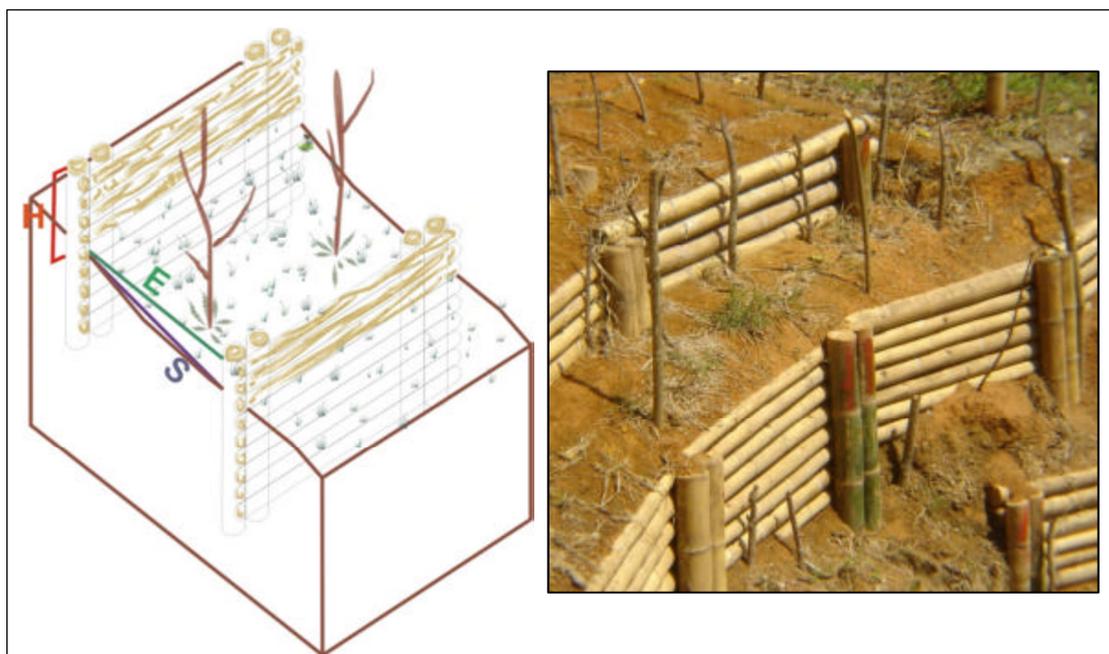


Figura 44. Esquema de la implementación adecuada de trinchos vivos.

7.1.2 Construcción de Filtros Vivos

Los filtros vivos son un tratamiento que consiste en la construcción de zanjas o canales en forma de espina de pescado, en sentido de la pendiente del terreno con profundidad dada por el cambio de permeabilidad de los materiales, por lo general pueden tener hasta 5m de profundidad; con el fin de evacuar rápidamente las aguas superficiales y subsuperficiales, para evitar así infiltraciones y posibles movimientos masales producto de la saturación de capas permeables que se deslizan ladera abajo por efecto de la pendiente, la fuerza de gravedad del terreno y la presencia de planos de deslizamiento tales como el material parental superficial o de capas impermeables dentro del perfil.

Estas zanjas se llenan con varios tendidos (3 a 4) de guaduas jóvenes (*Guadua angustifolia*) menores de dos años de edad, tendidas a todo lo largo y en el sentido de la pendiente. La longitud de la guadua y las ramas vivas pueden ser de 1m a 3 m, dependiendo de la irregularidad del terreno, las cuales se colocan unas a continuación de otras en forma ininterrumpida, suficientes para formar un filtro vivo, de manera tal que el agua pueda fluir libremente. (Figura 45).

Este tipo de filtro se puede hacer también con estacas de plantas que rebrotan fácilmente, tales como el quebrabarrigo o nacedero, matarratón, caña brava entre otros, y como en el caso anterior se conviertan luego en un bosque de

galería de protección que permite el paso libre del agua y estabilización de la cárcava (Riviera, P. 1998).

No obstante, en zonas de ladera y especialmente en aquellos sitios irregulares y totalmente inestables, es preferible hacer un sistema de drenajes en forma empírica, buscando los afloramientos de agua o donde se está acumulando, los cuales son detectados fácilmente ya sea utilizando un barreno o caminando, ya que por lo general son los lugares más blandos dentro del terreno (Rivera, P. 2008).

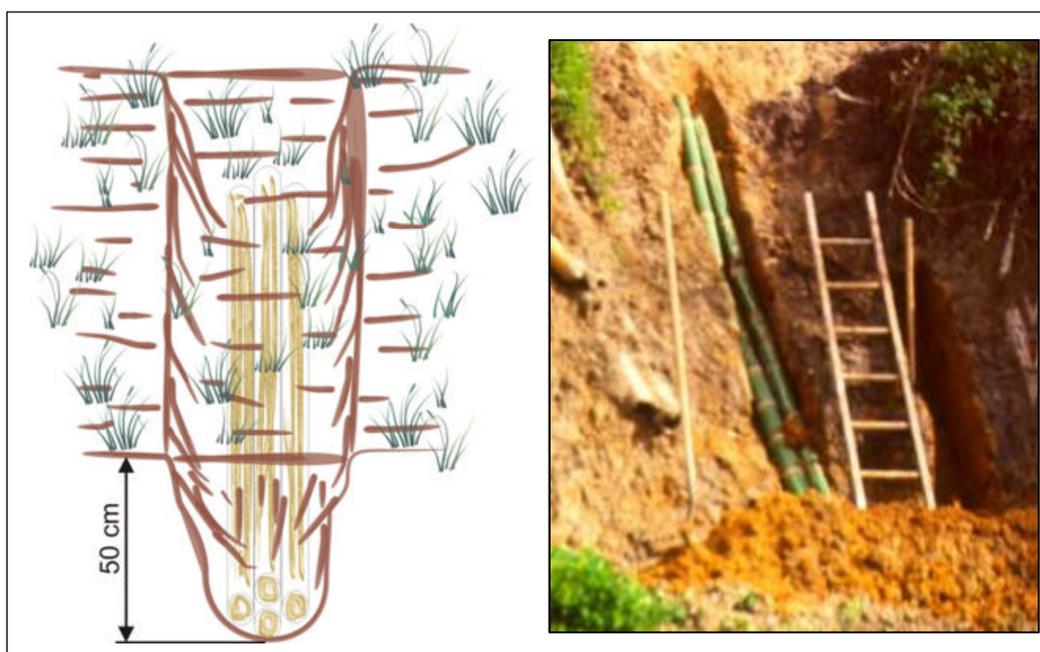


Figura 45. Esquema de implementación adecuada de filtros vivos.

La implantación de los filtros vivos se debe realizar a través de la red de drenajes en sentido de la pendiente en toda el área de la Cárcava El Tablazo, de la misma forma y perpendicular a estos se implementan trinchos con vertederos; la función de los filtros es la de expulsión adecuada y canalización de las aguas sub-superficiales. Hacia la parte superior de la cárcava sobre los depósitos no consolidados de la F. Casabianca se instalan los trinchos siguiendo el espaciado de la pendiente según la formula preestablecida, el objetivo de esta bio-estructura es la de generar auto-soporte del talud; en el mismo sector se realiza la plantación de biota de rápido brote y características adecuadas según al terreno de la zona de estudio, como se describe a continuación.

7.1.3 Biota

Finalmente, toda el área de captación de la cárcava, se debe sembrar con vegetación multistrata de crecimiento rápido existente en la zona del problema, para ayudar a la estabilización del terreno, tales como:

Pastos kikuyo,

Yaraguá (*Melinis minutiflora*)

Argentina (*Cynodon dactylon*), puntero (*Hyparrhenia rufa*)

India o guinea (*Panicum maximum*)

Estrella (*Cynodon plectostachyus*)

Leguminosas tales como kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*)

Añil rastrero (*Indigofera spicata*),

Maní forrajero (*Arachis pintoi*)

Árboles y arbustos de fácil propagación vegetativa y por semilla, tales como estacas de quiebrabarrigo o nacedero, matarratón, caña brava, sauce, guadua, guaduilla (*Phyllostachis aureus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) entre otros. Se debe hacer seguimiento permanente de las obras establecidas, especialmente en las épocas lluviosas, después de cada aguacero intenso, para su rectificación oportuna y el sellado permanente de grietas. (Riviera, P. 1998).

El tratamiento de cubrimiento con vegetación de carácter denso, se realiza para evitar el impacto directo de las lluvias y así contrarrestar las pérdidas superficiales de suelo debido a la erosión; esta vegetación, a la vez actúa como refuerzo mecánico al aumentar la cohesión del suelo y de los materiales fracturados; además permite una evapotranspiración permanente, disminuyendo la presión de poros en el terreno. Es de importancia tener en cuenta estos coeficientes, en la resistencia de las laderas, ya que esos parámetros están relacionados con los movimientos masales.

El biomanto se implementa en el macizo rocoso del Complejo Quebradagrande, y va sujetado las estacas de los trinchos; la función de este es la de actuar como fertilizante natural y proveedor de biota que se pueda adaptar a las condiciones del terreno y su bote sea efectivo para que sirva de capa protectora contra la degradación de la unidad rocosa.

8. PRESUPUESTO

ITEM	DESCRIPCION	UN	VR UNIT
CAPITULO I - TRABAJOS PRELIMINARES			
1.1	ROCERIA Y LIMPIEZA		
1.1.1	CON TRANSPORTE DE DESECHOS	M2	\$ 1.396
1.1.2	SIN TRANSPORTE DE DESECHOS	M2	\$ 809
1.2	CERCAS		
1.2.1	CERCAS EN POSTES DE MADERA	MI	\$ 8.159
1.2.2	CERRAMIETO EN GUADUA H=1,5 METROS	ML	\$ 16.182
1.3	TAPONAMIENTO DE GRIETAS		
1.3.1	CON ARCILLA	MI	\$ 11.736
CAPITULO II - MOVIMIENTO DE TIERRAS			
2.1	EXCAVACIONES EN ZANJA		
2.1.1	HASTA DOS METROS DE PROFUNDIDAD		
2.1.1.1	TIERRA SECA	M3	\$ 15.476
2.1.1.2	TIERRA HUMEDA	M3	\$ 17.641
2.1.1.3	CONGLOMERADO	M3	\$ 22.661

2.1.1.4	ROCA	M3	\$ 70.013
2.1.2	DE DOS A CUATRO METROS DE PROFUNDIDAD		
2.1.2.1	TIERRA SECA	M3	\$ 17.906
2.1.2.2	TIERRA HUMEDA	M3	\$ 20.258
2.1.2.3	CONGLOMERADO	M3	\$ 26.106
2.1.2.4	ROCA	M3	\$ 81.172
2.1.3	A MAS DE CUATRO METROS DE PROFUNDIDAD		
2.1.3.1	TIERRA SECA	M3	\$ 24.443
2.1.3.2	TIERRA HUMEDA	M3	\$ 26.274
2.1.3.3	CONGLOMERADO	M3	\$ 31.464
2.1.3.4	ROCA	M3	\$ 87.319
CAPITULO III - REHABILITACION DE OBRAS EN CONCRETO OPCIONAL			
3.1.	OBRAS EN CONCRETO SIMPLE		
3.1.1	PAVIMENTOS	M3	\$ 444.678
3.1.2	CUNETAS		
3.1.2.1	CUNETAS VIA VEHICULAR	M3	\$ 436.766
3.1.2.2	CUNETAS VIA PEATONAL	M3	\$ 424.637
3.1.3	SARDINELES	M3	\$ 1.013.924
3.1.4	PEATONALES		

3.1.4.1	ESCALAS	M3	\$ 434.834
3.1.4.2	RAMPAS	M3	\$ 421.009
3.2.1	DEMOLICIONES	M3	\$ 78.757
3.3	ROTURA DE PAVIMENTOS		
3.3.1	EN CONCRETO	M2	\$ 16.600
3.3.2	EN ASFALTO	M2	\$ 10.542
3.3.3	CORTE ANDEN DE CONCRETO CON DISCO (3.5 cm)	ML	\$ 5.002
3.3.4	CORTE PAVIMENTO DE CONCRETO CON DISCO (5.0 cm)	ML	\$ 6.142
CAPITULO IV - GAVIONES OPCIONAL			
5.1	GAVIONES CON COSTALES DE FIBRA CON SUELO	M3	\$ 137.960
CAPITULO V - DRENAJE SUBTERRANEO OPCIONAL			
5.1	DREN EN ZANJA		
5.3.1	CON TELA DIAMETRO DE 65 m.m	ML	\$ 18.209
5.3.2	CON TELA DIAMETRO DE 100 m.m	ML	\$ 36.162
5.3	GEOTEXTILES		\$ 0
5.3.1	SUMNISTRO Y COLOCACION DE GEOTEXTIL NT - 1600 NT	M2	\$ 4.915
5.3.2	SUMNISTRO Y COLOCACION DE GEOTEXTIL T - 1400	M2	\$ 8.489
5.3.3	SUMNISTRO Y COLOCACION DE GEOTEXTIL NT - 2500	M2	\$ 8.395
CAPITULO VI - ACARREOS			
6.1	SOBREACARREOS EN VEHICULO AUTOMOTOR	M3	\$ 21.166

6.2	BOMBEO	M3	\$ 7.446
6.3	SOBREACARREO EN VEHICULO NO AUTOMOTOR		\$ 0
6.3.1	SOBREACARREOS VEHICULO NO AUTOMOTOR - EN CARRETA FUERTE PENDIENTE	M3-HM	\$ 15.461
6.3.2	REPALCO MANUAL	M3-HM	\$ 14.364
6.3.5	SOBREACARREOS VEHICULO NO AUTOMOTOR - AL HOMBRO FUERTE PENDIENTE	M3-HM	\$ 68.755
CAPITULO VII - OBRAS ECO-AMBIENTALES			
7.1	BARRERAS VIVAS DE CORONA		
7.1.1	CON LIMONCILLO Y/O CITRONELA O SIMILAR	UN	\$ 1.208
7.1.2	CON GUADILLA, BAMBU O SIMILAR	UN	\$ 1.367
7.2	BARRERAS VIVAS TRANSVERSALES		\$ 0
7.2.1	CON LIMONCILLO Y/O CITRONELA O SIMILAR	UN	\$ 1.302
7.2.2	CON GUADILLA, BAMBU O SIMILAR	UN	\$ 1.412
7.3	REVEGETALIZACION		\$ 0
7.3.1	CON ESTACAS DE CAÑABRAVA O SIMILAR	ML	\$ 1.309
7.3.2	CON ESTACAS DE MATARATON, QUIBRABARRIGO O SIMILAR	ML	\$ 1.656
7.3.3	CON GUADUA O ESPECIES FORESTALES	ML	\$ 1.766
7.4	COBERTURA VEGETAL		
7.4.1	EMPRADIZADO	M2	\$ 6.101
7.4.2	CON MANI FORRAJERO	M2	\$ 6.641

7.4.3	CON BIOMANTO DE COSTALES DE FIQUE	M2	\$ 18.821
7.5	FILTROS VIVOS EN GUADUA(0.40X0.4MTS) 16 GUADUAS/ML	ML	\$ 20.191
7.5.1	FILTROS VIVOS EN GUADUA (0.50 X0.50 MTS.) 22 GUADUAS / ML	ML	\$ 34.940
7.6	TRINCHOS O EMPALIZADOS		
7.6.1	EN ESTERILLA	ML	\$ 6.707
7.6.2	EN GUADUA	M2	\$ 30.492
CAPITULO XII - PERSONAL			
8.1	JORNALES	SMMV	\$ 1
8.2	RANGO 1	SMMV	\$ 3
8.3	RANGO 2	SMMV	\$ 6
8.4	RANGO 3	SMMV	\$ 8
CAPITULO IX - COMPLEMENTARIOS			
	COSTO TOTAL PROMEDIO DE LAS OBRAS	HA	
	ADMINISTRACION	20%	
	IMPREVISTOS	3%	
	UTILIDAD	7%	
	IVA (16% SOBRE LA UTILIDAD)	16%	
	COSTO TOTAL DE LAS OBRAS (INCLUYE IVA)		\$ 11.312.000.000

9. CONCLUSIONES

- El enfoque para el control de la erosión y los movimientos masales, no se debe hacer únicamente a la construcción de estructuras, ya sean de concreto o bioingeniería, sino que primero se debe determinar la relación Causa - Efecto del proceso degradacional.
- La perspectiva ingenieril para solucionar los problemas que implique movimientos masales y demás procesos erosionales, no se ajusta correctamente a todos los casos y menos donde la inclinación de las laderas es alta como el caso de la Cárcava El Tablazo, ya que las construcciones en concreto no se integran al terreno de manera natural, estas ceden de él y colapsan, convirtiéndose en carga y obstrucción para red hidrográfica del talud, cauce V. Guacas, Cauce B. Gutiérrez y Quebrada El Tablazo (cauce principal).
- Según lo observado en las fotografías aéreas, el proceso de expansión areal de la cárcava en los últimos 7 años ha tenido un avance excepcional en comparación con años anteriores, evidenciando que esta se mantiene activa constante y evolucionaria en sus procesos degradativos.
- El macizo rocoso de en la parte más baja, cerca de los 1500 m.s.n.m., macroscópicamente presenta una roca masiva, afanítica tipo basáltica, hacia la parte más superior después de los 1650 m.s.n.m., se presenta lodolita grafitosa, ambas del C. Quebradagrande; hacia la corona de la cárcava se observa depósitos volcanoclásticos de la F. Casabianca.
- El sistema de fallas Romeral ejerce control estructural sobre el cauce de la quebrada El Tablazo. Es de anotar que el Complejo Quebradagrande en la zona de estudio está buzando hacia el Este, lo cual implica que ocurran mayores deslizamientos sobre las laderas del cauce principal y el del Barrio Gutiérrez que se hallan en los niveles esquistosos.
- La denominada cárcava El Tablazo manifiesta procesos de erosión severa, tanto hídrica como fluvial, los más importantes son la erosión laminar, surcos, carcavamiento y socavación lateral en sus cauces.
- En la actualidad la Cárcava El tablazo, presenta una combinación de procesos erosivos y deslizamientos, por lo tanto esta, se define como un movimiento en masa compuesto circular planar (diédrico doblemente planar).

- El principal detonante de los movimientos en masa es el agua de escorrentía activada en épocas de altas pluviosidades, recayendo sobre los cauces provocando su profundización y lateralización; a esto se le adiciona la deforestación de las zonas de ladera y la actividad antrópica, de manera tal que los procesos erosivos aceleran su curso y amplían el área de la cárcava, provocando que esta se remonte de manera descontrolada sobre todas sus zonas aledañas perturbando los sectores de asentamiento poblacional, afectando su infraestructura, poniendo en riesgo a sus habitantes, lo cual genera una amenaza para el Municipio de Manizales.
- La formación de la Cárcava El Tablazo, tiene origen en su propia naturaleza, es decir, que los factores geografía, geología, tectónica, clima y agentes como usos del suelo e intervención antrópica, generan un escenario propicio para su desarrollo y aceleración de los procesos erosivos.
- La respuesta más efectiva, en busca de la solución a esta problemática, es la implementación de prácticas eco-ambientales con estructuras que manejan materiales de origen natural. A través de las técnicas con el uso de recursos naturales, se busca: 1- que se reduzca la erosión por escorrentía mediante el sembrado de vegetación que protejan la ladera del impacto directo del agua lluvia. 2- que el agua subsuperficial se contenga menos en el terreno y sea expulsada mediante la implementación de filtros vivos. 3- que la ladera se autosostenga, mediante la construcción de trincheras vivas que crean una pared natural, enraizándose a la ladera al poco tiempo de su construcción. 4- que el costo económico en la implementación de un diseño en pro de la solución del problema, sea de bajo costo; el montaje de estas bio-estructuras por su mismo origen, en comparación con las construcciones en concreto, son muy económicas, duraderas y eficaces.

10. BIBLIOGRAFÍA

BEDOYA, R.; SANCHEZ, F. Zonificación de la estabilidad de las laderas de los alrededores (casco urbano) de Manizales. Escala 1:2000. Universidad de Caldas. Diciembre 2007.

BORRERO, C., AND NARANJO, J. L., 1990. Casabianca Formation: a Colombian example of volcanism-induced aggradation in a fluvial basin. *Jour. of Volc. And Geoth. Res.*

BOTERO, C.; GARZÓN, G., 2010. Análisis retrospectivo y propuesta bioingenieril para la solución de la Cárcava el Tablazo ubicada al sur occidente del municipio de Manizales. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Caldas. Manizales.

CRUDEN, D.M., VARNES D. J. (1996) - Landslide types and processes. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (eds) *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transp Res Board, Spec Rep 247, pp 36–75.

ESCOBAR, P. C., 2006. Restauración de cauces y control de la erosión en la cárcava El Tablazo. Municipio de Manizales.

FLOREZ, A., 1986. Geomorfología del área de Manizales-Chinchiná, Cordillera Central, Colombia. 158p

GONZALES, H., 1996, Geología de las planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruiz: Informe 2196. Santafé de Bogotá: Ingeominas. 110p

GROSSE, E., 1926. El Terciario Carbonífero de Antioquia. Dietrich Reimer. Berlin. 361p.

HERRERA, J. S., LÓPEZ, S. A., 2003. Estratigrafía de la Formación Manizales y propuesta de un modelo de depósito. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Caldas. Manizales.

HUDSON, N. Conservación de suelos. 1982 Barcelona (España). Reverté S.A. 335 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. Unidades geomorfológicas del territorio Colombiano. Publicación del ministerio del medio ambiente. Santa Fe de Bogotá, D.C.

LOPEZ, L.J., RIVERA, M.A, 2010. Caracterización petrográfica del área comprendida entre el sector puente quebrada olivares y el sector de la vereda maracas al norte del municipio de Manizales. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Caldas. Manizales.

MARTINEZ, T.L., RUIZ, M.C., 2008. Análisis retrospectivo del riesgo por el deslizamiento en la ladera occidental del rio Chinchiná, en el canal de la chec, sector de la trilladora Manizales y Universidad Antonio Nariño. Tesis de grado.

Facultad de Ciencia Exactas y Naturales. Universidad de Caldas. Manizales.
MEJIA, F; PACHON, J. A. "Red de estaciones meteorológicas de Manizales"
2007. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

MORENO, M., y PARDO, A., 2003. Stratigraphical sedimentological constraints on western Colombia: Implications on the evolution of the Caribbean Plate. In C.

NARANJO, J., Y RÍOS, P., 1989. Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos. Revista Universidad de Caldas. Vol. 10.

NARANJO, H., J., 2005. Modelo de Evolución Morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral entre Pereira (Risaralda) y Filadelfia (Caldas). Cuadernos de investigación, número 12. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencia Exactas y Naturales.

RIVERA, P. J. H. 1998. Control de cárcavas remontantes en zonas de ladera mediante tratamientos biológicos. Avances Técnicos Cenicafé. No. 256. Colombia. 8p.

RIVERA, P. J. H. 1999a. Control de derrumbes y negativos en carreteras, mediante tratamientos de tipo biológico. Avances Técnicos Cenicafé. No. 264. Colombia. 8p.

RIVERA P., J.H. 2001. Manejo y Estabilización de Taludes en Zonas de Ladera mediante Tratamientos Bioingenieriles. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Avances Técnicos CENICAFE No. 291. 8 p.

RIVERA P., H. 2002a. Construcción de trinchos vivos para conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera. Chinchiná (Colombia) Cenicafé Avances Técnicos CENICAFÉ. 2002a 8p.

RIVERA, P., J., 2008. Curso de bioingeniería para la prevención y control de erosión y deslizamientos en zonas de la ladera andina Colombiana.

RIVERA, P., J., SINISTERRA, R., J., 2006. Uso social de la Bioingeniería para el control de la erosión severa. Departamento del valle del Cauca. CIPAV – CVC.

SHENG, T., C., 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas, estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma.

SUAREZ, J., 1998. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga.

THOURET, J., 1984. Observations geomorphologiques préliminaires sur quelques reliefs volcaniques des andes de Colombie. géomorphologie, exemples Sud- Américains. et. doc. du ceget-onrs no 52.

ANEXOS