

**PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y  
CORRELACIÓN ESTRUCTURAL EN CINCO CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA AMAGÁ**

**JUAN ESTEBAN QUIJANO COSSÍO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Geólogo**

**DIRECTORA:**

**GLORIA MARÍA SIERRA LOPERA Msc.**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA  
MEDELLÍN-ANTIOQUIA**

**2014**

**Nota de aceptación**

---

---

**Directora**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

**Medellín 28 de Mayo de 2015**



## **AGRADECIMIENTOS**

A el Gran Espíritu por la enseñanza en los caminos, mis padres Jorge Quijano e Inés Cossío por su eterno amor, apoyo y sacrificio, mi hermano Sebastián Quijano por todos sus consejos, mi mamá geológica Gloria María Sierra directora de este trabajo, por toda su perseverancia y sus incontables correcciones, a los profesores que fueron parte de mi formación académica, María Isabel Acevedo directora de los laboratorios y a Wlilton Echavarría mis más sinceras gratitudes por la comprensión, apoyo y disposición para el servicio de los equipos de campo.

Quisera resaltar la gratitud por Gloria María Sierra por darme la oportunidad de trabajar por primera vez en la universidad y conseguir mi primer trabajo geológico, Marco Gamboa por su calidad como jefe y ser humano, María Isabel Marín por su apoyo constante, Iván Darío Correa por su calidad humana, José Fernando Duque por sus colaboraciones y Ana Yepes por su apoyo incondicional.

A los Jurados de este trabajo Sandra López y Carlos Mario López por su colaboración.

Por último y no menos importante mis amigos Santiago Echeverri, Luis Miguel Osorio, Diego Alberto Sánchez, Jorge Esteban Henao, Yohana Villafañez, Wbeimar Jiménez, Sebastián Ángel, y Dimas Ortega por su apoyo y colaboración.

A mi Sol.

# CONTENIDO

	Pág.
LISTADO DE TABLAS .....	1
1. INTRODUCCION .....	4
2. OBJETIVO .....	4
2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	5
3. METODOLOGIA .....	5
4. MARCO CONCEPTUAL.....	7
4.1 ESTRUCTURACIÓN SIG PARA EL ANÁLISIS DE CUENCAS.....	9
4.2 CUENCAS DE DRENAJE: EVOLUCION Y REDES DE DRENAJE.....	10
4.2.1 Forma y tamaño de la cuenca.....	10
4.2.2 Índice de Gravelius.....	11
4.2.3 Factor forma .....	11
4.2.4 Orden de las corrientes y densidad de los drenajes.....	12
4.2.5 Control estructural y litológico en el desarrollo de redes de drenaje.....	12
4.3 CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, <i>KNICKPOINTS</i> Y NIVEL BASE DE CUENCAS HIROLOGICAS .....	13
4.4 ÍNDICES MORFOMETRICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA .....	14
4.5 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS (“AF”) .....	14
4.6 FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”).....	15
5. CASO DE ESTUDIO.....	17
5.1 LOCALIZACIÓN .....	17
5.2 CLIMA.....	17
5.3 PENDIENTES .....	18
5.4 GEOLOGÍA REGIONAL .....	18
5.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL .....	21
5.6 PLIEGUES REGIONALES .....	25
6. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AMAGÁ .....	26
6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA.....	26

6.1.1	Ubicación .....	26
6.1.2	Área.....	26
6.2	FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES. ....	26
6.3	CONTROL DE DRENAJE.....	28
6.4	ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS .....	31
6.4.1	CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, <i>KNICKPOINTS</i> Y NIVEL BASE. ....	31
6.4.2	ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AMAGÁ (“AF”) .....	34
6.4.3	FACTOR DE SIMETRÍA TOPOGRÁFICA TRANSVERSAL (“T”).....	34
7.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AURRÁ.....	36
7.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA.....	36
7.1.1	Ubicación .....	36
7.1.2	Área.....	36
7.2	FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES. ....	36
7.3	CONTROL DE DRENAJE.....	38
7.4	ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS .....	41
7.4.1	CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, <i>KNICKPOINTS</i> Y NIVEL BASE. ....	41
7.4.2	ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AURRÁ (“AF”) .....	43
7.4.3	FACTOR DE SIMETRÍA TOPOGRÁFICA TRANSVERSAL (“T”).....	44
8.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA SINIFANÁ.....	45
8.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA.....	45
8.1.1	Ubicación .....	45
8.1.2	Área.....	45
8.2	FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES. ....	45
8.3	CONTROL DE DRENAJE.....	47
8.4	ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS .....	50
8.4.1	CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, <i>KNICKPOINTS</i> Y NIVEL BASE. ....	50
8.4.2	ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA SINIFANÁ (“AF”) .....	54
8.4.3	FACTOR DE SIMETRÍA TOPOGRÁFICA TRANSVERSAL (“T”).....	54
9.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA POBLANCO.....	56
9.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA.....	56
9.1.1	Ubicación .....	56
9.1.2	Área.....	56

9.2	FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES. ....	56
9.3	CONTROL DE DRENAJE.....	58
9.4	ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS .....	61
9.4.1	CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, <i>KNICKPOINTS</i> Y NIVEL BASE. ....	61
9.4.2	ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA POBLANCO (“AF”).....	63
9.4.3	FACTOR DE SIMETRÍA TOPOGRÁFICA TRANSVERSAL (“T”).....	64
10.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA TONUSCO.....	65
10.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA.....	65
10.1.1	Ubicación .....	65
10.1.2	Área.....	65
10.2	FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES. ....	65
10.3	CONTROL DE DRENAJE.....	67
10.4	ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS .....	70
10.4.1	CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, <i>KNICKPOINTS</i> Y NIVEL BASE. ....	70
10.4.2	ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA TONUSCO (“AF”).....	72
10.4.3	FACTOR DE SIMETRÍA TOPOGRÁFICA TRANSVERSAL (“T”).....	73
11.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	74
12.	CONCLUSIONES.....	75

## LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Metodología SIG.....	9
Tabla 2. Pisos térmicos y temperaturas para el Departamento de Antioquia (González, 2001). ..	17
Tabla 4. Índices morfométricos y Factor Forma .....	26
Tabla 5. Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Amagá.....	27
Tabla 6. Índice de asimetría de la cuenca. ....	34
Tabla 7. Índice de simetría topográfica transversal.....	35
Tabla 8. Índices morfométricos y Factor Forma. ....	36
Tabla 9. Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Aurrá.....	37
Tabla 10. Índice de asimetría de la cuenca.....	43
Tabla 11. Índice de simetría topográfica transversal. ....	44
Tabla 12. Índices morfométricos y Factor Forma.....	45
Tabla 13. Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Sinifaná. ....	46
Tabla 14. Índice de asimetría de la cuenca.....	54
Tabla 15. Índice de simetría topográfica transversal. ....	55
Tabla 16. Índices morfométricos y Factor Forma.....	56
Tabla 17. Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Poblancó. ....	57
Tabla 18. Índice de asimetría de la cuenca.....	63
Tabla 19. Índice de simetría topográfica transversal. ....	64
Tabla 20. Índices morfométricos y Factor Forma.....	65
Tabla 21. Parámetros morfométricos cuenca hidrográfica Tonusco. ....	66
Tabla 22. Índice de asimetría de la cuenca.....	73
Tabla 23. Índice de simetría topográfica transversal. ....	73

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología aplicada en este estudio. ....	6
Figura 2. Forma y sistema de drenajes. (Tomado de Mount, 1954) .....	11
Figura 3. Caracterización de los patrones de drenajes controlados por estructuras o pendiente (Tomado de Campbell, 2004).....	13
Figura 4. Perfil longitudinal mostrando los <i>Knickpoints</i> (K) (Tomado de Mount, 1954). ....	14
Figura 5. Bloque diagrama mostrando basculamiento. (Tomado de Keller y Pinter, 1996). ....	15
Figura 6. Diagrama de una porción de la cuenca de drenaje mostrando como el factor de simetría topográfica transversal “T” es calculado (Tomado de Keller y Pinter, 1996). ....	16
Figura 7. Localización del área de estudio en el recuadro rojo.....	17
Figura 8. Geología regional zona de estudio (Cuenca Amagá con las cuencas hidrográficas). ....	20
Figura 9. Geología estructural zona de estudio.....	24
Figura 10. Mapa de red de drenajes con número de orden según método de Strahler para la cuenca hidrográfica Amagá.....	27
Figura 11. Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Amagá. ....	28
Figura 12. Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Amagá. ....	29
Figura 13. Mapa geológico de la cuenca hidrográfica de Amagá. ....	30
Figura 14. Mapa estructural cuenca hidrográfica de Amagá.....	30
Figura 15. (A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Amagá.....	31
Figura 16. Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Amagá mostrando los <i>Knickpoints</i> , la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas. ....	32
Figura 17. Mapa de red de drenajes con método de Strahler para la cuenca hidrográfica Aurrá.....	37
Figura 18. Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Aurrá.....	38
Figura 19. Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Aurrá. ....	39
Figura 20. Mapa geológico para la cuenca hidrográfica Aurrá. ....	40
Figura 21. Mapa estructural para la cuenca hidrográfica Aurrá. ....	40
Figura 22. (A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Aurrá.....	41

Figura 23.	Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Aurrá mostrando los <i>Knickpoints</i> , la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas. ....	42
Figura 24.	Mapa de red de drenajes con método de Strahler para la cuenca hidrográfica Sinifana.....	46
Figura 25.	Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Sinifaná.....	47
Figura 26.	Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Sinifaná.....	48
Figura 27.	Mapa geológico cuenca hidrográfica Sinifaná. ....	49
Figura 28.	Mapa estructural de la cuenca hidrográfica Sinifaná. ....	49
Figura 29.	(A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Sinifaná.....	50
Figura 30.	Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Sinifaná mostrando los <i>Knickpoints</i> , la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas. ....	51
Figura 31.	Mapa de red de drenajes con método Strahler para la cuenca hidrográfica Poblanco.....	57
Figura 32.	Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Poblanco.....	58
Figura 33.	Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Poblanco. ....	59
Figura 34.	Mapa geológico para la cuenca hidrográfica Poblanco. ....	60
Figura 35.	Mapa estructural cuenca hidrográfica Poblanco. ....	60
Figura 36.	(A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Poblanco.....	61
Figura 37.	Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Poblanco mostrando los <i>Knickpoints</i> , la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas. ....	62
Figura 38.	Mapa de red de drenajes con método de Strahler para la cuenca hidrográfica Tonusco.....	66
Figura 39.	Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Tonusco.....	67
Figura 40.	Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Tonusco.....	68
Figura 41.	Mapa geológico para la cuenca hidrográfica Tonusco.....	69
Figura 42.	Mapa estructural para la cuenca hidrográfica Tonusco. ....	69
Figura 43.	(A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Tonusco. ....	70
Figura 44.	Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Tonusco mostrando los <i>Knickpoints</i> , la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas. ....	71

## 1. INTRODUCCION

En el análisis de la correlación estructural y litológica, y el desarrollo de redes de drenaje, se han utilizado diversas técnicas geomorfológicas y morfométricas de algunas cuencas hidrográficas dentro de la cuenca sedimentaria de Amagá. Esta se encuentra localizada en el noreste Colombiano entre los Departamentos de Antioquia, Caldas y Risaralda. Para lograr este objetivo se utilizaron las planchas geológicas 146 - Medellín Occidental, 166 - Jericó y 130 – Santafé de Antioquia, escala 1:100.000 del INGEOMINAS. Para contrastar dichos resultados se usaron índices geomorfológicos de actividad tectónica reciente para definir un entorno geodinámico en la cuenca Amagá. Para el análisis neotectónico se toma como hecho fundamental que la disposición del relieve actual es consecuencia directa de los esfuerzos deformacionales incidentes en la cuenca Amagá. Por lo tanto este análisis puede brindar información muy útil para la caracterización de una geodinámica regional. Los datos permiten identificar áreas donde sucedió o sucede basculamiento tectónico de las cuencas de drenaje actual (unidad de trabajo).

## 2. OBJETIVO

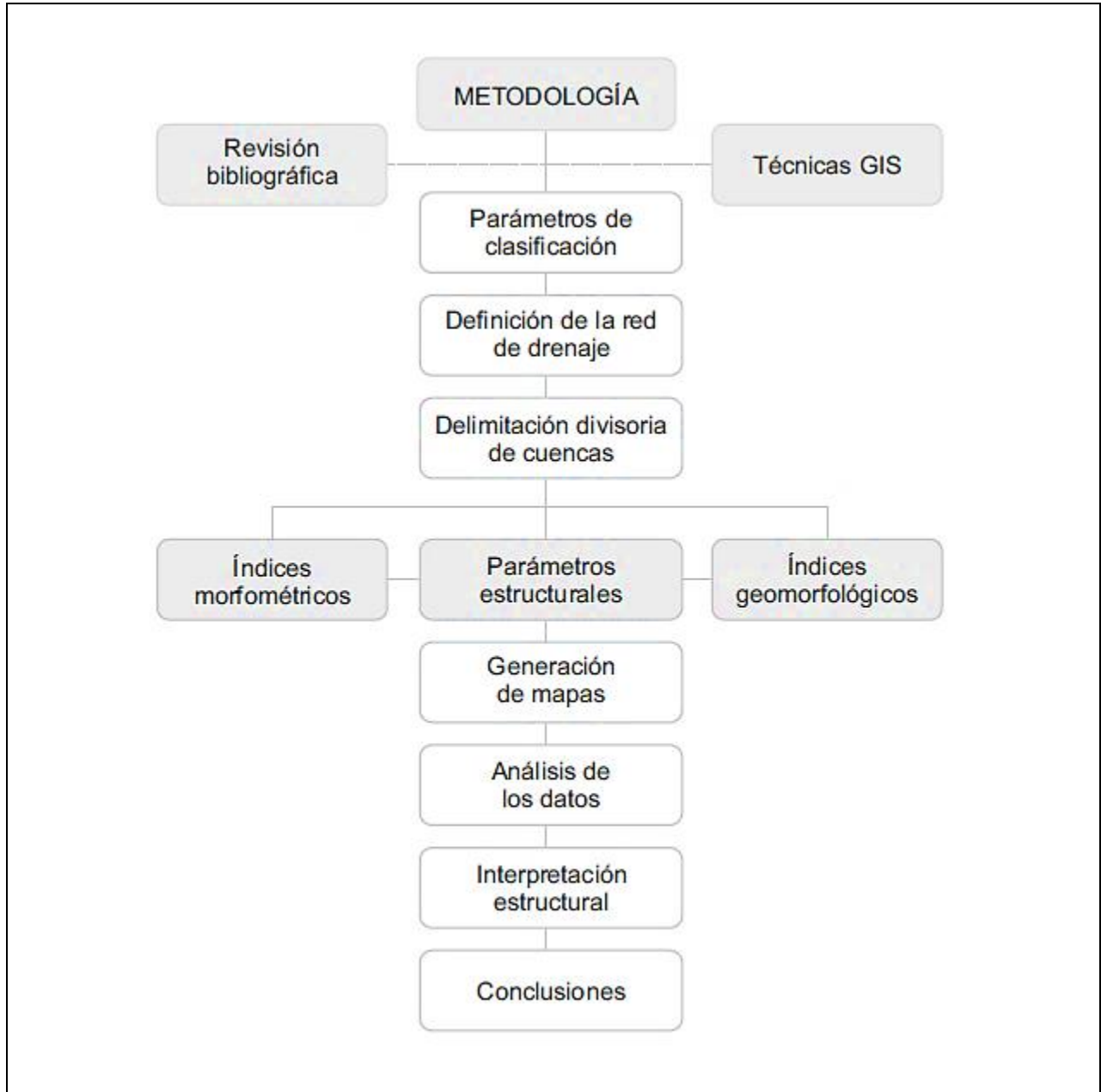
Identificar la relación estructural entre la dirección preferencial de los cauces y los sistemas de fallas regionales y la definición de áreas de basculamiento tectónico mediante parámetros morfométricos y geomorfológicos de actividad tectónica.

## 2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el tipo de drenajes, tamaño de cuenca, y tipos de indicadores morfométricos y geomorfológicos (Análisis morfométrico de la red fluvial).
- Analizar los perfiles longitudinales de los cauces principales para conocer los *knickpoints* resultado de eventos deformacionales y otras causas, entre ellas variaciones litológicas.
- Analizar los resultados de correlación estructural entre la dirección del cauce principal y el sistema de fallas regional.

## 3. METODOLOGIA

Este capítulo presenta la metodología empleada (Figura 1) en la elaboración de los mapas para la investigación de las cuencas hidrográficas a escala 1:100.000. Técnicas de ArcGis 10.0 fueron aplicadas en la elaboración de mapas para el análisis de las cuencas hidrográficas seleccionadas. El procedimiento se fundamenta en obtener diferentes mapas basados en un análisis morfométrico y geomorfológico que permita caracterizar la red de drenaje, el control estructural y la litología. Con el fin de realizar la correlación estructural entre las direcciones de los drenajes con el patrón de fallas, asimetría y simetría transversal de las cuencas y perfiles longitudinales de los cauces principales. Los perfiles de las corrientes se utilizan para conocer los *Knickpoints* y su relación con las fallas. Los índices de simetría y asimetría proporcionaran información para la identificación de áreas donde ha sucedido o sucede basculamiento tectónico en las cuencas de drenaje.



**Figura 1.** Metodología aplicada en este estudio.

## 4. MARCO CONCEPTUAL

Las cuencas sedimentarias son, en un sentido muy amplio, todas aquellas áreas en las que los sedimentos pueden acumularse con espesores considerables y se conservarán por períodos de tiempo geológico. Las cuencas sedimentarias pueden tener formas diferentes; pueden ser aproximadamente circulares o, más frecuentemente, alargadas, pero a menudo pueden tener límites bastante irregulares. El tamaño de las cuencas sedimentarias es muy variable, por lo general al menos 100 km de largo y decenas de kilómetros de ancho. Existen diferentes tipos de cuencas sedimentarias y se pueden clasificar a manera muy general entre: cuencas sedimentarias activas que siguen acumulando sedimentos; Inactivas y deformadas mostrando más o menos su forma original y la composición sedimentaria; y fuertemente deformada donde el relleno original se ha perdido en parte a la erosión (Einsele, 1992).

La interacción continua y gradual de los procesos tectónicos y denudacionales conduce a un modelo diferente de la evolución del paisaje, en donde se desarrollan cuencas de drenaje o cuencas hidrográficas que poseen rasgos característicos individuales que sirven para determinar la evolución del paisaje (Einsele, 1992).

Las cuencas hidrográficas se pueden concebir como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal afluente es descargado a través de una salida simple (Londoño, 2001). Los sistemas hidrográficos o patrones de drenaje describen las formas como los tributarios están conectados el uno al otro y a la corriente principal. Este entramado fluvial posee influencias heredadas de controles estructurales y litológicos que influyen en el grado de disección del paisaje resultante (Einsele, 1992).

Las cuencas hidrográficas son sensibles a la deformación tectónica y el patrón de drenajes se ve afectado en mayor o en menor medida según la intensidad de la deformación. Para calcular esta cantidad de deformación se utilizaron los índices geomorfológicos de asimetría y simetría de cuencas (Keller y Pinter, 1996).

Según Keller y Pinter (1996), la cuantificación de la morfología y la morfometría del terreno, permite comparar distintas cubiertas litológicas para caracterizar, así, áreas de comportamiento estructural diferente.

Debido a la falta de información estructural detallada existente en la cuenca sedimentaria Amagá, existe la necesidad de conocer la dirección de deformación en las cuencas y el efecto de las fallas en los sistemas de drenajes. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un análisis de correlación estructural entre los 3 sistemas de fallas principales con direcciones S-N (Cauca – Romeral), N40°W (Falla Piedecuesta) y N40°E (Arma y

Carmen). Para este estudio se tomaron 5 subcuencas hidrográficas, además de un análisis de deformación tectónica al interior de las mismas.

La necesidad de contrastar los datos de un análisis estructural (fallas, alineamientos, pliegues, contactos entre otros) sobre la parte central y norte de la cuenca Amagá permite utilizar herramientas de análisis morfométrico. Los índices geomorfológicos utilizados en este trabajo están basados en un análisis morfométrico de la red de drenaje, que permite aproximaciones matemáticas a distintos aspectos morfológicos relacionados con la deformación tectónica.

#### 4.1 ESTRUCTURACIÓN SIG PARA EL ANÁLISIS DE CUENCAS

Tabla 1. Metodología SIG.

ESTRUCTURACIÓN SIG	
Modelos de elevación digital	Los DEM son la base para el análisis morfométrico y geomorfológico de este trabajo, a partir de ellos se generaron las curvas de nivel, la red de drenaje y la divisoria de aguas de la cuenca. Mediante procesamientos de la información de los DEM, se obtuvieron mapas de la dirección del flujo y acumulación, pendientes, orden de corrientes (según el método de Strahler), perfiles del cauce principal en la cuenca hidrográfica, área de la cuenca, y longitud de los cauces principales.
Dirección de flujo	Se aplica la función <i>Flowdirection</i> al DEM para cada una de las cuencas. Esta función se encarga de definir la dirección del flujo basada en la dirección de una gota de agua en una celda o pixel comparado con el valor de la elevación del mismo pixel o cuadrícula con las elevaciones del terreno de 8 celdas vecinas a ella dándole un valor a este pixel de acuerdo con la diferencia de la alturas (Mc Coy, 2000, en Patiño & Montoya, 2001).
Acumulación de flujo	Usando la aplicación de la función <i>Flowaccumulation</i> la cual genera una matriz de flujo acumulado para cada pixel o cuadrícula, esto lo hace calculando el total de celdas que fluyen hacia cada celda de la matriz. El total de celdas que fluyen hacia cada celda es calculado por la dirección de flujo (Patiño & Montoya, 2001).
Definición de la red de drenaje	Para esta función los parámetros de entrada son la matriz generada a partir de la función <i>Flowdirection</i> en el DEM. Para poder generar esta superficie se define un valor para el área mínima de captación, para la concentración del flujo. Las celdas o pixeles con un valor mayor al otorgado serán drenajes y los que posean valores menores no lo serán (Patiño & Montoya, 2001). Es importante destacar que los valores asignados serán relacionados a la escala de trabajo.
Red de drenajes y clasificación método de Strahler	Con la red de drenaje ya definida se aplica la función <i>Streamorder</i> para definir los órdenes de las corrientes según el método propuesto por Strahler (1957). El orden de las corrientes es clasificado basado en el número de las corrientes tributarias. El método de Strahler clasifica un orden de corriente cuando dos corrientes del mismo orden se interceptan, dando una mayor categorización a esta corriente (Chow, 1964).
Centroides de las cuencas	Los centroides de las cuencas son los centros de masa de las cuencas, y se utilizan para calcular ciertos parámetros de la forma de la cuenca (Black, 1990, en Patiño & Montoya, 2001), para definir estos centroides se utilizó la función

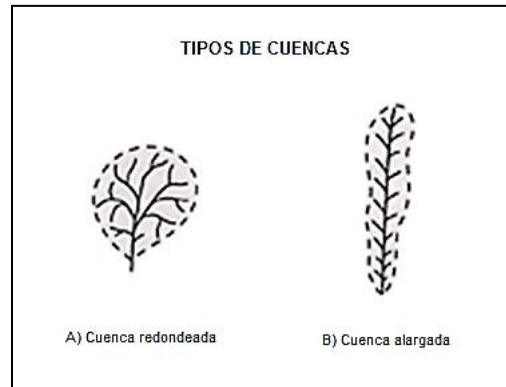
	<i>Feature to point.</i>
Delimitación de las cuencas hidrográficas	Para definir el área de la cuenca hidrográfica se aplica la función <i>Watershed</i> , esta produce una cuenca de drenaje o área de captación en un punto específico, definiendo todas las celdas que fluyen hacia el punto antes definido. Para la generación de esta matriz se parte de la función <i>Flowdirection</i> (Patiño & Montoya, 2001).
Área de la cuenca	Para conocer el área de la cuenca se parte de la matriz de atributos <i>Watershed</i> la cual posee valores de atributos característicos propios de la cuenca. Para calcular el área se usó la función <i>Calculate Geometry</i> la cual toma valores asociados con el valor de elevación y el área designada por los atributos de la función <i>Watershed</i> (Patiño & Montoya, 2001).
Longitud del cauce principal	Para determinar la longitud del cauce principal se usó la función <i>Calculate Geometry</i> la cual toma valores asociados con la elevación y con la dirección de flujo. Esta función sirve para definir las características geomorfológicas del cauce principal (Patiño & Montoya, 2001).
Perímetro de la cuenca	Este atributo de características cuantitativas se utiliza para calcular la forma de la cuenca. Para el cálculo del perímetro se parte del área de la cuenca y de la matriz de datos <i>Watershed</i> que posee información de atributos. Sé utilizo la función <i>Calculate Geometry</i> la cual toma valores asociados con la elevación y el área de la cuenca (Patiño & Montoya, 2001).
Mapas de pendientes	Con la función <i>Slope</i> en el DEM se genera una matriz de datos que representa para cada pixel o cuadrícula el valor de la pendiente máxima con relación a las cuadrículas cercanas o la relación en el cambio de altura para cada celda. Esta se puede definir en ángulo o en porcentaje. Para este estudio se utilizó en ángulo para poder relacionar los cambios de pendientes con los <i>Knickpoints</i> o puntos de inflexión del cauce principal (Patiño & Montoya, 2001).

## 4.2 CUENCAS DE DRENAJE: EVOLUCION Y REDES DE DRENAJE

### 4.2.1 Forma y tamaño de la cuenca

El tamaño de una cuenca influye en gran medida en la producción de sedimentos y en la respuesta hidrográfica. A mayor tamaño de la cuenca, mayor es la cantidad de sedimento

y de la descarga que sale de ella, pero esta relación no es aritmética. Áreas relativamente pequeñas tienden a ser uno de los principales contribuyentes de sedimentos dentro de la cuenca. Cuando el tamaño de la cuenca aumenta la influencia de fuentes puntuales disminuye (Mount, 1954). La forma de las cuencas (Figura 2) es importante porque representan la interacción hidrológica, geológica y estructural. Se utilizaron dos tipos de cuencas para el caso de estudio (redondeada y alargada). Estos parámetros tratan de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes que definen su forma y características principales (Mcknight & Hess, 2004). Para conocer o clasificar las cuencas se utilizó el índice de Gravelius y el factor forma.



**Figura 2.** Forma y sistema de drenajes. (Tomado de Mount, 1954)

#### 4.2.2 Índice de Gravelius

El índice de Gravelius o coeficiente de compacidad consiste en la relación del perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área de la cuenca.

$$K_c = 0.282P/A^{1/2}$$

$P$  = Perímetro de la cuenca

$A$  = Área de la cuenca

Si  $A > K_c$  la cuenca tendrá formas alargadas. Cuanto más los valores se acercan a 1 las cuencas tienden a ser más circulares y cuanto más alargadas sean las cuencas el índice de Gravelius tiende a ser mayor (Monsalve, 1995).

#### 4.2.3 Factor forma

El factor forma hace una relación entre el ancho promedio de la cuenca y el largo promedio de la cuenca. Esta última medida se obtiene con la longitud del cauce principal (corriente con mayor extensión).

$$K_f = A/L^2$$

$K_f$  = Factor forma

$A$  = Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

$L$  = Longitud Axial de la cuenca o longitud del cauce principal

En una cuenca donde el factor forma sea bajo es probable que posea zonas con pendientes mayores y cuencas con factor forma alto pueden indicar cuencas con sumideros o poca pendiente (Monsalve, 1995).

#### 4.2.4 Orden de las corrientes y densidad de los drenajes

Dentro de las cuencas existe una distribución aparentemente caótica de afluentes que se presentan en varios tamaños y formas. El número de drenajes, su tamaño relativo, y su distribución espacial probablemente refleje un óptimo diseño para la escorrentía y para la erosión de la roca (Mount, 1954). El sistema de orden de Strahler está basado en la división de una corriente en segmentos. Los segmentos se clasifican en orden de corriente cuando dos corrientes del mismo orden se interceptan, dando una mayor categorización a esta corriente (Chow, 1964).

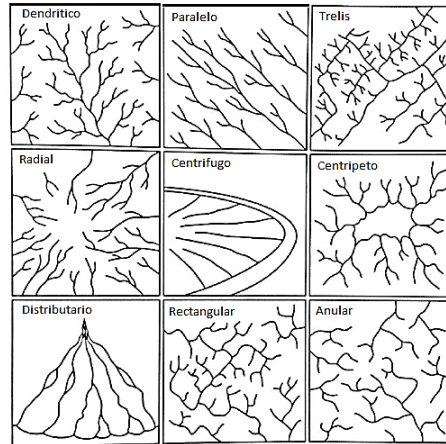
Una de las mayores influencias en un sistema fluvial es la densidad de la red de drenaje. La densidad de drenaje está definida como la distancia de todos los canales dentro de la cuenca dividida por el total del área de la cuenca.

$$\delta = \sum L_c / A_T$$

Donde  $L_c$  es la longitud de las corrientes presentes en la cuenca hidrográfica y  $A_T$  es el área total de la cuenca.

#### 4.2.5 Control estructural y litológico en el desarrollo de redes de drenaje

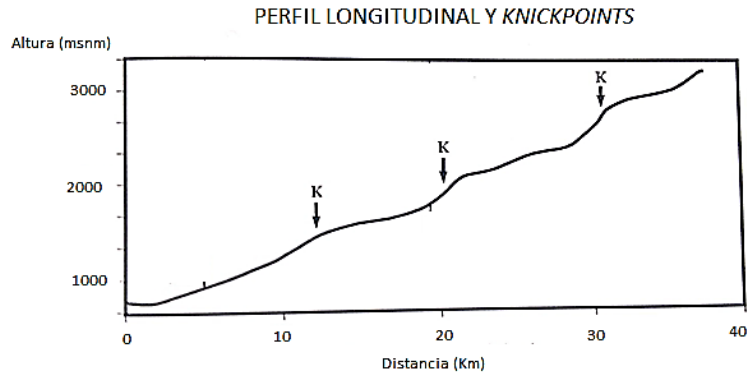
Las cuencas hidrográficas presentan una gran variedad de litología distribuida en toda su área. La localización, la composición y la historia de formación son función de la actividad tectónica del pasado y de la actividad tectónica del presente. La resistencia de varios tipos de rocas a la erosión y a los movimientos en masa ha ejercido considerable control sobre la evolución de los sistemas de drenaje (Mount, 1954). Numerosas zonas de falla atraviesan las cuencas hidrográficas y probablemente impactan notablemente sobre el patrón del sistema de drenajes (figura 3). Zonas litológicas con afectación estructural producirán distintivos canales de segmentos rectos con tendencias a tomar las direcciones en el sentido de la orientación del sistema de fallas (Mount, 1954).



**Figura 3.** Caracterización de los patrones de drenajes controlados por estructuras o pendiente (Tomado de Campbell, 2004).

### 4.3 CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, *KNICKPOINTS* Y NIVEL BASE DE CUENCAS HIROLOGICAS

El perfil longitudinal de un río es una parte integral del proceso de ajuste y balance hídrico y geológico de la cuenca. Un perfil en equilibrio es cóncavo hacia el nivel tope con una relación relativamente corta con un canal de pendiente pronunciada, en el medio la incisión y la pendiente es intermedia y en el tramo inferior canales con pendientes bajas y canales poco profundos. El perfil longitudinal de una cuenca es la característica geomorfológica más estable (Figura 4). La forma refleja el ajuste del río influenciado por el clima lo que controla la cantidad de esorrentía, la tectónica de la cuenca que controla el relieve general como los cambios en el nivel base, la geología mecánica de la cuenca que controla la resistencia de la roca a la erosión y la cantidad de aporte de sedimentos (Mount, 1954). El nivel base es el nivel más bajo que un río puede erodar. Cuando las cuencas son modificadas tectónicamente el balance energético de la cuenca cambia. Cambios energéticos son conocidos como *knickpoints* o puntos de inflexión, consisten en zonas de cambio de pendiente abrupta en donde se produce depositación y erosión. Estos cambios o *Knickpoints* se producen por fallas, confluencia de drenajes, cambios litológicos o por cambios de nivel base (Mount, 1954).



**Figura 4.** Perfil longitudinal mostrando los *Knickpoints* (K) (Tomado de Mount, 1954).

#### 4.4 ÍNDICES MORFOMETRICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA

La morfometría permite comparar distintos entornos para caracterizar áreas de comportamientos particulares o características específicas. Los índices están basados en el análisis morfométrico de la red de drenaje. Su validez como indicadores de la existencia de actividad neotectónica se basa en su capacidad para detectar las posibles anomalías introducidas en el sistema fluvial por cambios del nivel base local inducido tectónicamente (Rincón y Vegas, 2000). Por lo tanto, los factores morfológicos fundamentales dependen de: la red fluvial y el relieve de las cuencas. En este trabajo se han escogido dos índices geomorfológicos (Simetría y asimetría de cuencas) para caracterizar la actividad tectónica reciente (Strahler (1957), Sarp (2000) y Keller y Pinter (1996)).

La escala del trabajo, así como los índices escogidos han permitido definir tanto un número determinado de cuencas de drenaje (5), como la elección del cauce principal de las cuencas. Dada la escala regional del estudio ( $\text{km}^2$ , área de trabajo), se realiza una síntesis de subcuencas de drenaje sobre un mapa topográfico a escala 1.100.000.

#### 4.5 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS (“AF”)

Las cuencas de drenaje son sensibles a la deformación tectónica y el patrón de sus cauces se verá afectado en mayor o en menor medida según la intensidad de la deformación y la capacidad que posee la cuenca para absorberla. La capacidad para absorber o amplificar la deformación tectónica depende de la competencia plástica de las litologías. El índice de asimetría de la cuenca de drenaje intenta cuantificar este comportamiento el cual sintetiza la ausencia o existencia de basculamiento a escala de la

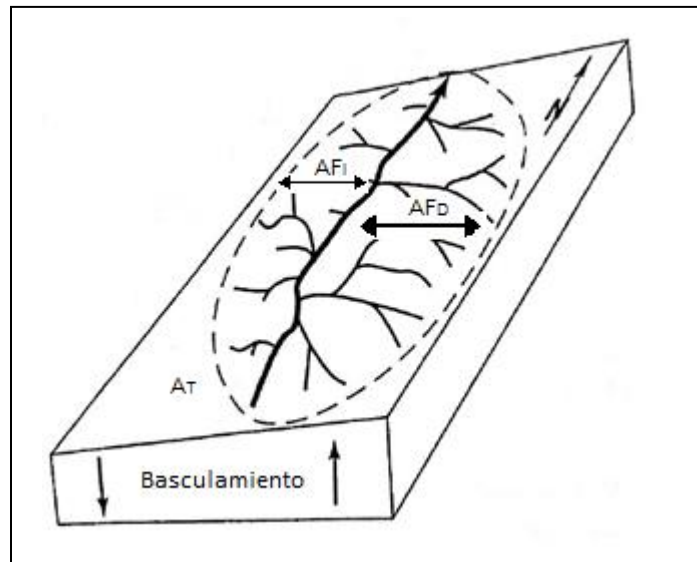
cuenca de drenaje, mediante una relación porcentual entre las áreas ocupadas por las dos márgenes del cauce principal, (Keller y Pinter, 1996). La relación adimensional es:

$$AF_D = (A_D/A_T) * 100$$

Donde “ $AF_D$ ” es el valor del índice (porcentaje) calculado para la margen derecha del cauce principal, “ $A_D$ ” es el área correspondiente a la margen derecha, y “ $A_T$ ” el área total de la cuenca de drenaje. Para calcular la margen izquierda “ $AF_I$ ” la relación es la siguiente:

$$AF_I = 100 - AF_D$$

Cuando el valor se aproxima al 50% menor será la influencia de la actividad tectónica en la cuenca; cuanto más se diferencie del 50% mayor influencia tuvo o tiene la incidencia de tectónica deformacional: mayor intensidad de basculamiento (Keller y Pinter, 1996). (Figura 5).



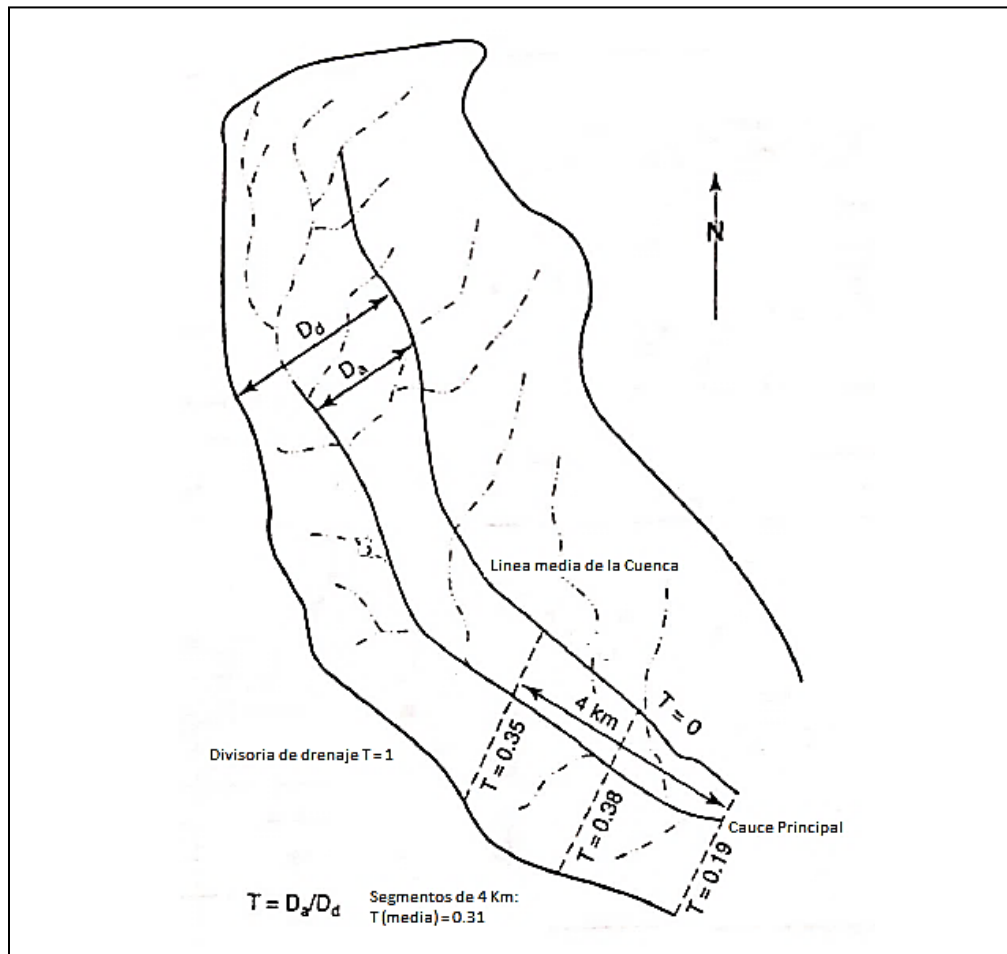
**Figura 5.** Bloque diagrama mostrando basculamiento. (Tomado de Keller y Pinter, 1996).

#### 4.6 FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)

Este índice es especialmente sensible a los basculamientos generados por la incidencia de la deformación tectónica, es más local que el índice anterior, porque considera distintos valores para una misma cuenca hidrográfica. La relación utilizada para su cálculo es:

$$T = D_A/D_D$$

Donde “ $D_D$ ” representa la distancia existente entre el límite de la cuenca y la línea divisoria dentro de la propia cuenca de drenaje (línea teórica que iguala el área de los dos márgenes del cauce principal), y “ $D_A$ ” define la distancia (medida sobre el segmento rectilíneo anterior) desde la divisoria interna de la cuenca de drenaje hasta el cauce principal que la disecta. Para una cuenca hidrográfica son posibles tantos segmentos rectilíneos como puedan definirse, por esto se define este índice como más preciso que el anterior debido a su único valor obtenido. Para una cuenca hidrográfica totalmente simétrica, el valor de “ $T$ ” será igual a cero. Cuanto más se aproxime a este valor a uno mayor asimetría existirá entre las dos márgenes del cauce principal que corta a la cuenca, pudiendo definirse incluso sentidos de basculamiento locales y preferentes para una misma cuenca (Keller y Pinter, 1996) (Figura 6).

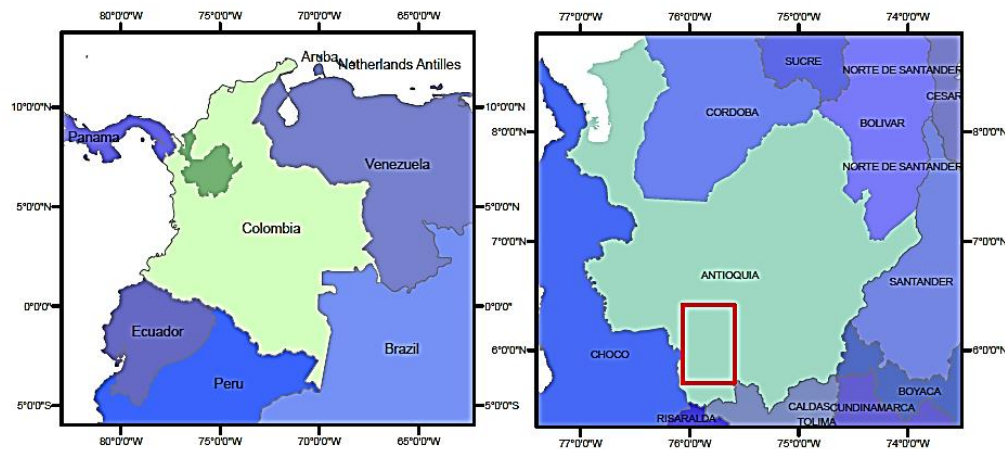


**Figura 6.** Diagrama de una porción de la cuenca de drenaje mostrando como el factor de simetría topográfica transversal “ $T$ ” es calculado (Tomado de Keller y Pinter, 1996).

## 5. CASO DE ESTUDIO

### 5.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio, se encuentra localizada en el Noroeste Colombiano y en el suroeste del Departamento de Antioquia. Las cuencas hidrográficas que van a ser caracterizadas se encuentran enmarcadas en la cuenca sedimentaria de Amagá. De norte a sur en la cuenca sedimentaria de Amagá se encuentran las cuencas hidrográficas: Tonusco, Aurrá, Amagá, Sinifaná y Poblanco (Figura 7).



**Figura 7.** Localización del área de estudio en el recuadro rojo.

### 5.2 CLIMA

Las cuencas hidrográficas Amagá, Aurrá, Poblanco, Sinifaná y Tonusco presentan variaciones en altura desde los 500 metros hasta los 3300 metros sobre el nivel del mar, esto sugiere una variación climática dentro de un área relativamente pequeña (Tabla 2). La precipitación media anual en las cuencas hidrográficas oscila entre 1053,9 mm y 2596,0 mm (IDEAM, 2001), con un valor medio en el área de estudio de 2003,16 mm.

**Tabla 2.** Pisos térmicos y temperaturas para el Departamento de Antioquia (González, 2001).

Piso Térmico	Altura (m.s.n.m)	Temperatura anual °C
Cálido	0-1000	25-29
Templado	1000-2000	17-23
Frío	2000-3000	11-15
Páramo	>4000	0-5

### 5.3 PENDIENTES

La Pendiente expresa el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, mostrando valores en grados de 0° a 90° y se relaciona con la litología y el clima (Morisawa, 1985). En la siguiente tabla se presentan los rangos de las pendientes para las cuencas hidrográficas presentes en el área de estudio.

### 5.4 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología de las cuencas (Figura 8), está conformada por rocas metamórficas de edades Paleozoicas, sucesiones de rocas volcano-sedimentarias Jurásicas-Cretácicas, rocas ultramáficas, plutones de edad Triásica y secuencias siliciclásticas con intercalaciones de carbón. En la cuenca sedimentaria Amagá predomina la Formación Amagá, conformada por secuencias siliciclásticas intercaladas con secuencias de carbón a lo largo de toda la cuenca. La Formación Amagá está dividida en dos miembros, miembro superior e inferior. Estos miembros se han dividido en unidad 1 y 2 para el miembro inferior y unidad 3 y 4 para el miembro superior (Sierra et al. 2003). La Formación Amagá se superpone sobre basamento metamórfico de edad Paleozoica (Cordillera Central), se encuentra limitada por un contacto fallado a lo largo del sistema de fallas Romeral con metasedimentos de carácter turbidítico de edad Paleozoica, se encuentra con las sucesiones volcánico-sedimentarias de edad Cenozoica de las Formaciones Irra y Combia (Murillo, 1998), se superpone con el complejo Arquía que consiste en rocas volcano-sedimentarias de origen marino (Silva et al., 2008). También está limitada en un contacto fallado por sucesiones de edad Jurásica-Cretácica de origen volcánico y sedimentario, con los complejos de Quebradagrande y Cañas Gordas de composición ultramáfica de afinidad oceánica y el Plutón de Amagá de edad Triásica (Silva et al., 2008). Esta litología está presente a lo largo de las cuencas hidrográficas Poblano, Tonusco, Sinifaná, Aurrá y Amagá con variaciones por la distribución geológica en la cuenca sedimentaria Amagá.

Las cuencas hidrológicas Amagá, Aurrá, Sinifaná, Poblano y Tonusco presentan características similares con muy pocas variaciones, a continuación se describen las unidades presentes en las cuencas hidrográficas:

Las rocas metamórficas están representadas por el Grupo Ayurá - Montebello dividido en tres miembros (Pev, Pbsd, Pes). (Pev): compuesto por esquistos verdes con albita, epidota, clorita y actinolita. Presentan metamorfismo regional de grado bajo a medio; (Pes): compuesto por filitas, esquistos cuarzo sericíticos y esquistos aluminicos. Presentan metamorfismo regional de bajo grado a medio y (Pbsd): compuesto por rocas

de muy bajo grado de metamorfismo que conservan la textura clásica del sedimento originario; y las Migmatitas de Ayurá – Montebello representadas por migmatitas, neises, micáceos cuarzo feldespáticos, con metamorfismo regional térmico de grado medio a alto (INGEOMINAS, 1983).

Las rocas ígneas presentes están constituidas por: El Granito Néisico de las Palmas (Pgnp) de textura néisica con porfiroblastos de ortoclasa; los Neises Sintectónicos (Pnt) de composición tonalítica con textura hipidiomórfica cataclástica, intruye el Grupo Ayurá – Montebello originando aureola de contacto; el Stock de Amagá (Tra), que está compuesto por granodioritas a cuarzomonzonitas localmente biotíticas con facies porfiríticas; los gabros de Romeral (Jgr), con estructuras de flujo, de grano fino a pegmatíticos, localmente foliados por protoclasia y están asociados al sistema de fallas de Romeral; la diorita de Pueblito (Jdp) compuesta por dioritoides con clinopiroxenos uralitizados con composición variada desde gabro en los bordes hasta granodioritas; rocas Ultramáficas (Kuh); el Grupo Cañasgordas (Klb), compuesto por sedimentitas asociadas a la Formación Barroso con bancos de liditas en parte calcáreas y lodolitas con fósiles del cretáceo Superior; el Grupo Cañasgordas, Formación Barroso (Ksvbc), representado por facies cataclásticas de diabasas y basaltos almohadillados; el Grupo Cañasgordas, Miembro Urrao de la Formación Penderisco, (Kaa), compuesto por secuencias de grauvacas, limolitas silíceas, conglomerados polimícticos con fósiles del Cretáceo Superior; el Batolito de Sabanalarga (Kdhs) y (Kdhsc), representado por dioritas hornbléndicas, hipidiomórficas, equigranulares y por facies cataclásticas de la diorita hornbléndica intensamente afectadas por las fallas Cauca y Tonusco; el Gabro de Altamira (Ksga), con textura pegmatítica y orientación de cristales por flujo; el Miembro Volcánico de la Formación Quebradagrande (Kvc), compuesto por piroclastos, lavas almohadilladas, diabasas espilitizadas y propilitizadas; la Diorita de Heliconia (Kdha), compuesta por dioritas a cuarzodioritas con facies porfiríticas locales y protoclasia; la Andesita de Buritica (Tab), compuesta por andesitas hornbléndicas de carácter afanítico a porfídico; Las rocas Hipoabisales porfídicas (Tadh), compuestas por andesitas predominantemente y el miembro volcánico de la Formación Combia (Tmc), compuesta por tobas de cristales vítreos o líticos, aglomerados y brechas, derrames de lava basáltica y andesíticas (INGEOMINAS, 1983).

Las rocas sedimentarias están representadas por el miembro sedimentario de la Formación Quebradagrande (Kisq), compuesta por sedimentos tipo flysch, oscuros, intercalados con bancos tobáceos y aglomerados; el Miembro Inferior de la Formación Amagá (Toi), compuesta por conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas grises, arcillolitas arenosas y arcillolitas pizarrosas grises; y el Miembro Superior de la Formación Amagá (Tos), compuesto por areniscas bien cementadas de color crema, arcillas pizarrosas, localmente bancos delgados de conglomerados y carbón; el Miembro Sedimentario la Formación Combia representado por conglomerados polimícticos mal cementados y areniscas tobáceas; los depósitos de derrubio (Qd) y los aluviones recientes (Qar) (INGEOMINAS, 1983).

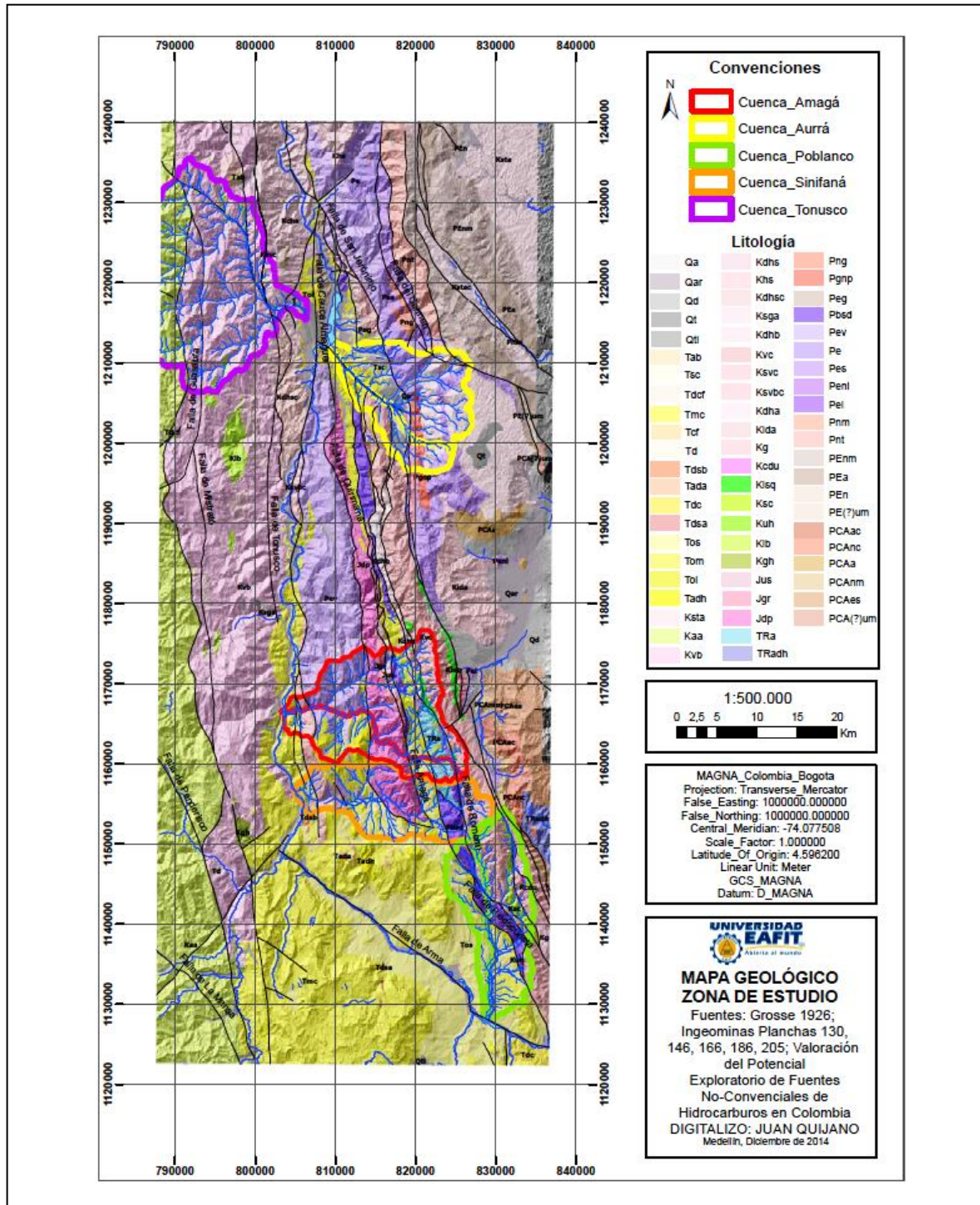


Figura 8. Geología regional zona de estudio (Cuenca Amagá con las cuencas hidrográficas).

## 5.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La cuenca sedimentaria Amagá es una cuenca relacionada a colisión (Barrero et al., 2007) y está enmarcada a nivel regional con 3 sistemas de fallas. El sistema de fallas que tiene una tendencia general S-N, el sistema de fallas Cauca-Romeral, presenta leves desviaciones a lo largo del área de estudio. El sistema de fallas con tendencia regional N40°W representado principalmente por las fallas Piedecuesta y Cañasgordas; y un sistema de fallas que presenta tendencia general N40°E constituido principalmente por las fallas de Arma y falla de El Carmen.

En la zona de estudio se pueden asociar varios eventos deformacionales correspondientes a la reactivación de estructuras preexistentes con eventos acrecionales en el Noroccidente de Colombia. (López et al., 2006). Durante el Cretácico Superior una colisión oblicua y posterior obducción de la cordillera Occidental desarrollaron movimientos dextrales a lo largo de estructuras orientadas en sentido NW-SE. La actividad de este sistema llevó al desarrollo en el Oligoceno-Mioceno, de cuencas *Pull – Apart*. (Kellogg et al., 1983, en Alfonso et al., 1994; Sierra, 1994, en López et al., 2006).

En el Mioceno Tardío – Plioceno se da el acercamiento y posterior acreción del bloque Chocó con el margen continental Noroccidental de Colombia; con esto se da la deformación de las cuencas previamente formadas y se desarrolla un nuevo sistema de fallas con un componente transpresional, que corresponde a las estructuras orientadas NW-SE, responsable del control estructural del río Cauca. Este nuevo sistema de fallas afectó el sistema de fallas con dirección preferencial N-S, desplazando las fallas que se originaron y se reactivaron durante el Cretácico, afectando las rocas de la cuenca Amagá (López et al., 2006).

Durante el Plioceno – Pleistoceno se produce una inversión en el sentido de los esfuerzos dominantes favoreciendo el desarrollo de un movimiento sinextral en el sistema de fallas Cauca - Romeral evidenciado por rotaciones de cuerpos intrusivos del Cauca (Mc Donald, 1980; Sierra, 1994; Mc Donald et al., 1996, en López et al., 2006).

Finalizada la acreción del bloque Chocó se desarrolla un tercer sistema de fallas NE-SW de edad Neógena afectando las rocas de las Formaciones Combia y Amagá. (López et al., 2006).

Las fallas presentes en las cuencas hidrográficas presentan una tendencia regional con dirección N-S, afectan las unidades litológicas Paleozoicas hasta las formaciones sedimentarias del Cuaternario. Las principales fallas dentro de la zona de estudio son (Figura 9):

- **Sistema de fallas Cauca-Romeral:** Se caracteriza por presentar una dirección en sentido N – S con algunas variaciones en ramales principalmente orientales que presentan rumbo hacia el SE. Este sistema de fallas está conformado por fallas como San Jerónimo, Romeral, y Cauca, las cuales convergen en la municipalidad

de Liborina hacia el norte. Se caracteriza por presentar zonas de alineamiento de deslizamientos, cárcavas y bifurcaciones de quebradas, concentración de actividad sísmica, anomalías gravimétricas y magnéticas, bloques exóticos, plegamiento, y de cambios bruscos en la litología. Durante el Cretácico, se correlaciona con el emplazamiento de cuerpos dioríticos hornbléndicos, y acreción de complejos ofiolíticos; por su parte, este sistema está asociado a la formación de cuencas durante el Cenozoico como la cuenca Amagá. Otros cuerpos afectados por este sistema de fallas son esquistos verdes anfibólicos, y complejo ofiolítico del Cauca (INGEOMINAS, 1983). Grosse (1926) define esta falla como inversa de ángulo alto, Toussaint y restrepro (1974), la definen como una falla de rumbo e inverso sinextral con expresiones morfológicas como escarpes de falla, lomos lineales, abanicos truncados, silletas de falla y drenajes desplazados (INGEOMINAS, 2001).

- **Falla de Piedecuesta:** la falla se encuentra al oeste de la traza principal de la falla Romeral, esta falla es un límite geológico importante ya que separa bloques de litología de ambientes de formación muy diferentes. La falla posee un comportamiento inverso. La tendencia regional en la dirección es cambiante y posee un patrón anastomosado. (INGEOMINAS, 1983).
- **Falla Ebéjico:** Falla de componente inverso, se extiende a lo largo de 21 km, posee un comportamiento anostomosado y posee una tendencia direccional N-S, separa las rocas del Miembro inferior de la Formación Amagá, (Toi) y las rocas metamórficas del Grupo Ayura – Montebello (Pbsd) (INGEOMINAS, 1983).
- **Falla la Cascajosa o Quirimaná:** falla con un componente inverso, se extiende a lo largo de 43 km en sentido N-S, pone en contacto los Esquistos Verdes (Pev) y la Diorita de Pueblito (Jdp) (INGEOMINAS, 1983).
- **Falla Amagá:** falla con un componente inverso, se extiende a lo largo de 50 km, posee un comportamiento anastomosado y su tendencia direccional es N-S, pone en contacto las rocas del Grupo Ayurá - Montebello (Pbsd) y la Diorita de Pueblito (Jdp) (INGEOMINAS, 1983).
- **Falla San Jerónimo:** La falla San Jerónimo define el límite oriental del Terreno Calima y se extiende al sur como Falla de Campanario que Mccourt & Millward (1984), consideran como parte del Sistema de Fallas de Palestina. Sin embargo, en Antioquia parece estar más relacionada con el Sistema de Fallas Cauca - Romeral. Esta falla presenta movimiento relativo inverso sinextral con expresiones morfológicas como valles lineales (INGEOMINAS, 1983).
- **Falla Tonusco o Cañasgordas:** Controla el curso del río Tonusco, donde el río corre hacia el sur paralelo al río Cauca y al oeste del mismo. Parece abrirse en

dos ramales: el mayor corre dirección norte hacia Buriticá y el segundo compuesto por fracturas continuas de las cuales la más importante es la de las Habas. Las otras de dirección noroeste van a toparse con la falla Guasabra. La falla afecta rocas del Plutón de Sabanalarga y rocas de la Formación Barroso originando cataclasitas y filonitas en una franja hasta de 2 km de ancho. La falla posee una longitud de 68 km aproximadamente y al sur parece estar cubierta por rocas volcánicas de la Formación Combia del Terciario Tardío. El movimiento sinextrolateral se observa en pequeñas fallas entre la falla las Habas y la de Guasabra (INGEOMINAS, 1983).

- **Falla Guasabra o Mistrató:** posee dirección N-S y un buzamiento vertical cortando basaltos almohadillados. Tiene una longitud de 100 km aproximadamente, afectando rocas volcánicas y sedimentarias de la Cordillera Central, con una expresión geomorfológica bien definida, acompañado de cataclasis con amplitud cercana a los 500 m (INGEOMINAS, 1983).

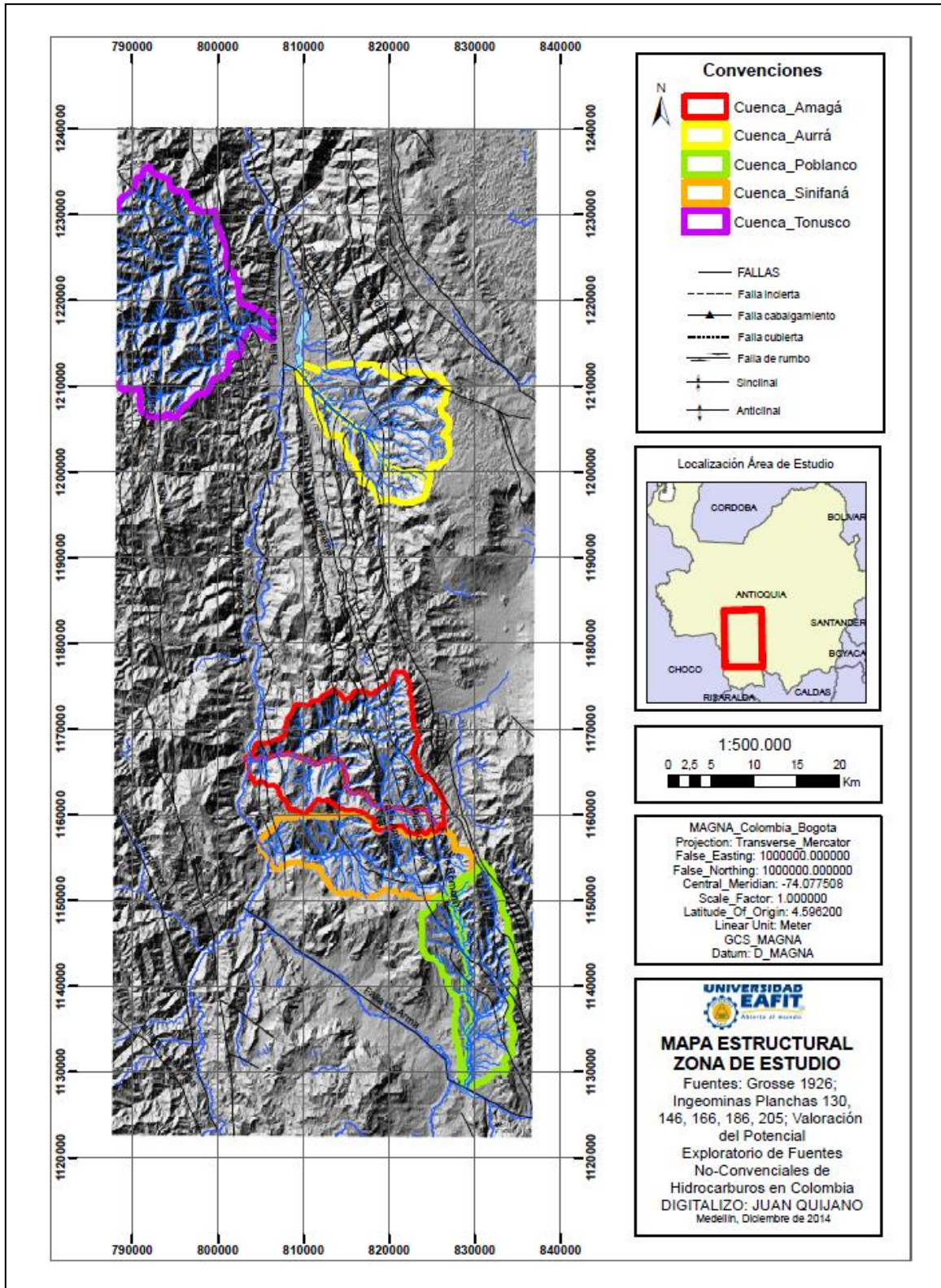


Figura 9. Geología estructural zona de estudio.

## 5.6 PLIEGUES REGIONALES

Los pliegues son paralelos o subparalelos a las fallas regionales, apretados, asimétricos, con vergencia hacia el oeste; la dirección de los ejes axiales no es muy continua. La tendencia general de fallamiento para la cuenca Amagá varía entre 30° – 45° NE-SW. Los ejes de plegamiento, anticlinales, y sinclinales son paralelos a esta tendencia. (ANH, 2011)

El tectonismo que afecta las rocas Paleozoicas como Mesozoicas impide determinar los plegamientos regionales. A nivel regional se presenta fuerte plegamiento en las rocas metamórficas de alto grado, los pliegues tipo chevron con dirección N35°W, con la bisectriz de los pliegues en dirección N30°W (INGEOMINAS, 1983).

Las rocas sedimentarias del Mesozoico presentan estructuras complicadas de pliegues combinados con fallamiento local y sobreescurrecimientos (INGEOMINAS, 1983).

En los sedimentos Terciarios, menos afectados tectónicamente, se pueden determinar algunos sinclinales y anticlinales separados por fallas a través de las cuales se han emplazado cuerpos de roca ígnea o metamórfica (INGEOMINAS, 1983).

Los principales pliegues regionales que exhiben los sedimentos terciarios son:

- **Sinclinal de Amagá:** se extiende desde la Quebrada Sinifaná hasta Angelópolis, limitado al este por la falla Piedecuesta y al oeste por la falla Amagá. Su eje tiene dirección N15°E (INGEOMINAS, 1983).
- **Anticlinal de Heliconia:** Limitado por las fallas Piedecuesta y Amagá, se presentan remanentes del Miembro Inferior de la Formación Amagá, las rocas sedimentarias forman un anticlinal cuyo eje tiene dirección N10°W con cabeceo al NE (INGEOMINAS, 1983).
- **Sinclinal de Ebéjico:** Afecta la prolongación norte de la franja sedimentaria que desde el sur de Amagá limita las fallas de Amagá y Piedecuesta; este angosto sinclinal tiene cabeceo al NW, la dirección es N10°W, recostado a La falla Ebéjico la cual causo el levantamiento y erosión del flanco oriental (INGEOMINAS, 1983).
- **Sinclinal de Sopetrán:** Su eje tiene dirección N40°W en la línea media entre Sopetrán y el Río Aurrá (INGEOMINAS, 1983).

## 6. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AMAGÁ

### 6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

#### 6.1.1 Ubicación

La cuenca hidrográfica Amagá se localiza en la parte sur de la zona de estudio (Figura 8), comprende los municipios de Heliconia hacia el noreste, Armenia hacia el norte, Angelópolis hacia el este, Amagá hacia el sur y Titiribí hacia el suroeste de la cuenca.

#### 6.1.2 Área

El área total de la zona corresponde a 254,66 km<sup>2</sup>, en su extensión se presentan las microcuencas de La Cardala, La Paja, Salinas, Yarumal, La Gualí, La Clara, Piedra Gorda, La Secreta, La Zarzala, La Antigua, La Balsa, El Tambo, La Herradurita, La Lindera, La Marcona, La Montoya, La Bramadora, Las Ánimas y la Horcona.

### 6.2 FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES.

Según el índice de Gravelius y el factor forma obtenido, la cuenca hidrográfica Amagá tiende a ser más alargada que circular, esto implica que el cauce principal recibirá aportes de manera gradual y por lo tanto podrían no presentarse represamientos dentro del cauce principal debido a las altas pendientes.

En la tabla 4 se presentan los valores obtenidos para el Índice de Gravelius y para el Factor Forma.

**Tabla 3.** Índices morfométricos y Factor Forma

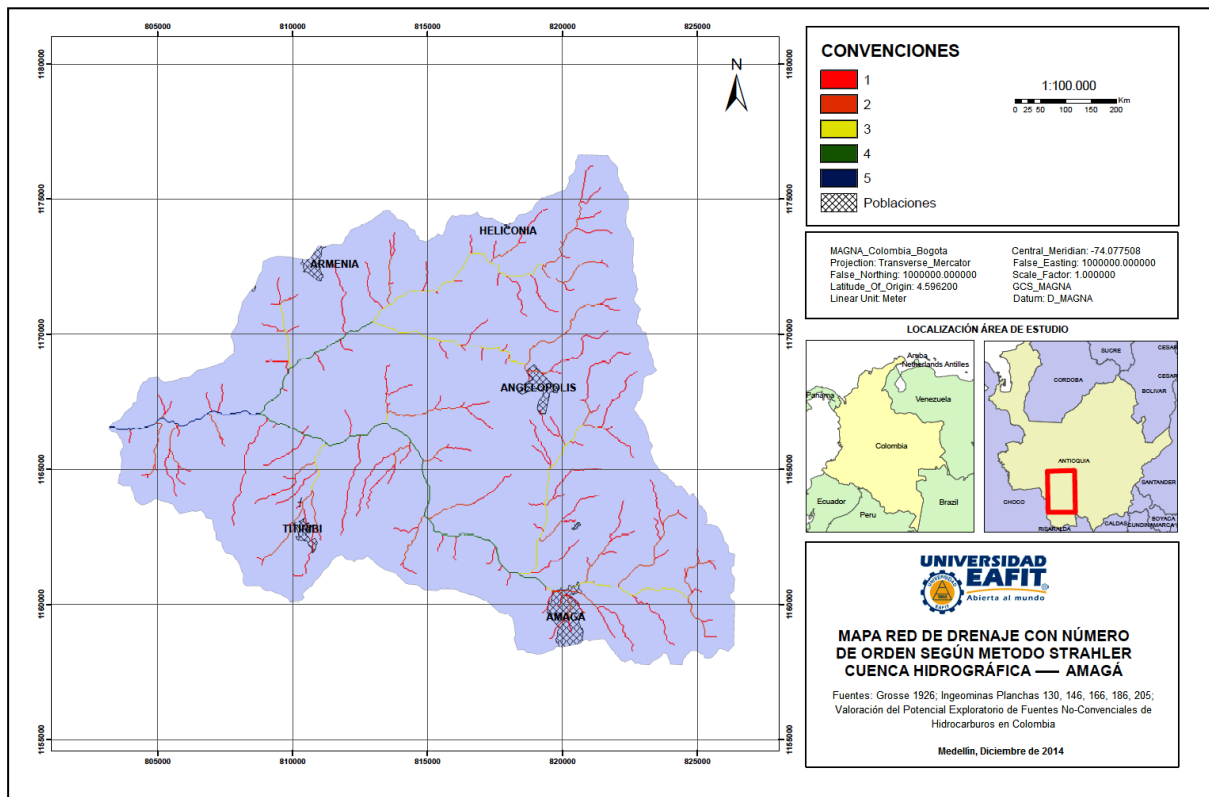
CUENCA AMAGA					
Área (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	∑ Drenajes (Km)	Longitud Cauce principal (Km)	Índice de Gravelius	Factor Forma
254,66	81,47	253,79	29,89	1,43	0,29

Las órdenes de las corrientes se muestran en la figura 10, están categorizados según el método de Strahler y se clasifican de 1 a 5. La siguiente tabla presenta los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica correspondiente.

**Tabla 4.** Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Amagá

<b>CUENCA AMAGÁ</b>			
Longitud del Cauce principal (Km)	$\Sigma$ de la longitud de todos los drenajes (Km)	Área Total de la Cuenca (Km <sup>2</sup> )	$\delta$ de los drenajes
29,89	253,79	254,66	0.99

Este valor de densidad, refleja una cuenca pobremente drenada (para la escala de trabajo). Hacia el este de la cuenca se presenta la mayor densidad y hacia el oeste la menor densidad, esto puede deberse a la resistencia de las rocas, la pendiente (Figura 11) y la precipitación. La baja densidad en esta cuenca puede reflejar fuerte resistencia de las rocas a la erosión, coberturas vegetales muy espesas y pendientes poco pronunciadas.



**Figura 10.** Mapa de red de drenajes con número de orden según método de Strahler para la cuenca hidrográfica Amagá.

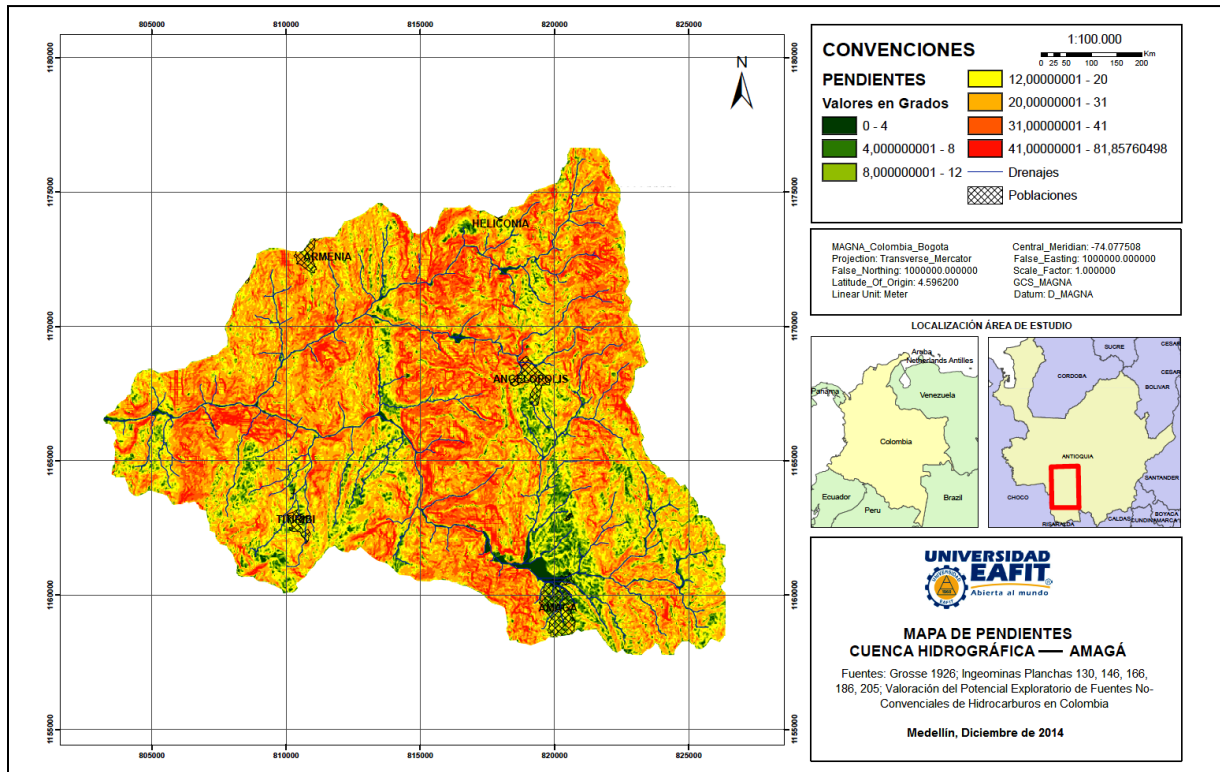


Figura 11. Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Amagá.

### 6.3 CONTROL DE DRENAJE

En la figura 12 se presenta el mapa de drenajes de la cuenca hidrográfica Amagá, esta presenta dos patrones en el sistema de la red de drenaje. El sistema predominante en la cuenca es el patrón tipo rectangular. La mayoría de sus afluentes de segundo orden se encuentran perpendiculares con el cauce principal. Este tipo de sistema posiblemente está controlado por diaclasas, foliaciones, pliegues y fallas que presentan tendencia de orientación N-S y N40°E correlacionables con las fallas Cauca, Romeral, Piedecuesta y Quirimaná. El segundo patrón de la cuenca, en el sistema de red de drenaje estaría controlado por drenajes de tipo dendrítico, comunes en zonas con pendientes muy altas (> 35°) en especial donde los afluentes tienden a ser paralelos y el ángulo de unión de ellos con el cauce principal es de carácter agudo. Este tipo de patrón no responde a un control estructural, pero posee influencia litológica sedimentaria (Figura 13) (Huggett, 2007)

Hacia el noreste de la cuenca, se presentan lineamientos en el patrón de los drenajes, posiblemente las tendencias de las direcciones de los drenajes estén bajo un control estructural en la disposición general de las corrientes (Figura14).

Los drenajes de segundo y tercer orden son de menor longitud hacia el sureste de la cuenca, lo que posiblemente indique un menor espacio para el desarrollo de un patrón en

el sistema de drenajes, lo anterior puede indicar zonas de mayor influencia tectónica (Keller y Pinter, 1996). Particularmente los drenajes de menor orden ubicados hacia el sur de la cuenca se unen en ángulos casi rectos al cauce principal (Figura 12).

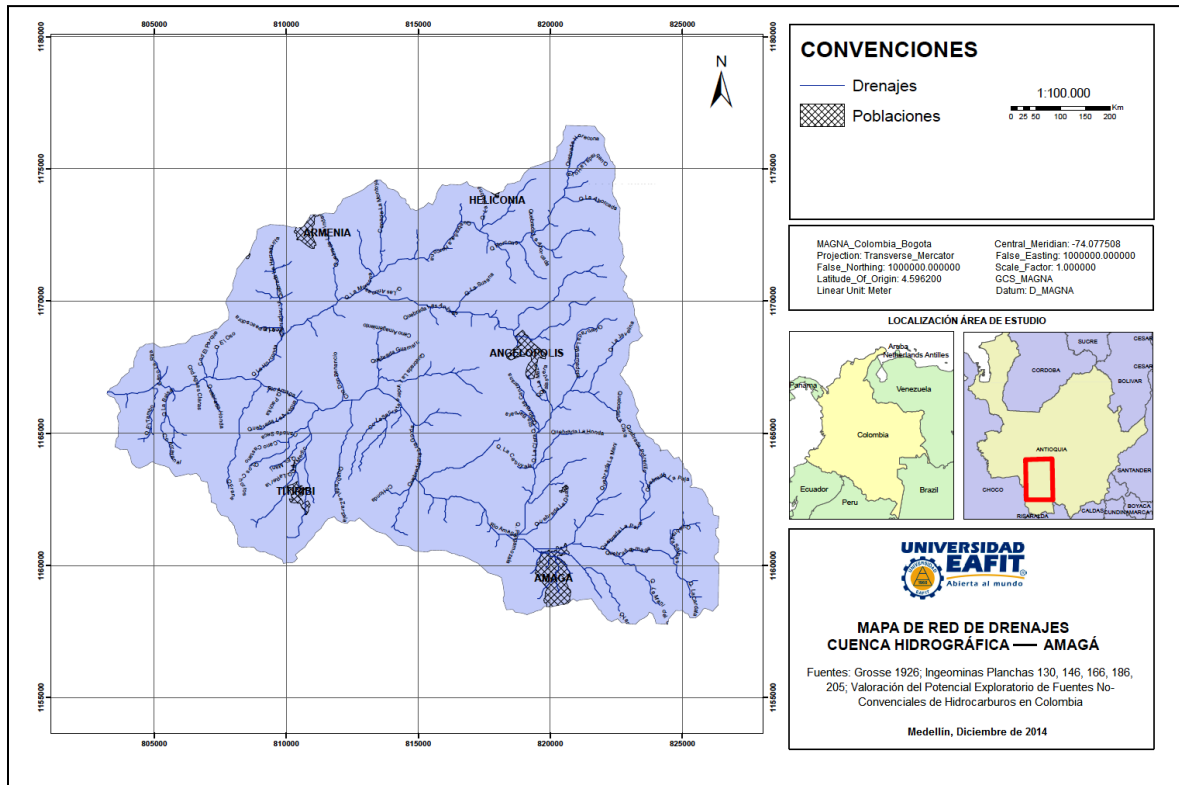


Figura 12. Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Amagá.

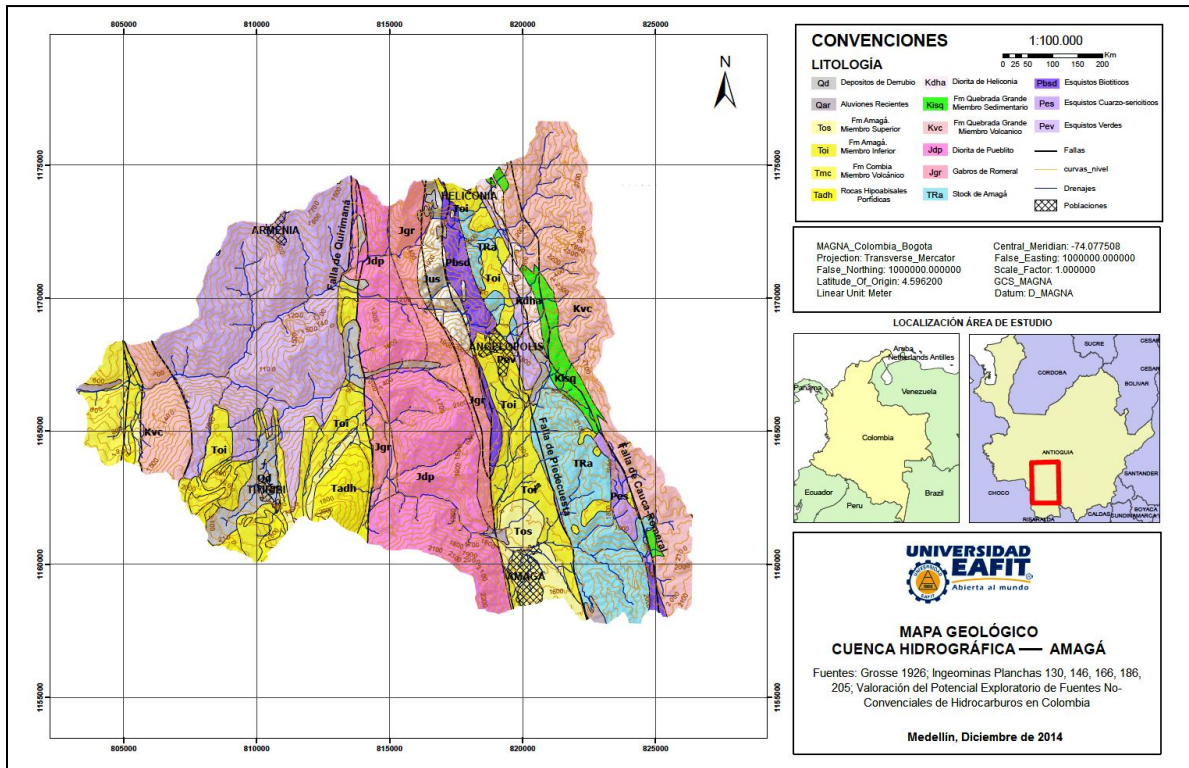


Figura 13. Mapa geológico de la cuenca hidrográfica de Amagá.

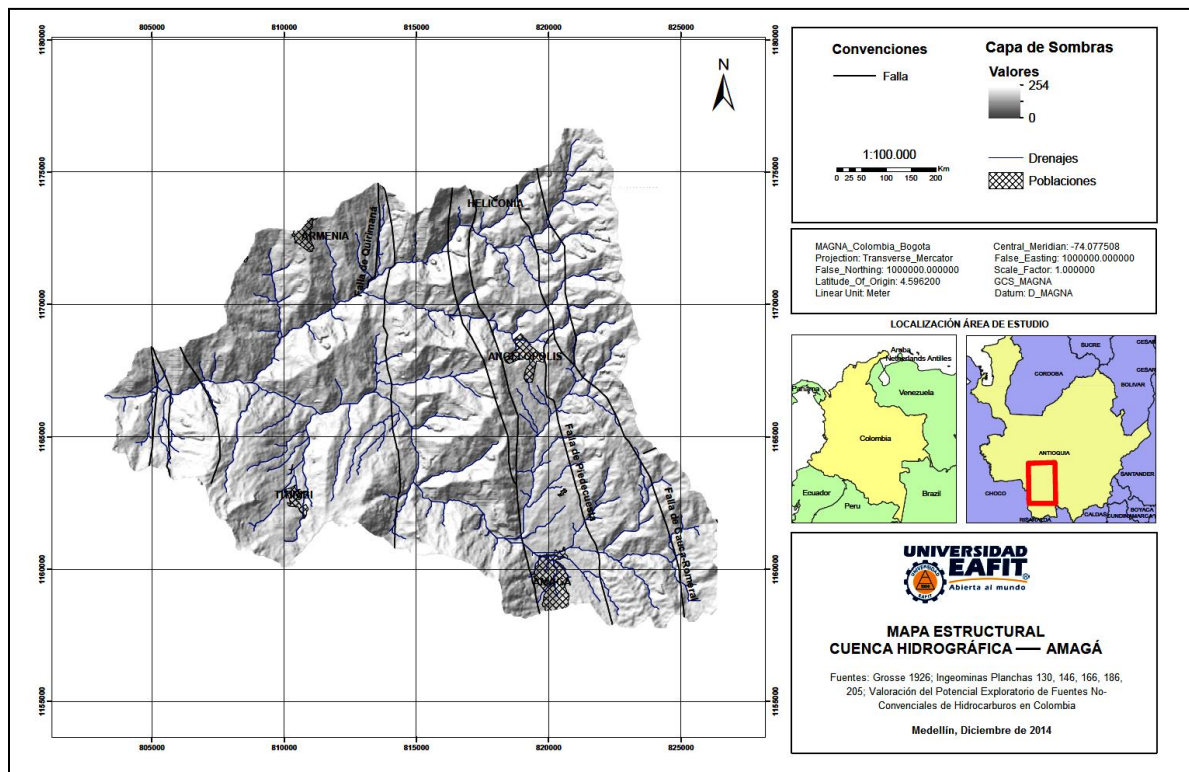
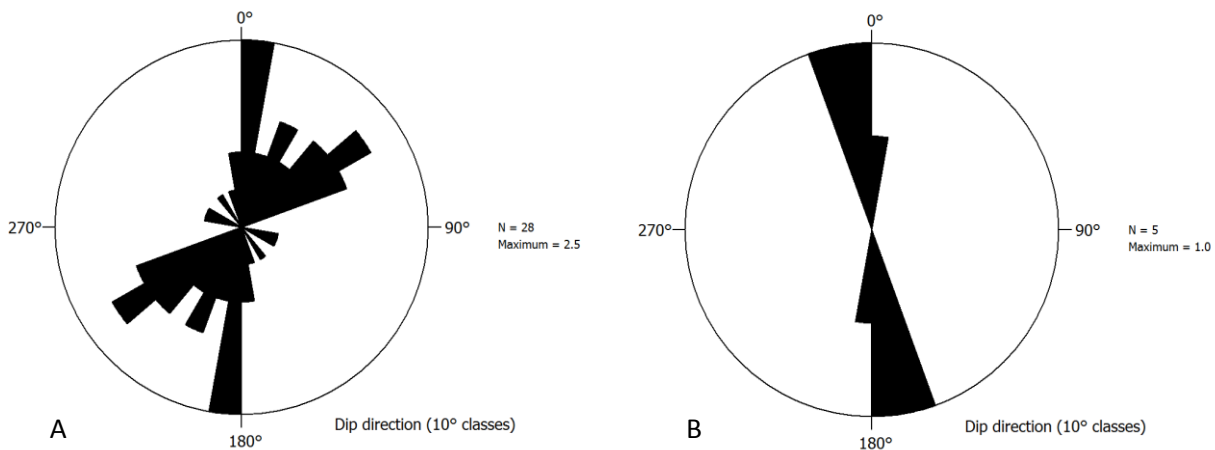


Figura 14. Mapa estructural cuenca hidrográfica de Amagá

## 6.4 ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS

### 6.4.1 CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, *KNICKPOINTS* Y NIVEL BASE.

En la correlación estructural se realizaron diagramas de rosas para obtener la dirección preferencial de las fallas regionales y de los drenajes presentes dentro de la zona de estudio (Figura 15). Los diagramas de rosas se compararon para identificar si existe una relación directa entre la dirección predominante de las fallas y la dirección que toman los drenajes dentro de la cuenca. Para la cuenca hidrográfica de Amagá se tomaron 28 direcciones de los drenajes que poseen una distancia mínima de 2 km y cuya dirección dentro de la cuenca no presente cambios repentinos.

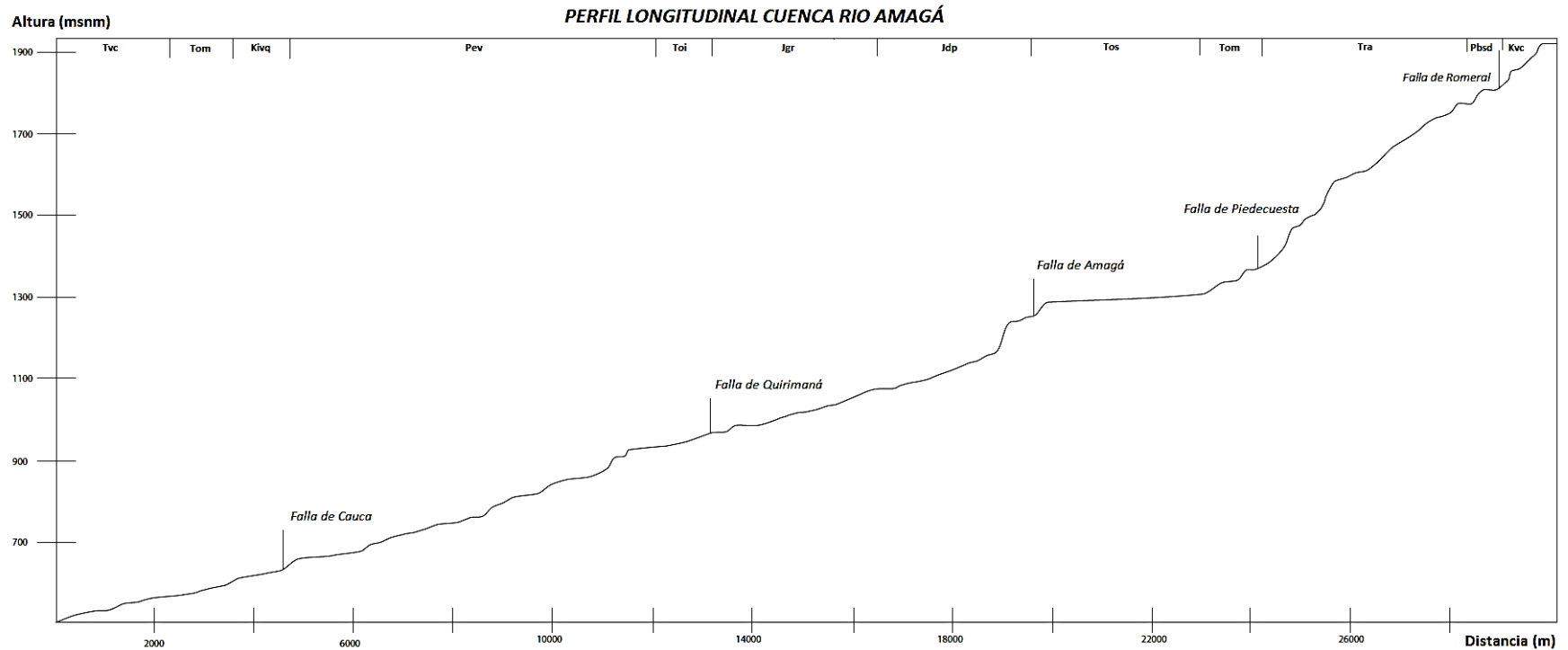


**Figura 15.** (A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Amagá.

En la cuenca hidrográfica Amagá, las fallas Cauca, Quirimaná, Amagá, Piedecuesta, y Romeral poseen una fuerte tendencia N-S con poca variación hacia el NE, mientras que la dirección de los drenajes posee una tendencia bimodal, hacia el NE-SW y N-S. La correlación entre las fallas regionales y los drenajes en la cuenca hidrográfica Amagá es incipiente, esto puede ser producto de intensa erosión y depositación a lo largo de períodos de inversión tectónica dando a los drenajes la dirección de posibles fallas sintéticas que no se encuentren cartografiadas. Los drenajes de menor orden poseen una mayor correlación con el sistema de fallas N-S hacia el oeste de la cuenca, y hacia el este presentan dirección preferencial al NE, esto puede estar relacionado con bifurcaciones o uniones de fallas regionales de tendencia N-S y fallas de

menor orden con dirección preferencial NE, que se encuentran por fuera del área de la cuenca pero están enmarcadas en el sistema regional de fallamiento. La corriente principal de esta cuenca (río Amagá) presenta correlación estructural por tramos, tomando la dirección de las fallas presentes en la zona, sin embargo la dirección preferencial a lo largo de su extensión es E-W.

A continuación se presenta el perfil longitudinal de la corriente principal (Figura 16) dentro de la zona de estudio.



**Figura 16.** Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Amagá mostrando los *Knicks*, la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas.

En el perfil longitudinal de la corriente principal, se presentan 5 *Knickpoints* generados por las fallas presentes en la zona, estas fallas cortan la corriente de manera perpendicular. A lo largo del perfil se presentan “zonas de *Knickpoints*” que pueden ser producto de la variación en la resistencia de las rocas y posiblemente estén atribuidas a fallas sintéticas que no están cartografiadas en la zona de estudio.

Hacia el nacimiento de la corriente (rio Amagá) se presenta un *knickpoint* correlacionable con la falla Romeral, en esta zona la falla pone en contacto la Formación Quebradagrande compuesta por lavas y diabasas y las rocas metamórficas del Grupo Ayurá – Montebello representadas por filitas y esquistos (INGEOMINAS, 1983). La diferencia composicional y la textura de estas dos unidades sumado a la zona de influencia de la falla Romeral generan zonas de debilidad o de menor resistencia y posiblemente esta sea la causa de las “zonas de *Knickpoints*” cercanas a esta falla.

El siguiente *Knickpoint* es correlacionable con la falla Piedecuesta, la cual separa el Stock de Amagá, compuesto por granodioritas a cuarzomonzonitas altamente meteorizado, del Miembro medio de la Formación Amagá, representado por arcillas de textura foliada, areniscas y mantos de carbón (INGEOMINAS, 1983). Estas dos unidades poseen diferencias composicionales, texturales y de resistencia que pueden generar cambios en el comportamiento del relieve y el balance energético de la cuenca. Esta variación litológica puede producir “zonas de *Knickpoints*” que posiblemente no tengan relación con la falla Piedecuesta. Esta zona marca en el perfil, un cambio importante en el ángulo de la pendiente, esto puede deberse a la diferencia composicional de rocas cristalinas a rocas sedimentarias y su estado de meteorización.

En el cruce de la falla Amagá con el cauce principal se produce un *Knickpoint*, probablemente está relacionado con el trazo de la falla. Esta pone en contacto el Miembro Superior de la Formación Amagá compuesto por areniscas bien cementadas, arcillas pizarrosas, bancos delgados de carbón y conglomerados, con la Diorita de Pueblito representada por dioritoides con variaciones desde gabro hasta granodiorita (INGEOMINAS, 1983). Estas dos unidades poseen diferencias composicionales, texturales y de resistencia que pueden generar cambios en el relieve y el balance energético de la cuenca. Específicamente esta zona presenta un *Knickpoint* con un cambio de pendiente importante, expresando el fallamiento inverso de una zona con intenso plegamiento, fracturamiento y lineamientos.

En la zona de transferencia de la cuenca se presenta un *Knickpoint* relacionado a la falla Quirimaná, esta falla separa los Gabros de Romeral y el Miembro Inferior de la Formación Amagá compuesto por conglomerados, areniscas conglomeráticas y arcillolitas (INGEOMINAS, 1983). En esta zona ocurre un *Knickpoint* menor, posiblemente a causa de alta energía en la corriente y por lo tanto una erosión más alta en este punto de inflexión.

Hacia la zona de depositación de la cuenca, la falla Cauca separa las rocas del Grupo Ayurá – Montebello compuesto por esquistos verdes, y el Miembro sedimentario de la Formación Quebradagrande, representado por piroclastos, lavas almohadilladas y

diabasas (INGEOMINAS, 1984). Esta falla produce un *Knickpoint* de menor magnitud, posiblemente posee este tamaño debido a la capacidad erosiva de la corriente y por la resistencia similar de este tipo de litologías.

A lo largo del perfil de la corriente principal se presentan zonas de *Knickpoints* que probablemente estén relacionadas con variaciones composicionales, estructuras, diaclasas, pliegues, fallas de carácter local o cambios de nivel base, este último factor puede ser el responsable de estas zonas de inflexión.

#### 6.4.2 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AMAGÁ (“AF”)

Para el comienzo de este análisis se delimitó la cuenca y se delineó la corriente divisoria real. Se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “AF”. En la tabla 6 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

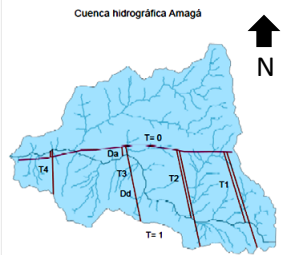
**Tabla 5.** Índice de asimetría de la cuenca.

INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA						
ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AMAGÁ	Área Total (Km <sup>2</sup> )	Área Margen derecha (Km <sup>2</sup> )	Área Margen Izquierda (Km <sup>2</sup> )	AFd	AFi	
	254,66	76,94	177,72	30,21%	69,79%	
<p>El margen “AFd”, posee un 30,21% del área total de la cuenca, hacia esta margen la longitud de los drenajes es corta en comparación con el margen “AFi” que posee un 69,79% del área total de la cuenca. Los valores encontrados para las dos márgenes se alejan del 50%, lo que posiblemente signifique una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (mayor intensidad de basculamiento).</p>						

#### 6.4.3 FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)

Una vez delimitada la cuenca se delinearón sobre ella, una corriente real y una divisoria idealizada. Se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “T”. En la tabla 7 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

**Tabla 6.** Índice de simetría topográfica transversal.

INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA									
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL ("T")	T1= 0,73		T2= 0,70		T3= 0,11		T4= 0,14		
	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	
	9,04 km	6,62 km	8,78 km	6,21 km	6,84 km	0,8 km	3,97 km	0,57 km	
<p>Los valores para T1 y T2 se acercan a 1, esto significa que, hacia la zona sureste de la cuenca, la migración preferente de los drenajes es perpendicular al eje axial de la cuenca. En esta zona los drenajes poseen un patrón con tendencia de dirección N-S, lo que podría correlacionarse con el sistema de fallas predominante en la cuenca.</p> <p>Los valores para T3 y T4 se acercan a 0, esto indica que, hacia la zona suroeste de la cuenca, se presenta simetría en la zona de depositación. Los drenajes en esta área poseen una tendencia direccional hacia el noreste.</p> <p>Los valores encontrados para los cuatro puntos utilizados, posiblemente signifiquen una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (mayor intensidad de basculamiento) para la zona de producción de sedimentos.</p>									

## 7. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AURRÁ

### 7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

#### 7.1.1 Ubicación

La cuenca hidrográfica Aurrá se localiza en la parte norte de la zona de estudio (Figura 8), comprende el corregimiento de Córdoba y los municipios Sopetrán hacia el NW y San Jerónimo hacia el SE de la zona de estudio.

#### 7.1.2 Área

El área total de la zona corresponde a 189,85 km<sup>2</sup>, en su extensión se presentan las microcuencas de la Quebrada San San Miguel, Llorona, Mirandita, Sopetrana, Tafetanes, Los Cedros, La Sopera, Espada, La Grande, La Alarcona, Aburrá, Santuario, La Muñoz, La Ramírez y La Clara.

### 7.2 FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES.

Según el índice de Gravelius y el factor forma obtenido, la cuenca hidrográfica Aurrá tiende a ser más alargada que circular, esto implica que el cauce principal recibirá aportes de manera gradual y por lo tanto podrían no presentarse represamientos dentro del cauce principal debido a las altas pendientes hacia la parte alta de la cuenca hidrográfica.

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos para el Índice de Gravelius y para el Factor Forma.

**Tabla 7.** Índices morfométricos y Factor Forma.

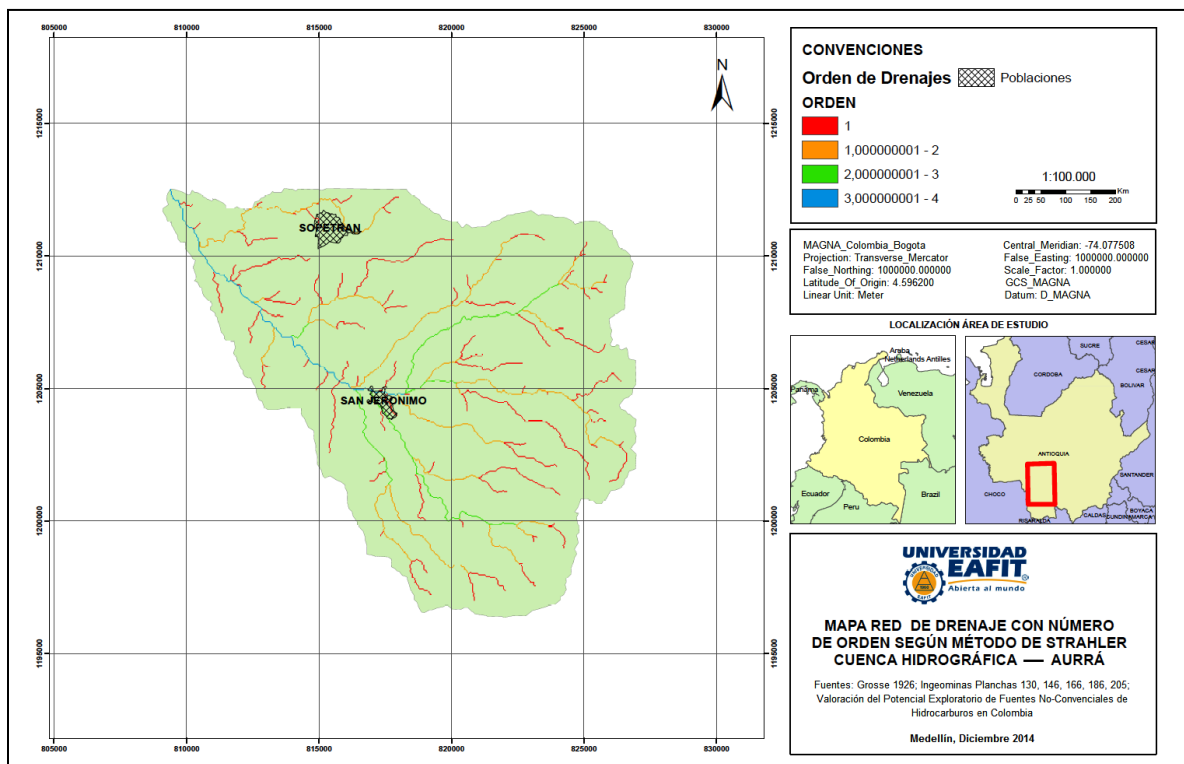
CUENCA AURRÁ					
Área (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	∑ Drenajes (Km)	Longitud Cauce principal (Km)	Índice de Gravelius	Factor Forma
189,85	115,71	199,37	22,95	2,37	0,36

Los órdenes de las corrientes se muestran en la figura 17, están categorizados según el método de Strahler y se clasifican de 1 a 4. La siguiente tabla presenta los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica correspondiente.

**Tabla 8.** Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Aurrá.

<b>CUENCA AURRÁ</b>			
Longitud del Cauce principal (km)	$\Sigma$ de la longitud de todas los drenajes (km)	Área Total de la Cuenca (km <sup>2</sup> )	$\delta$ de los drenajes
22,95	199,37	189,85	1,05

Este valor de densidad está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca, refleja una cuenca pobremente drenada (para la escala de trabajo). Hacia el este de la cuenca se presenta la mayor densidad y hacia el oeste la menor densidad, esto puede deberse a la resistencia de las rocas, la pendiente abrupta (Figura 18) y la precipitación. La baja densidad en esta cuenca puede reflejar fuerte resistencia de las rocas a la erosión, coberturas vegetales muy espesas y pendientes poco pronunciadas.



**Figura 17.** Mapa de red de drenajes con método de Strahler para la cuenca hidrográfica Aurrá.

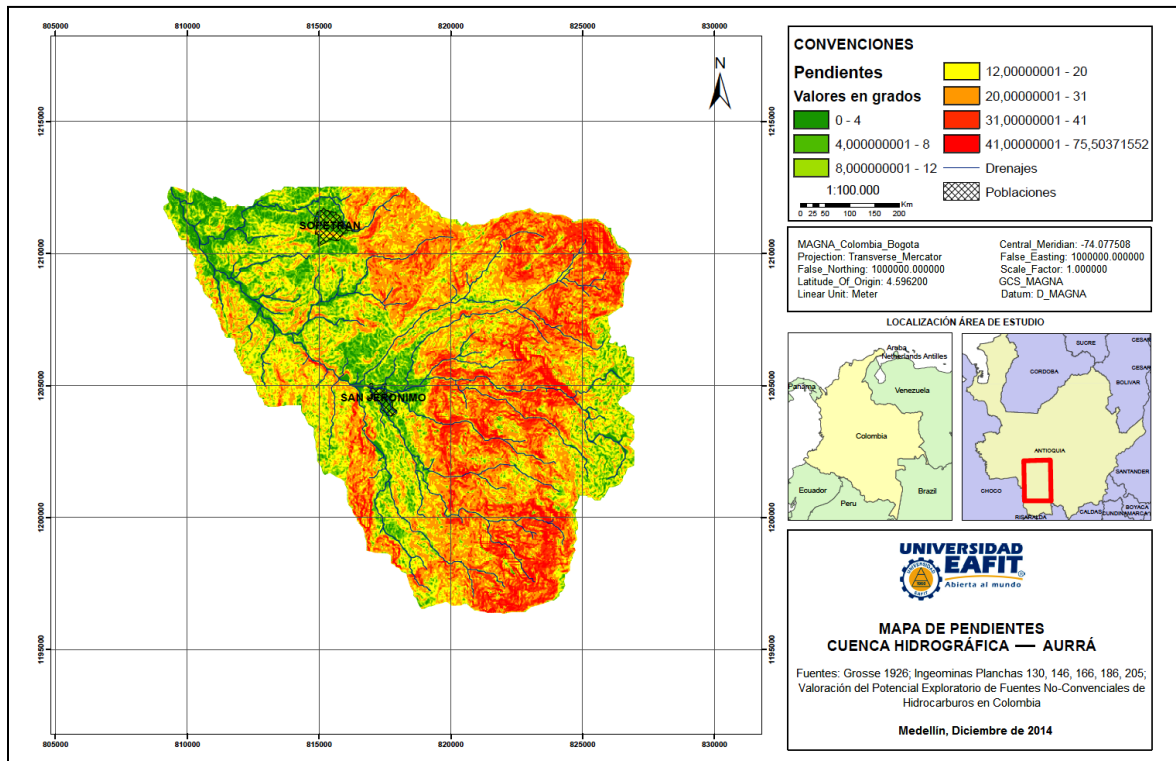


Figura 18. Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Aurrá.

### 7.3 CONTROL DE DRENAJE

En la figura 19 se presenta el mapa de drenajes de la cuenca hidrográfica Aurrá, esta presenta dos patrones en el sistema de la red de drenaje. Hacia la cabecera de la cuenca un patrón tipo paralelo. Este tipo de patrón presenta corrientes regularmente espaciadas y se unen con el drenaje principal en ángulos agudos. Este tipo de patrón está relacionado con pendientes altas mayores a  $30^\circ$  y están paralelos con las lineaciones con tendencia de orientación  $N40^\circ W$ . Puede presentar influencia de control litológico (Figura 20) y estructural, es muy frecuente encontrarlo en zonas de pendientes fuertes (Londoño, 2001).

Se presentan lineamientos en el patrón de los drenajes hacia el norte de la cuenca con tendencia NE, posiblemente las tendencias de las direcciones de los drenajes sean un reflejo de control estructural en la disposición general de las corrientes (Figura 21).

Hacia la zona sur de la cuenca el sistema de red de drenaje estaría controlado por drenajes de tipo angular - rectangular. Este tipo de patrón posee una relación directa con el control estructural. Los drenajes de menor orden dentro de la cuenca poseen longitudes

considerables, hacia el este de la cuenca poseen una mayor longitud comparados con la zona oeste de la cuenca.

Los drenajes hacia el sur de la cuenca son de menor tamaño, lo que significa un menor espacio para el desarrollo de un patrón en el sistema de drenajes, esto puede indicar zonas de mayor influencia tectónica (Keller y Pinter, 1996). Particularmente los drenajes de menor orden ubicados hacia el este de la cuenca se unen en ángulos casi rectos al cauce principal.

La corriente principal (río Aurrá), está controlada estructuralmente por la convergencia de las fallas Ebéjico, Piedecuesta, San Jerónimo y Romeral con tendencia de dirección N40°W.

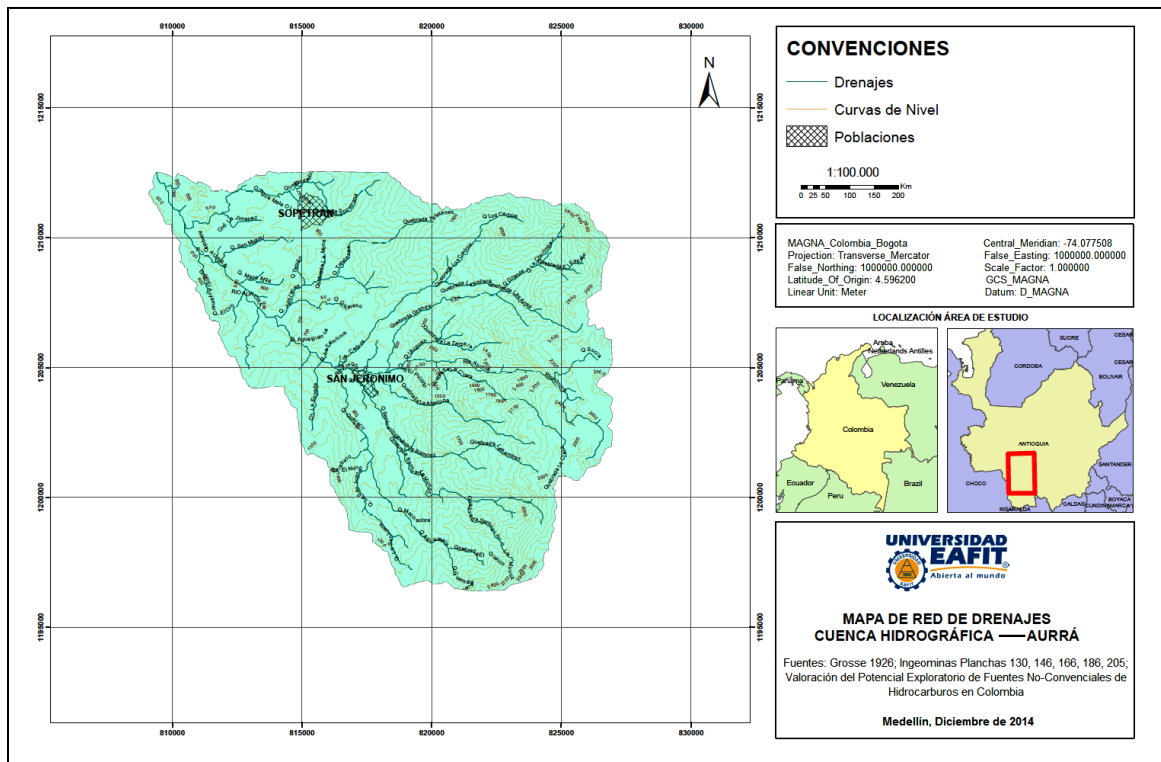


Figura 19. Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Aurrá.

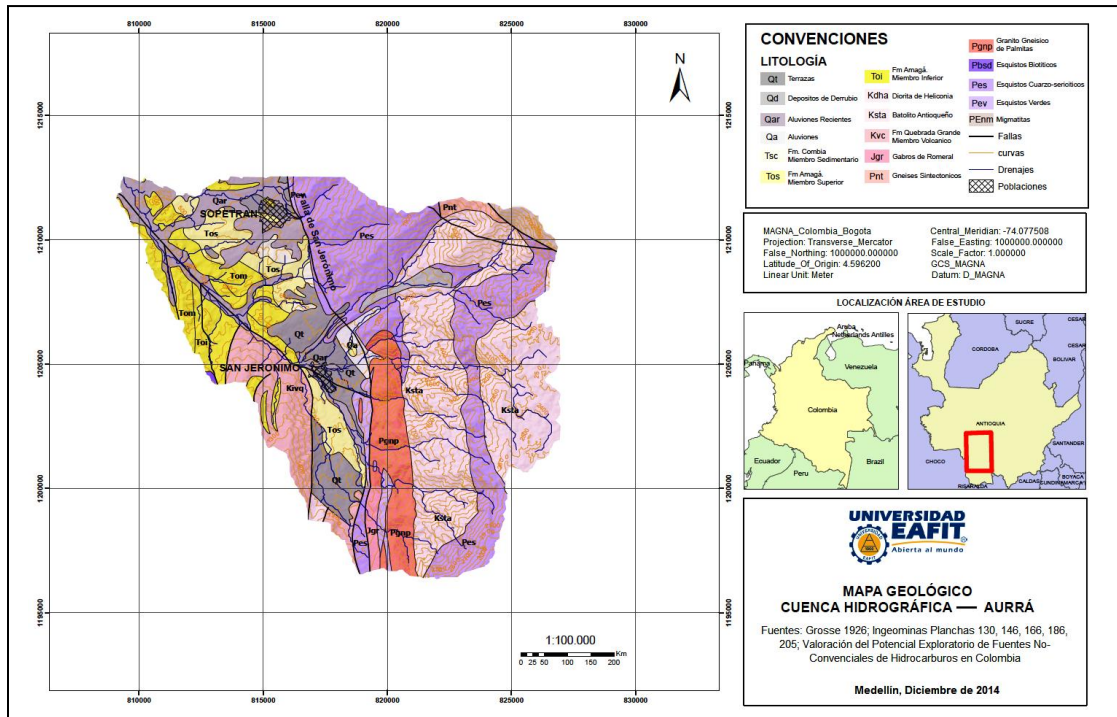


Figura 20. Mapa geológico para la cuenca hidrográfica Aurrá.

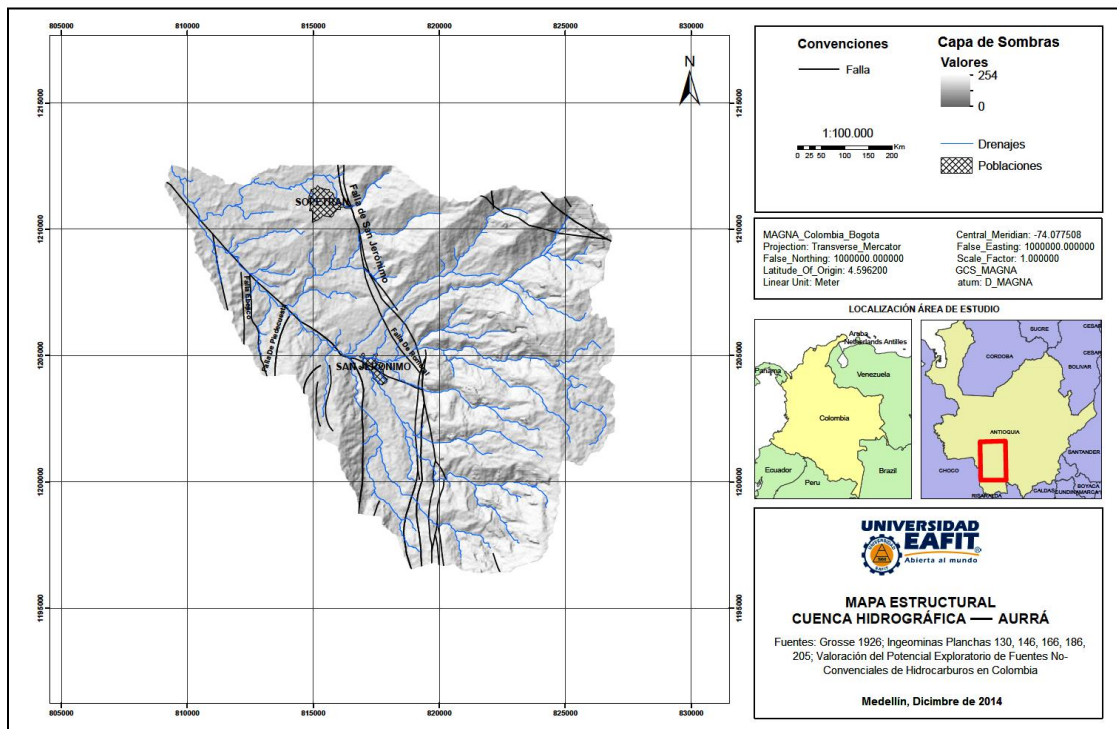
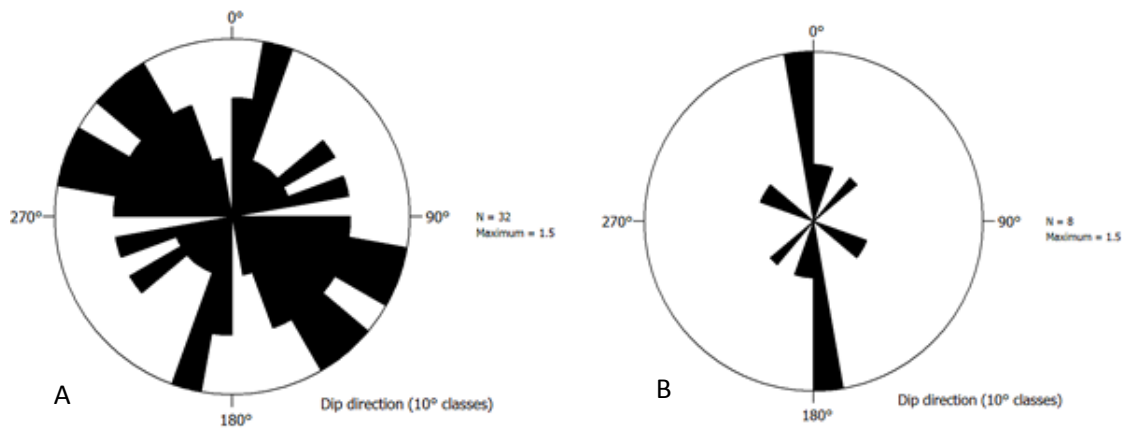


Figura 21. Mapa estructural para la cuenca hidrográfica Aurrá.

## 7.4 ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS

### 7.4.1 CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, *KNICKPOINTS* Y NIVEL BASE.

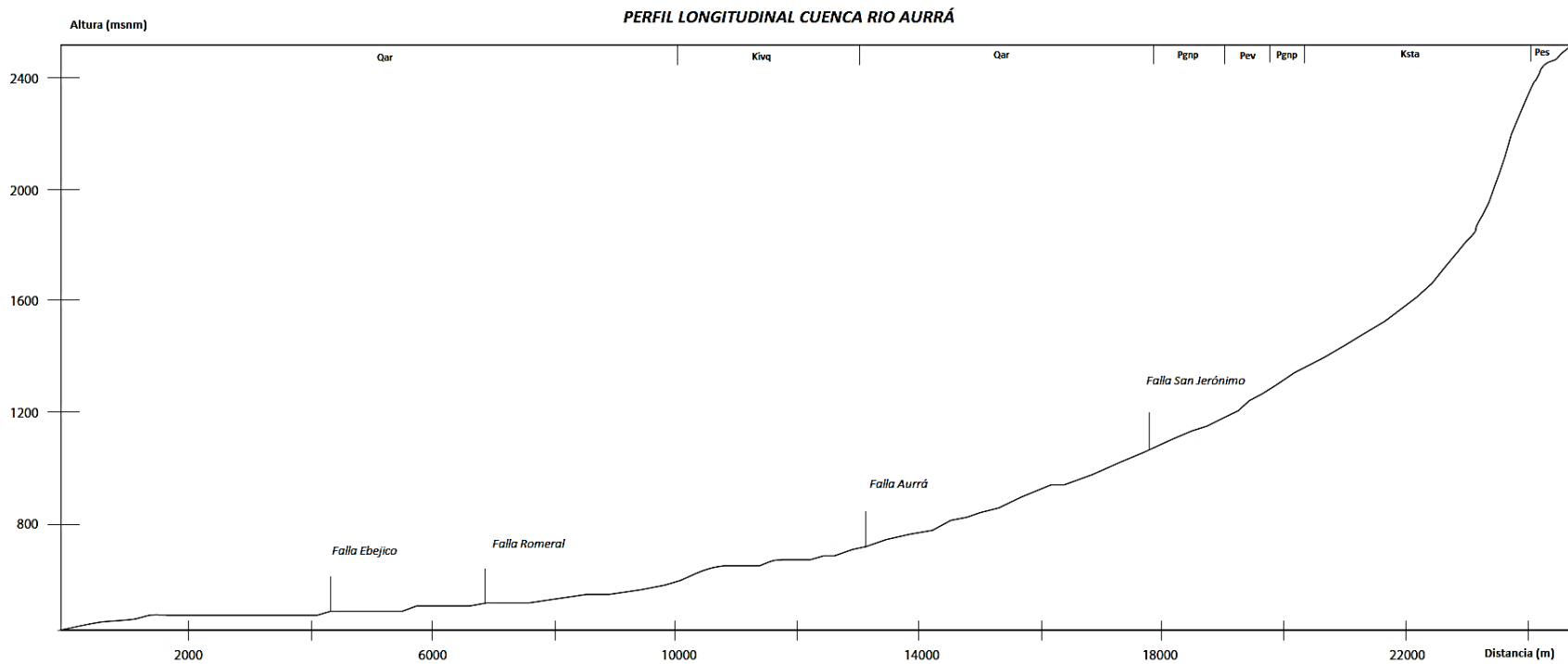
Se realizaron diagramas de rosas para obtener la dirección preferencial de las fallas regionales y de los drenajes presentes dentro de la zona de estudio (Figura 22). Para la cuenca hidrográfica de Aurrá se tomaron 32 direcciones de los drenajes que poseen una distancia mínima de 2 km y cuya dirección dentro de la cuenca no presente cambios repentinos. Los diagramas de rosas se compararon para identificar si existe una relación directa entre la dirección predominante de las fallas y la dirección que toman los drenajes dentro de la cuenca.



**Figura 22.** (A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Aurrá.

En la cuenca hidrográfica Aurrá, las fallas Amagá, Ebéjico, Piedecuesta, y Romeral poseen una fuerte tendencia N-S con variación hacia el NW y NE, mientras que la dirección de los drenajes posee tres tendencias, hacia el NW-SE como tendencia principal, NE - SW y N-S. La correlación entre las fallas regionales y los drenajes en la cuenca hidrográfica Aurrá es media; esto puede ser producto de intenso fracturamiento y deformación tectónica. Se debe aclarar que la correlación del cauce principal (rio Aurrá) con el sistema de fallas es fuerte, pero los drenajes de menor orden poseen poca correlación con el sistema preferencial N-S, probablemente existe correlación de los drenajes de menor orden con fallas sintéticas y antitéticas que no se encuentren cartografiadas o los drenajes de menor orden no poseen correlación estructural. La corriente principal posee una dirección preferencial hacia el NW siguiendo la dirección de la cuenca hacia el noroccidente.

A continuación se presenta el perfil longitudinal de la corriente principal (Figura 23) dentro de la zona de estudio.



**Figura 23.** Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Aurrá mostrando los *Knickpoints*, la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas.

En el perfil longitudinal de la corriente principal, se presentan 3 *Knickpoints* generados por las fallas presentes en la zona. Hacia la zona de transferencia de la corriente principal (río Aurrá) se presenta un *knickpoint* correlacionable con la falla Aurrá, en esta zona la falla separa el Miembro Volcánico de la Formación Quebrada Grande, compuesto por piroclastos, lavas almohadilladas y diabasas espilitizadas de aluviones recientes que reposan sobre la Formación Amagá, Miembro Inferior representado por conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas, arcillolitas arenosas y pizarrosas (INGEOMINAS, 1983). La diferencia composicional y la textura de estas dos unidades sumado a la zona de influencia de la falla Aurrá generan zonas de debilidad o de menor resistencia y posiblemente esta sea la causa de las “zonas de *Knickpoints*” cercanas a esta falla.

El siguiente *Knickpoint* es correlacionable con la falla Romeral, en esta zona se une ortogonalmente la falla Romeral de dirección preferencial N-S, con la falla Aurrá de dirección preferencial NE.

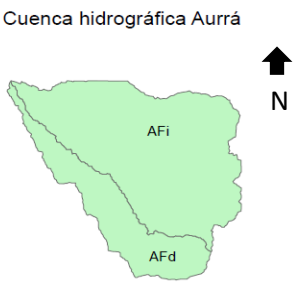
En la zona de depositación de la cuenca se presenta un *Knickpoint* relacionado con la falla Ebéjico; este puede estar relacionado con la influencia del cruce casi ortogonal de la falla Aurrá de tendencia NW y la falla Ebéjico de tendencia N-S.

A lo largo del perfil de la corriente principal se presentan “zonas de *Knickpoints*” que probablemente estén relacionadas con variaciones composicionales, diaclasas, pliegues, fallas de carácter local de tipo antitéticas y sintéticas o cambios de nivel base; este último factor puede ser el responsable de estas zonas de inflexión.

#### 7.4.2 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AURRÁ (“AF”)

Para el comienzo de este análisis se delimitó la cuenca y se delineó la corriente divisoria real. Luego, se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “AF”. En la tabla 10 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

**Tabla 9.** Índice de asimetría de la cuenca.

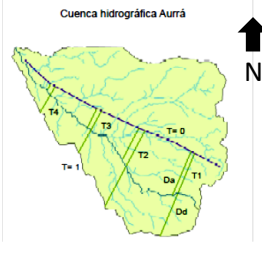
INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA						
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)	Área Total (Km <sup>2</sup> )	Área Margen derecha (Km <sup>2</sup> )	Área Margen izquierda (Km <sup>2</sup> )	AFd	AFi	Cuenca hidrográfica Aurrá 
		189,85	51,65	138,2	27,20%	

El margen “AFd”, posee un 27,20% del área total de la cuenca, hacia esta margen la longitud de los drenajes es corta en comparación con el margen “AFi” que posee un 72,79% del área total de la cuenca. Los valores encontrados para las dos márgenes se alejan del 50%, lo que posiblemente signifique una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (mayor intensidad de basculamiento).

### 7.4.3 FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)

Una vez delimitada la cuenca se delinearon sobre ella, una corriente real y una divisoria idealizada. A partir de ese resultado, se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “T”. En la tabla 11 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

**Tabla 10.** Índice de simetría topográfica transversal.

INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA									
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)	T1= 0,53		T2= 0,41		T3= 0,45		T4= 0,25		
	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	
	7,62 km	4,06 km	7,27 km	3,03 km	4,04 km	1,85km	2,52 km	0,65 km	
<p>Los valores para T1, T2, T3 presentan valores cercanos al 50 %, lo que podría sugerir, que hacia el sureste de la zona de estudio, la migración preferente de los drenajes es paralela al eje axial de la cuenca. En esta zona los drenajes poseen un patrón con tendencia de dirección NW y N-S, lo que podría relacionarse con la falla Aurrá y con la falla Piedecuesta.</p> <p>El valor T4 se acercan a 0, esto indica que, hacia la zona noroeste de la cuenca, se presenta simetría en la zona de depositación. Los drenajes en esta área poseen una tendencia direccional hacia el noreste.</p> <p>Los valores encontrados para los cuatro puntos utilizados, posiblemente signifiquen una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (Una mayor intensidad de basculamiento).</p>									

## 8. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA SINIFANÁ

### 8.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

#### 8.1.1 Ubicación

La cuenca hidrográfica Sinifaná se localiza en la parte sur de la zona de estudio (Figura 8), comprende el municipio de Amagá y el corregimiento de Camilocé Restrepo hacia el NE, y el municipio de Venecia y el corregimiento de Los Palomos hacia el sur de la cuenca.

#### 8.1.2 Área

El área total de la zona corresponde a 163,76 km<sup>2</sup>, en su extensión se presentan las microcuencas de Hoyo Grande, El Totumo, El Guamo, La Pita, Piedras Blancas, Sabaletas, Cascajosa, Cajones, La Peña, Piedra Verde, El Tigre, Taparo, La Sucia, Potosi y Rita.

### 8.2 FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES.

Según el índice de Gravelius y el factor forma obtenido, la cuenca hidrográfica Sinifaná tiende a ser más alargada que circular, esto implica que el cauce principal recibirá aportes de manera gradual y por lo tanto podrían no presentarse represamientos dentro del cauce principal debido a las altas pendientes.

En la tabla 12 se presentan los valores obtenidos para el Índice de Gravelius y para el Factor Forma.

**Tabla 11.** Índices morfométricos y Factor Forma.

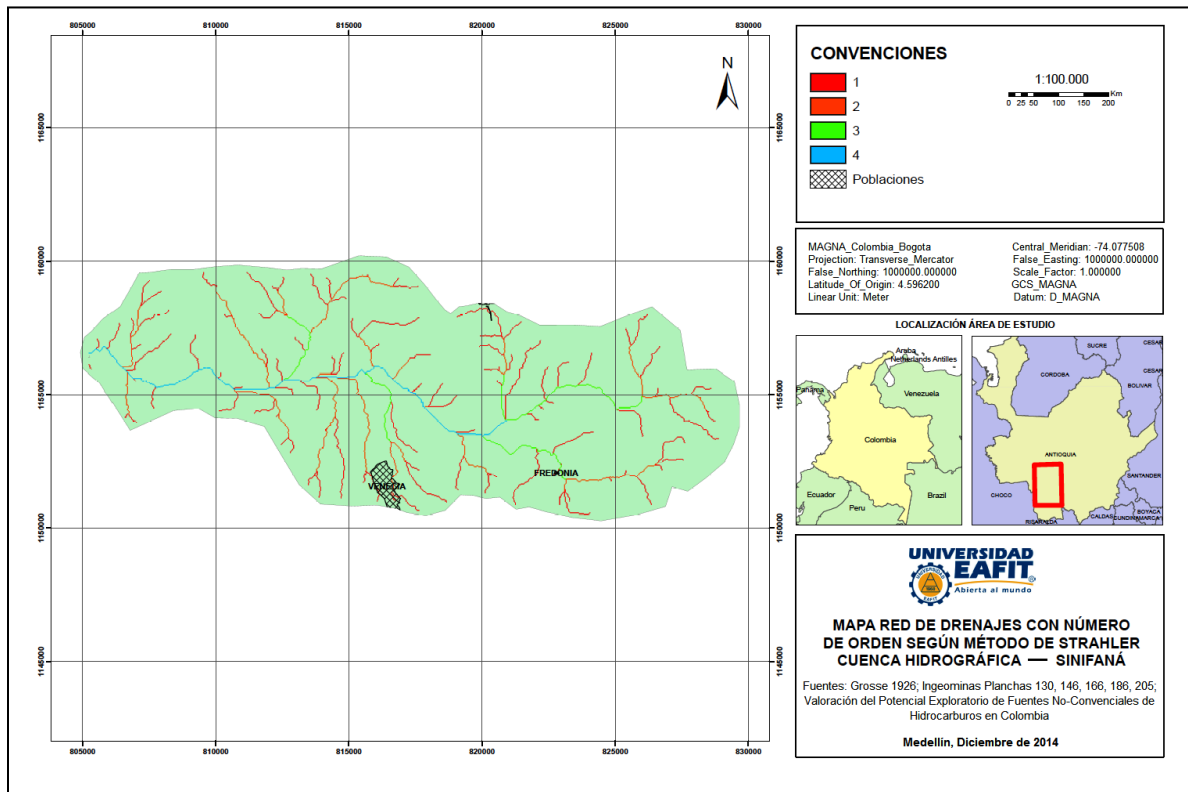
CUENCA SINIFANA					
Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	∑ Drenajes (km)	Longitud Cauce principal (km)	Índice de Gravelius	Factor Forma
163,76	61,81	185,88	27,2	1,36	0,22

Los órdenes de las corrientes se muestran en la figura 24, están categorizados según el método de Strahler y se clasifican de 1 a 4. La siguiente tabla presenta los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica correspondiente.

**Tabla 12.** Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Sinifaná.

<b>CUENCA SINIFANÁ</b>			
Longitud del Cauce principal (km)	$\Sigma$ de la longitud de todos los drenajes (km)	Área Total de la Cuenca (km <sup>2</sup> )	$\delta$ de los drenajes
27,2	185,88	163,76	1,13

Este valor de densidad refleja una cuenca poco drenada (para la escala de trabajo). Hacia el oeste de la cuenca se presenta la mayor densidad y hacia el este la menor densidad; esto puede deberse a la resistencia de las rocas, la pendiente sectorizada con valores altos hacia el tope, la zona central y en la descarga por litologías con mayor resistencia a la erosión (Figura 25) y la precipitación. La densidad en esta cuenca puede reflejar fuerte resistencia de las rocas a la erosión, coberturas vegetales muy espesas y pendientes pronunciadas.



**Figura 24.** Mapa de red de drenajes con método de Strahler para la cuenca hidrográfica Sinifaná.

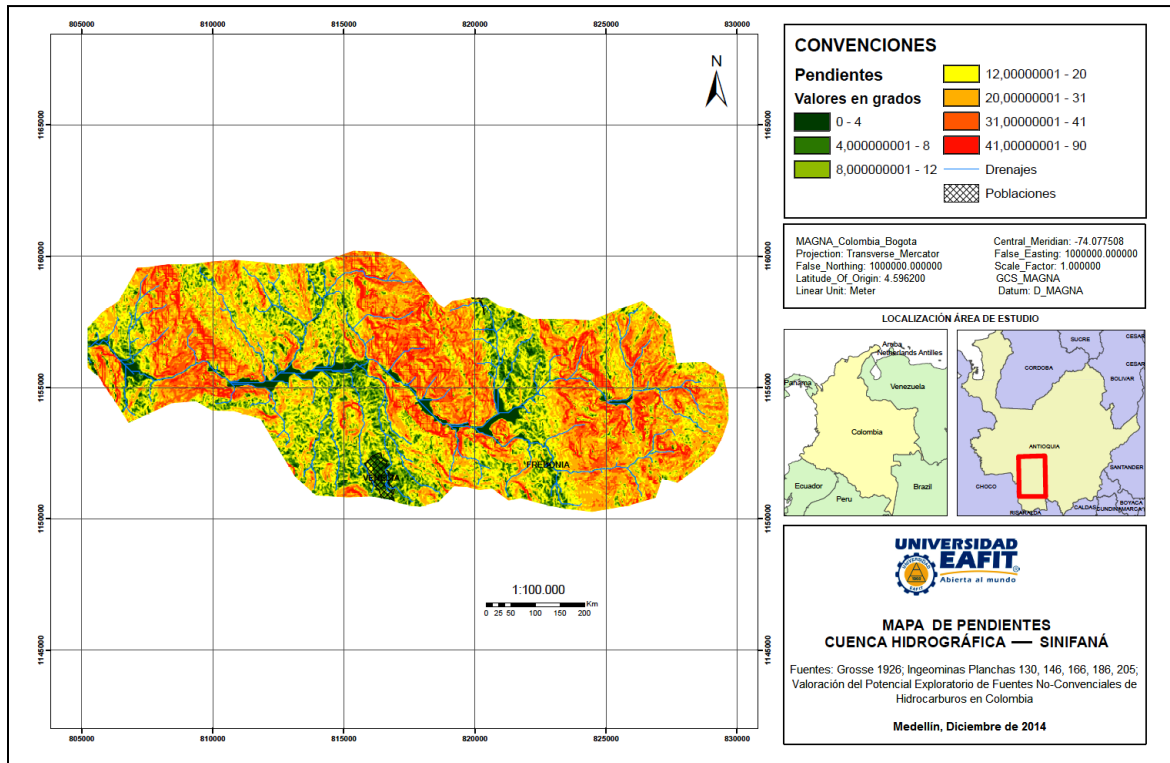


Figura 25. Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Sinifaná.

### 8.3 CONTROL DE DRENAJE

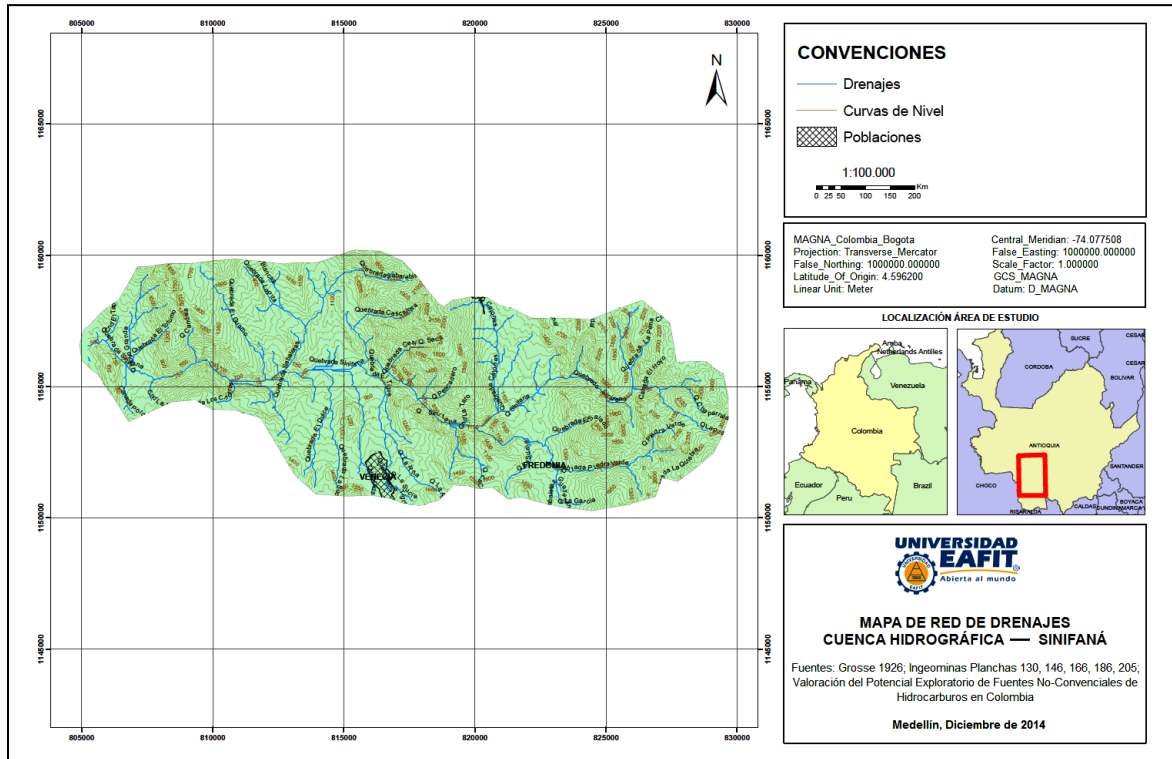
En la figura 26 se presenta el mapa de drenajes de la cuenca hidrográfica Sinifaná, esta presenta dos patrones en el sistema de la red de drenaje. El sistema predominante en la cuenca es el patrón tipo recto. La mayoría de sus afluentes de segundo orden se encuentran perpendiculares al cauce principal. Este tipo de sistema posiblemente está controlado por diaclasas, foliaciones, pliegues y fallas que presentan tendencia de orientación N-S y N40°W correlacionables con las fallas Cauca, Romeral, Piedecuesta, Quirimaná, y Amagá. El segundo patrón de la cuenca, en el sistema de red de drenaje estaría controlado por drenajes de tipo dendrítico, comunes en zonas con pendientes muy altas (> 35°) en especial donde los afluentes tienden a ser paralelos y el ángulo de unión de ellos con el cauce principal es de carácter agudo. Este tipo de patrón no responde a un control estructural pero posee relación directa con la litología y su diferencia a la erosión (Figura 27) (Huggett, 2007).

Hacia el oeste de la cuenca, se presentan lineamientos en el patrón de los drenajes, posiblemente las tendencias de las direcciones de los drenajes estén bajo un control estructural en la disposición general de las corrientes con orientación NW.

Los drenajes de segundo y tercer orden son de menor longitud hacia el oeste y sureste de la cuenca, lo que refleja un menor espacio para el desarrollo de un patrón en el

sistema de drenajes, lo anterior puede indicar zonas de mayor influencia tectónica (Keller y Pinter, 1996). Particularmente los drenajes de menor orden ubicados hacia el sur de la cuenca se unen en ángulos casi rectos al cauce principal (Figura 28).

La corriente principal (Quebrada Sinifaná), está controlada estructuralmente por sectores influyendo en la sinuosidad del cauce. La falla Quirimaná controla el cambio de dirección del cauce con tendencia de dirección E-W a tendencia de dirección NW.



**Figura 26.** Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Sinifaná.

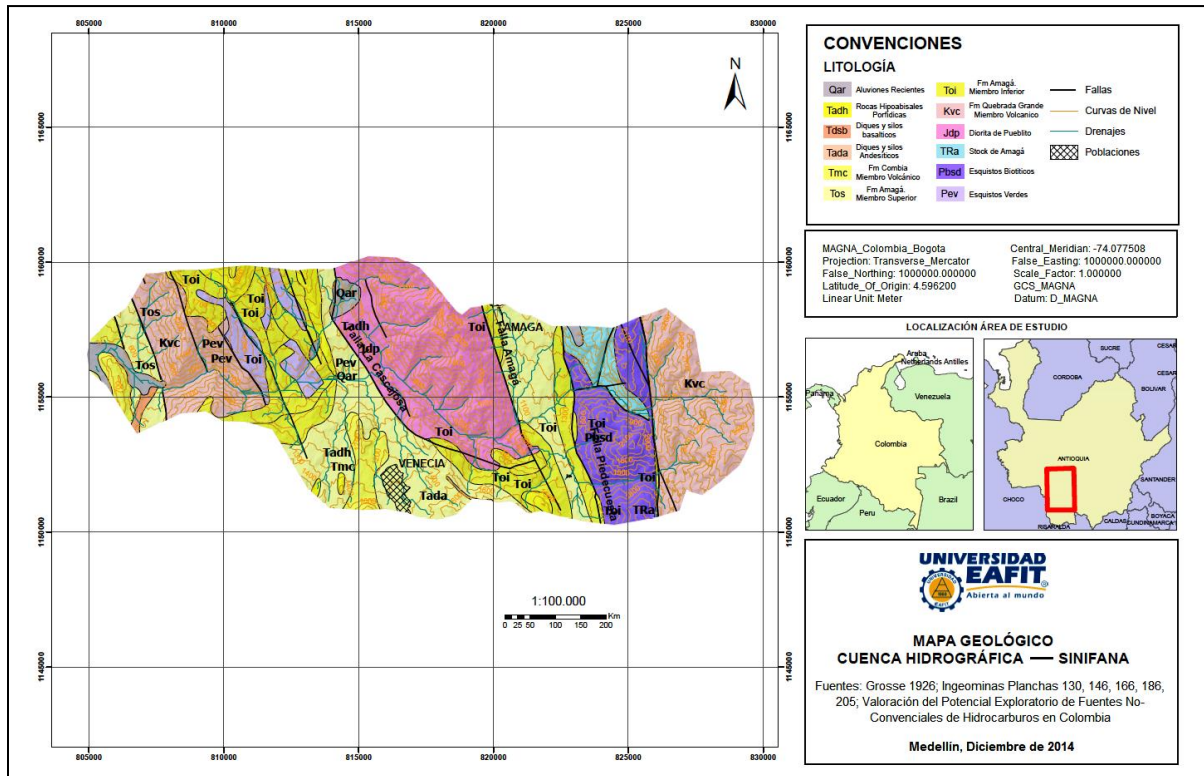


Figura 27. Mapa geológico cuenca hidrográfica Sinifaná.

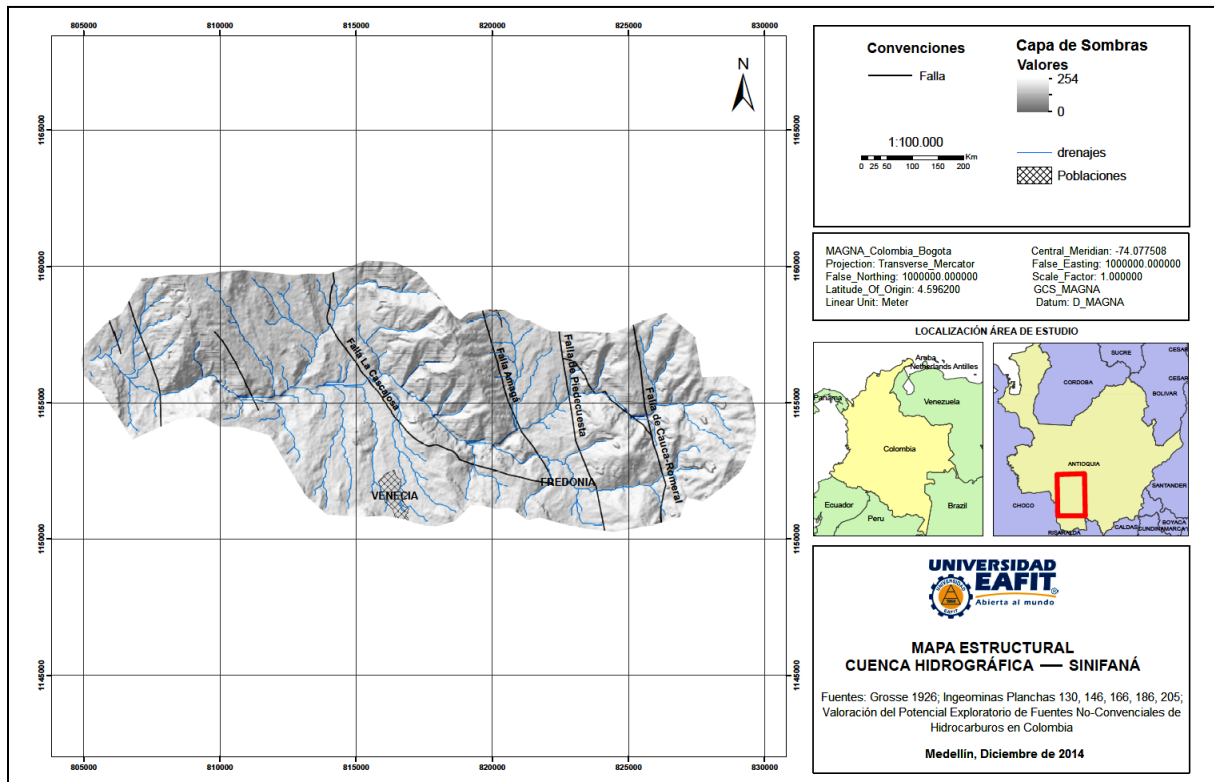
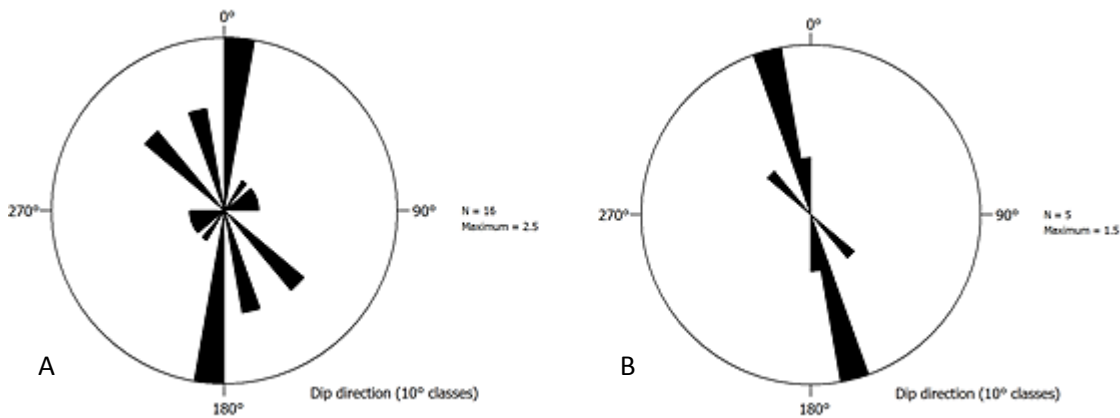


Figura 28. Mapa estructural de la cuenca hidrográfica Sinifaná.

## 8.4 ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS

### 8.4.1 CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, *KNICKPOINTS* Y NIVEL BASE.

En la correlación estructural se realizaron diagramas de rosas para obtener la dirección preferencial de las fallas regionales y de los drenajes presentes dentro de la zona de estudio (Figura 29). Para la cuenca hidrográfica de la quebrada Sinifaná se tomaron 16 direcciones de los drenajes que poseen una distancia mínima de 2 km y cuya dirección dentro de la cuenca no presente cambios repentinos. Los diagramas de rosas se compararon para identificar si existe una relación directa entre la dirección predominante de las fallas y la dirección que toman los drenajes dentro de la cuenca.

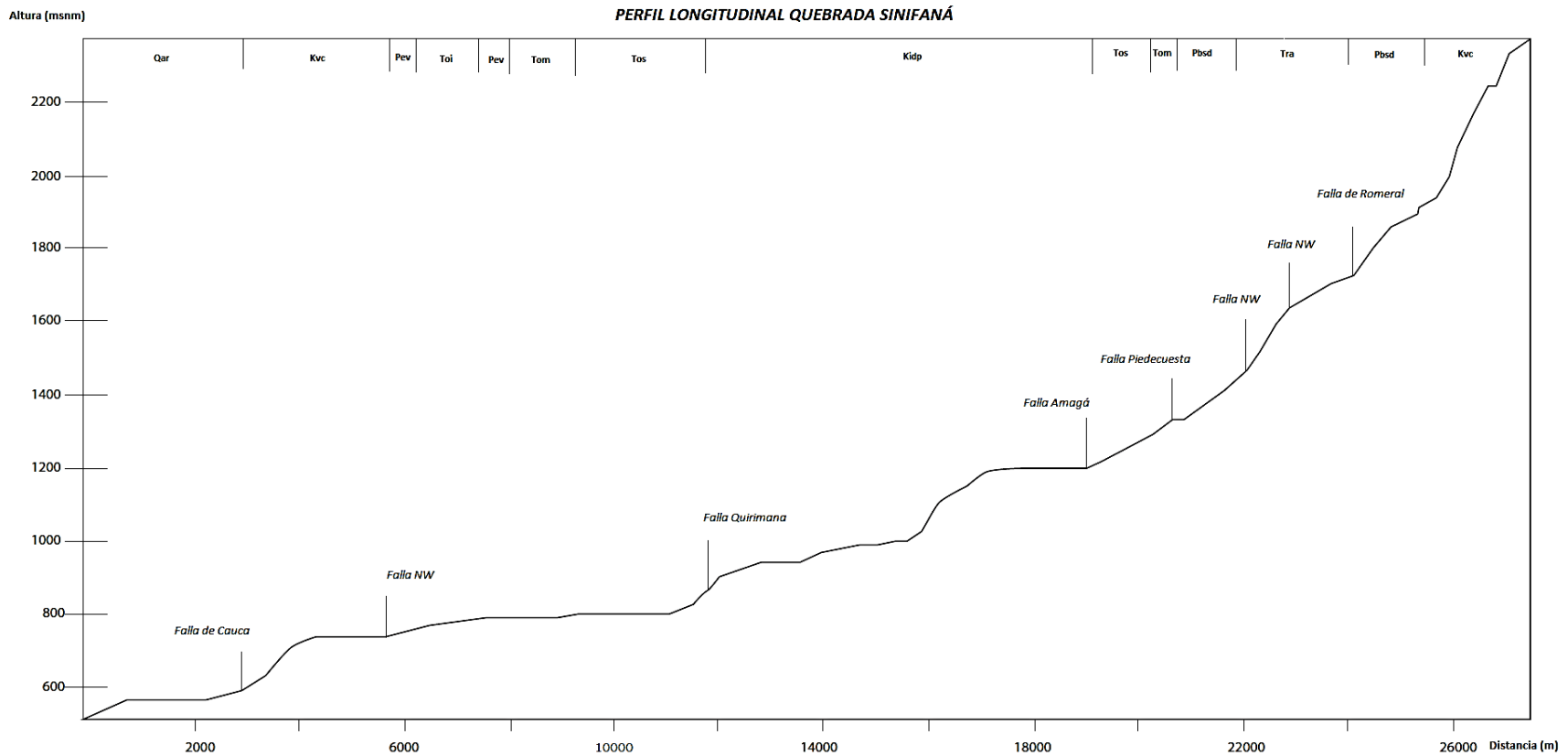


**Figura 29.** (A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Sinifaná.

En la cuenca hidrográfica de la quebrada Sinifaná, las fallas Cauca, Quirimaná, Amagá, Piedecuesta, y Romeral poseen una fuerte tendencia N-S con variación hacia el NW, mientras que la dirección de los drenajes posee tres tendencias, N-S, NW – SE y NE - SW. La correlación entre las fallas regionales y los drenajes en la cuenca hidrográfica Sinifaná es media a fuerte, esto puede ser producto de intenso fracturamiento y deformación tectónica dando a los drenajes la dirección preferente de las fallas. La tendencia NE – SW que presentan algunos drenajes indica posibles fallas antitéticas que no se encuentren cartografiadas o no presentan algún tipo de correlación con las fallas de la cuenca. Los drenajes poseen una mayor correlación con el sistema de fallas N-S y NW hacia el centro oeste de la cuenca, y hacia el este presentan dirección preferencial al N-S y NE, esto puede estar relacionado con bifurcaciones o uniones de fallas regionales de tendencia N-S y fallas de menor orden con dirección preferencial NW. La corriente principal de esta cuenca presenta

correlación estructural por tramos, tomando la dirección de las fallas presentes en la zona, sin embargo la dirección preferencial a lo largo de su extensión es E-W.

A continuación se presenta el perfil longitudinal de la corriente principal (Figura 30) dentro de la zona de estudio.



**Figura 30.** Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Sinifaná mostrando los *Knickpoints*, la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas.

En el perfil longitudinal de la corriente principal (Quebrada Sinifaná), se presentan 8 *Knickpoints* generados por las fallas presentes en la zona, estas fallas cortan la corriente de manera perpendicular. A lo largo del perfil se presentan “zonas de *Knickpoints*” que pueden ser producto de la variación en la resistencia de las rocas y pueden ser atribuidas a fallas sintéticas que no están cartografiadas en la zona de estudio.

Hacia la cabecera (Quebrada Sinifaná) se presenta un *knickpoint* correlacionable con la falla Romeral, en esta zona la falla separa el Stock de Amagá representado por granodioritas a cuarzomonzonitas, del Grupo Ayurá – Montebello compuesto por rocas de muy bajo grado de metamorfismo que conservan la textura del sedimento originario (INGEOMINAS, 1983). La diferencia composicional y la textura de estas dos unidades sumado a la zona de influencia de la falla Romeral generan zonas de debilidad o de menor resistencia y posiblemente esta sea la causa de este punto de inflexión.

Los dos siguientes *Knickpoints* pueden ser correlacionables con una falla de dirección preferencial NW (posible falla Sintética), que se encuentra entre la falla Romeral y Piedecuesta. Esta falla es el límite sur del Stock de Amagá con las rocas metamórficas del Grupo Ayurá – Montebello. El primero de los puntos de inflexión se encuentra en el Stock de Amagá; en esta zona el cauce principal cambia su dirección de E-W a N-W, controlando estructuralmente la dirección del cauce. El segundo *Knickpoint*, se encuentra en el límite composicional del Stock de Amagá y de las rocas metamórficas del Grupo Ayurá – Montebello; posiblemente este punto de inflexión sea producto de variación litológica o sea correlacionable con la falla de dirección NW.

El siguiente *Knickpoint* es correlacionable con la falla Piedecuesta, la cual separa las rocas metamórficas del Grupo Ayurá – Montebello, del Miembro Medio de la Formación Amagá, representado por arcillas de textura pizarrosa, areniscas y mantos de carbón (INGEOMINAS, 1983). Estas dos unidades poseen diferencias composicionales, texturales y de resistencia que pueden generar cambios en el comportamiento del relieve y el balance energético de la cuenca. Esta zona, marca en el perfil, un cambio importante en el ángulo de la pendiente, esto puede deberse a la diferencia composicional de las rocas.

En el cruce de la falla Amagá con el cauce principal se produce un *Knickpoint*, probablemente está relacionado con el trazo de la falla. Esta separa el Miembro Superior de la Formación Amagá y la Diorita de Pueblito. Estas dos unidades poseen diferencias composicionales, texturales y de resistencia que pueden generar cambios en el relieve y el balance energético de la cuenca. Específicamente esta zona presenta un *Knickpoint* con un cambio de pendiente importante, expresando el fallamiento inverso de una zona con intenso plegamiento, fracturamiento, y lineamientos.

En la zona de transferencia de la cuenca se presenta un *Knickpoint* relacionado con la falla Quirimaná, esta falla pone en contacto la Diorita de Pueblito y el Miembro Superior de la Formación Amagá. En esta zona ocurre un *Knickpoint* con un cambio de pendiente importante, expresando el fallamiento inverso de una zona con intenso plegamiento, fracturamiento, y lineamientos.

Se debe hacer mención a un *Knickpoint* y una “zona de *Knickpoints*” entre la falla Amagá y la falla Quirimaná, en esta zona la corriente principal cambia de dirección de E-W a N-W, tomando la dirección preferencial de la falla Quirimaná y se desarrolla a lo largo de la misma litología (Diorita de Pueblito) (Figura 30).

Hacia el final de la zona de transferencia y el comienzo de la zona de depositación se produce un *Knickpoint* correlacionable con una falla con tendencia de dirección NW la cual es posiblemente una falla sintética o Satellite “Steep Over” de la falla Romeral. En esta zona ocurre un *Knickpoint* con un cambio de pendiente importante, expresando una zona con intenso plegamiento, fracturamiento, y lineamientos.

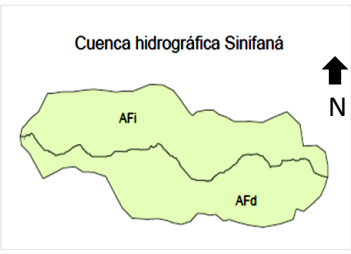
Hacia la zona de depositación de la cuenca, la falla Cauca pone en contacto con el Miembro volcánico de la Formación Quebrada Grande, con los depósitos recientes. Esta falla produce un *Knickpoint* importante, expresando una zona con intenso plegamiento, fracturamiento, y lineamientos.

A lo largo del perfil de la corriente principal se presentan zonas de *Knickpoints* que probablemente estén relacionadas con variaciones composicionales, estructuras, diaclasas, pliegues, fallas de carácter local o cambios de nivel base, este último factor puede ser el responsable de estas zonas de inflexión.

### 8.4.2 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA SINIFANÁ (“AF”)

Para el comienzo de este análisis se delimitó la cuenca y se delineó la corriente divisoria real. Se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “AF”. En la tabla 14 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

**Tabla 13.** Índice de asimetría de la cuenca.


INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA						
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)	Área Total (Km <sup>2</sup> )	Área Margen derecha (Km <sup>2</sup> )	Área Margen Izquierda (Km <sup>2</sup> )	AFd	AFi	
		163,76	76,42	87,33	46,66%	

El margen “AFd”, posee un 46,66% del área total de la cuenca, hacia esta margen la longitud de los drenajes es corta hacia el oeste en comparación con el margen “AFi” que posee un 53,33% del área total y los drenajes son más largos hacia el noreste de la cuenca. Hacia el centro de la zona de estudio entre la falla Cascajosa o Quirimaná el entramado fluvial presenta mayores longitudes comparado con otras zonas de la cuenca. Los valores encontrados para las dos márgenes se acercan al 50%, lo que posiblemente signifique una menor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (mayor intensidad de basculamiento).

### 8.4.3 FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)

Una vez delimitada la cuenca se delinearon sobre ella, una corriente real y una divisoria idealizada. Se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “T”. En la tabla 15 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

**Tabla 14.** Índice de simetría topográfica transversal.

INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA									
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL ("T")	T1= 0,19		T2= 0,37		T3= 0,12		T4= 0,52		
	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	
	4,41 km	0,87 km	3,63 km	1,35 km	5,15 km	0,63km	2,33 km	1,23 km	
<p>Los valores para T2 y T4 se acercan al 50%, esto significa que, hacia la zona sureste y oeste de la cuenca, la migración preferente de los drenajes es perpendicular al eje axial de la cuenca. En esta zona los drenajes poseen un patrón con tendencia de dirección N-S, lo que podría correlacionarse con el sistema de fallas predominante en la cuenca.</p> <p>Los valores para T1 y T3 se acercan a 0, esto indica que, hacia la zona central y este de la cuenca, se presenta simetría en la zona de depositación. Los drenajes en esta área poseen una tendencia direccional N-S con variación hacia el noroeste.</p> <p>Los valores encontrados para los cuatro puntos utilizados, posiblemente signifiquen una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional sectorizada (mayor intensidad de basculamiento).</p>									

## 9. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA POBLANCO

### 9.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

#### 9.1.1 Ubicación

La cuenca hidrográfica Poblancó se localiza en la parte sur de la zona de estudio (Figura 8), comprende el corregimiento de Versalles del municipio de Santa Bárbara hacia el noreste, los municipios de Fredonia hacia el NW y Santa Bárbara hacia el E y el corregimiento de Damasco (Santa Bárbara) al SE.

#### 9.1.2 Área

El área total de la zona corresponde a 117,45 km<sup>2</sup>, en su extensión se presentan las microcuencas de La Sucia, la Toma, Bocachica, Sabaleticas, Tijereta, El Caney, La Honda, La Loma, La Ceja, Tinajos, Chocho, Barrachero, Margarita, Cementerio, La Pila, Hoyo Frío y Las Frías.

### 9.2 FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES.

Según el índice de Gravelius y el factor forma obtenido, la cuenca hidrográfica Poblancó tiende a ser más alargada que circular, esto implica que el cauce principal recibirá aportes de manera gradual y por lo tanto podrían no presentarse represamientos dentro del cauce principal debido a las altas pendientes hacia la zona alta y media de la cuenca.

En la siguiente tabla 16 se presentan los valores obtenidos para el Índice de Gravelius y para el Factor Forma.

**Tabla 15.** Índices morfométricos y Factor Forma.

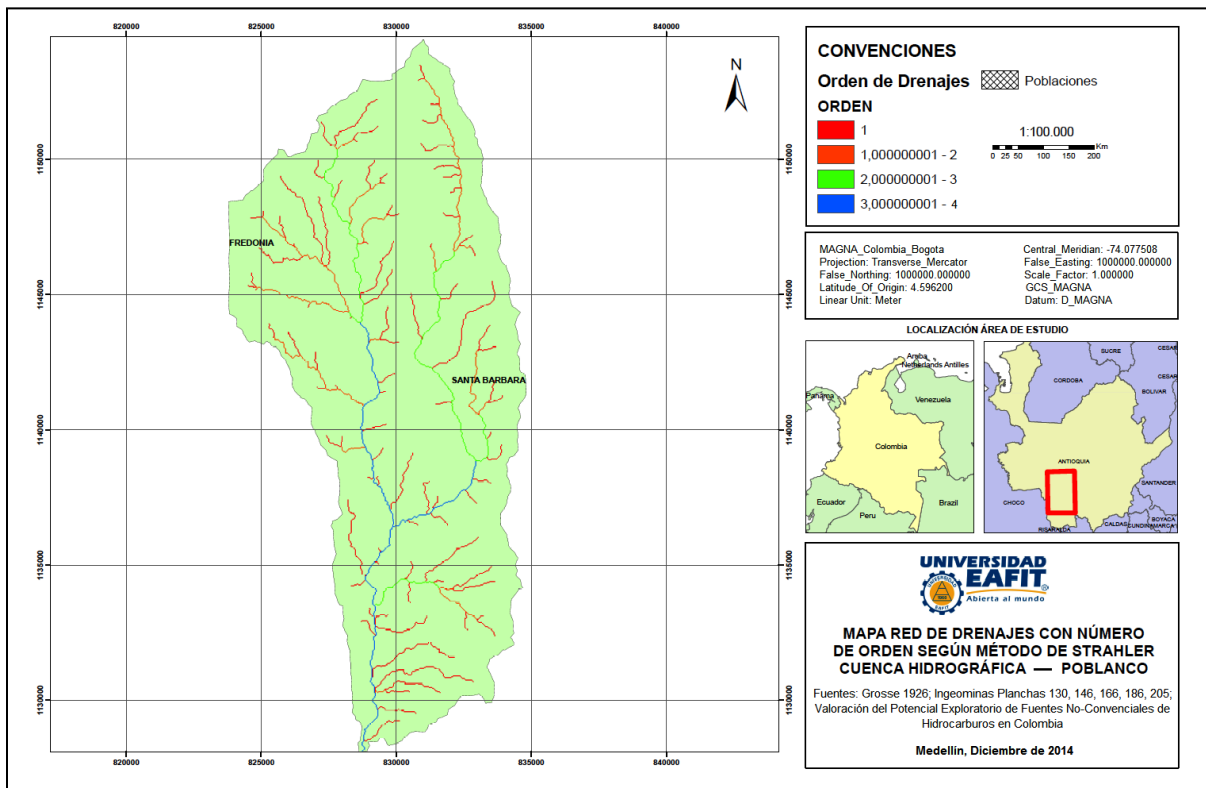
CUENCA POBLANCO					
Área (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	∑ Drenajes (Km)	Longitud Cauce principal (Km)	Índice de Gravelius	Factor Forma
177,45	69,35	184,87	28,56	1,47	0,21

Los órdenes de las corrientes se muestran en la figura 31, están categorizados según el método de Strahler y se clasifican de 1 a 4. La siguiente tabla presenta los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica correspondiente.

**Tabla 16.** Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Poblanco.

<b>CUENCA POBLANCO</b>			
Longitud del Cauce principal (Km)	$\Sigma$ de la longitud de todas los drenajes (Km)	Área Total de la Cuenca (Km <sup>2</sup> )	$\delta$ de los drenajes
28,56	184,87	117,45	1,57

Este valor de densidad, refleja una cuenca medianamente drenada (para la escala de trabajo). Hacia el este de la cuenca se presenta la mayor densidad y hacia el oeste la menor densidad, esto puede deberse a la resistencia de las rocas, la pendiente (Figura 32) y la precipitación. La densidad media en esta cuenca puede reflejar menor resistencia de las rocas a la erosión, poca cobertura vegetal y pendientes poco pronunciadas hacia la descarga



**Figura 31.** Mapa de red de drenajes con método Strahler para la cuenca hidrográfica Poblanco.

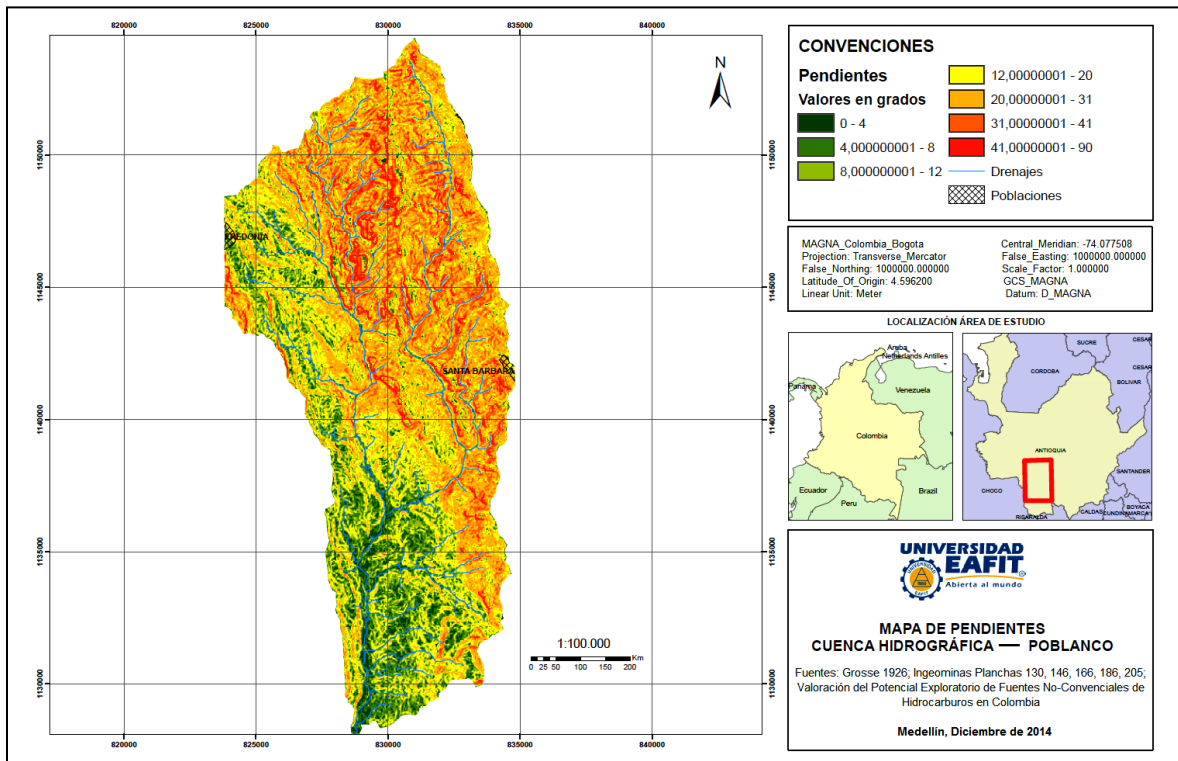


Figura 32. Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Poblanco.

### 9.3 CONTROL DE DRENAJE

En la figura 33 se presenta el mapa de drenajes de la cuenca hidrográfica Poblanco, esta presenta dos patrones en el sistema de la red de drenaje. El sistema predominante en la cuenca es el patrón tipo rectangular y el segundo patrón es paralelo. Los afluentes de menor orden se encuentran perpendiculares con el cauce principal. Este tipo de sistema predominante posiblemente está controlado por diaclasas y fallas que presentan tendencia de orientación  $N40^{\circ}W$  correlacionables con las fallas Romeral y Piedecuesta.

Los drenajes son de menor tamaño hacia el oeste de la cuenca (margen izquierda), lo cual significa un menor espacio para el desarrollo de un patrón en el sistema de drenajes, esto puede indicar zonas de mayor influencia tectónica (Keller y Pinter, 1996). Particularmente los drenajes de menor orden ubicados hacia el este de la cuenca se unen en ángulos de  $60^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  al cauce principal posiblemente por un control litológico (Figura 34).

La corriente principal está controlada estructuralmente por sectores. El sistema de fallas Cauca - Romeral controla el cambio de dirección del cauce del río Poblanco con tendencia de dirección N-S a tendencia de dirección  $N40^{\circ}W$  (Figura 35).

Se presentan lineamientos en el patrón de los drenajes, posiblemente las tendencias de las direcciones de los drenajes sean un reflejo de control estructural en la disposición general de las corrientes (Keller y Pinter, 1996). Hacia el este de la cuenca se generan lineamientos de los drenajes de segundo orden presentando una tendencia direccional NE.

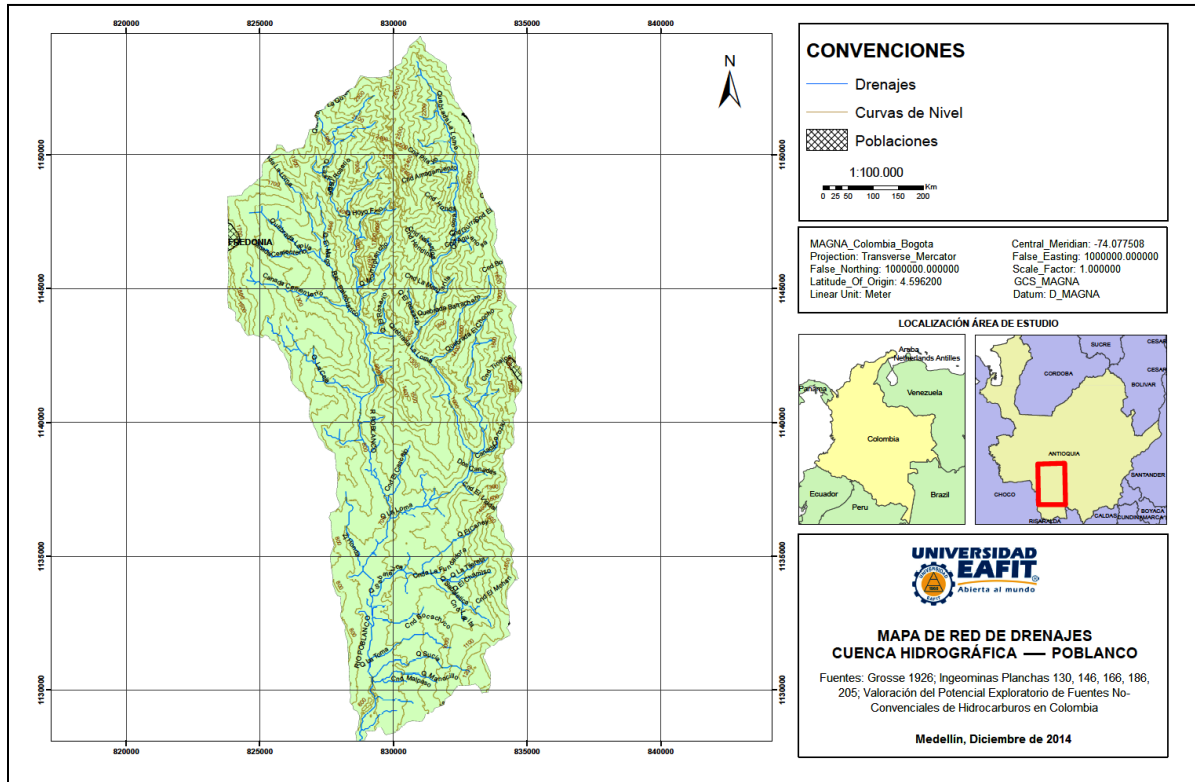


Figura 33. Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Poblancó.

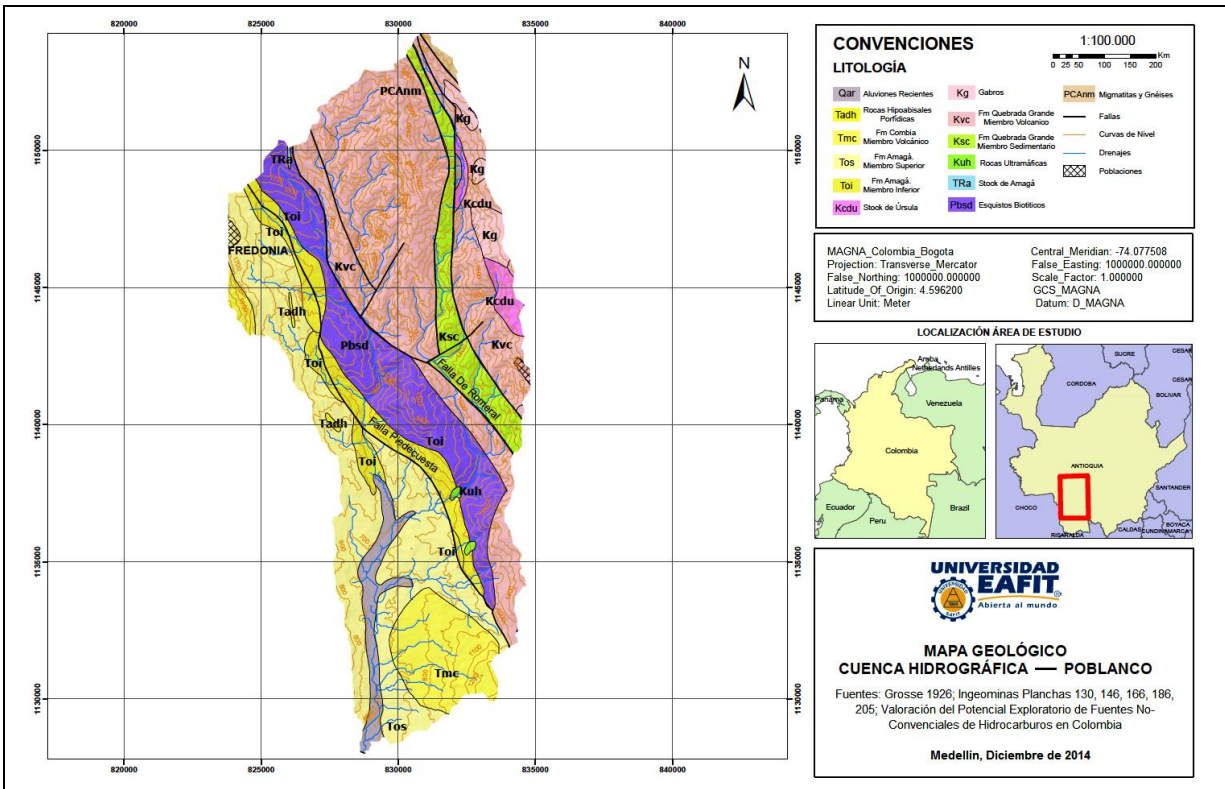


Figura 34. Mapa geológico para la cuenca hidrográfica Poblano.

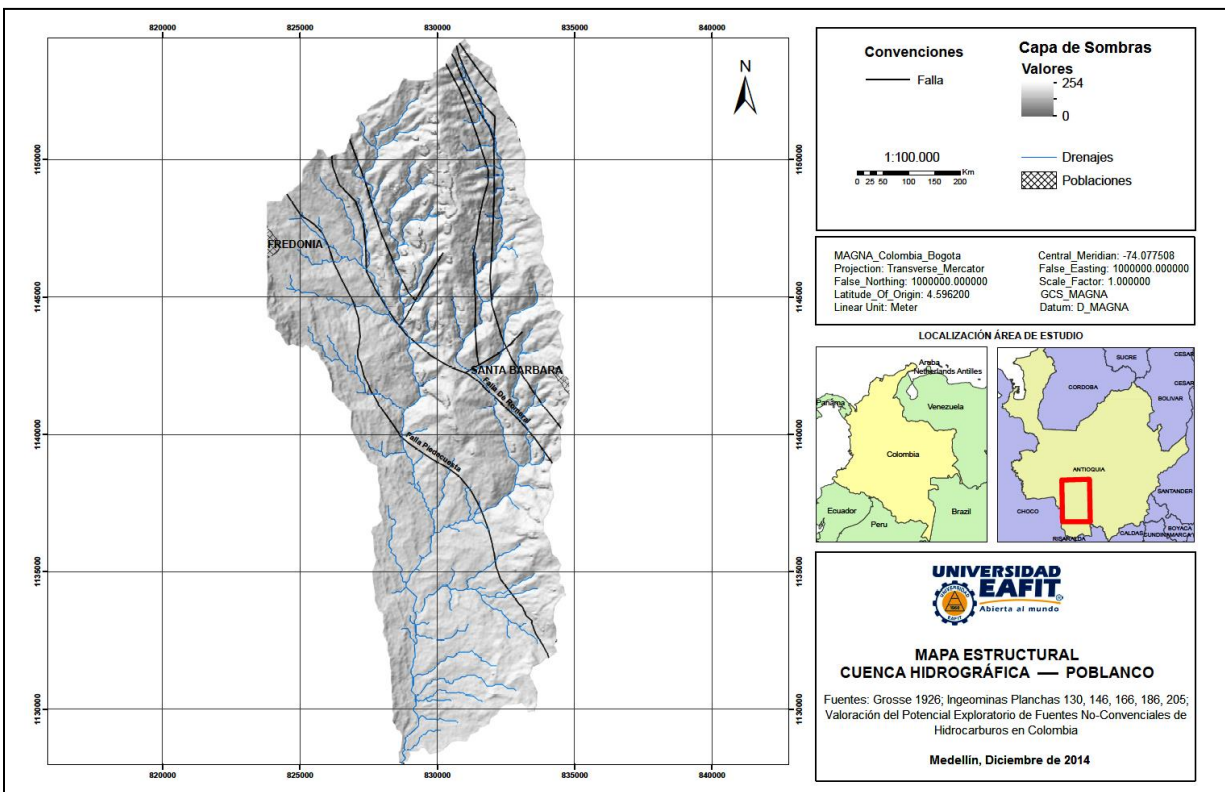
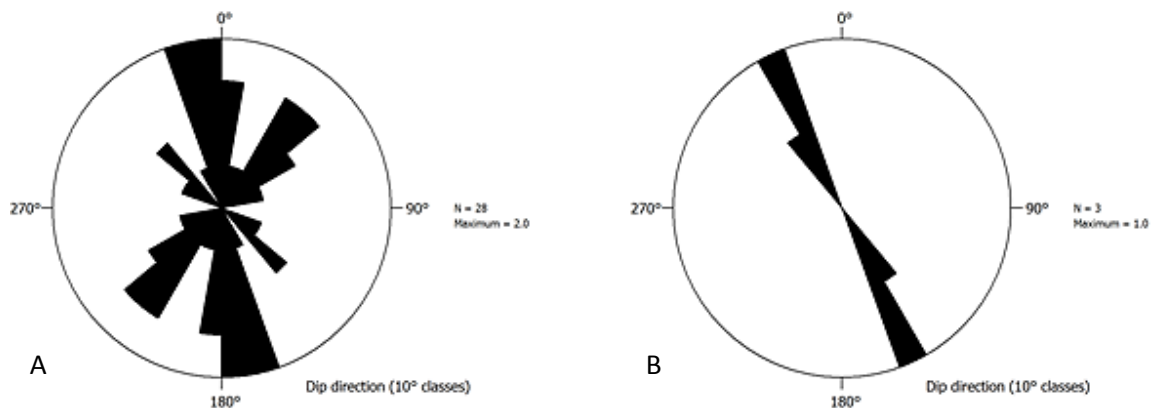


Figura 35. Mapa estructural cuenca hidrográfica Poblano.

## 9.4 ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS

### 9.4.1 CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, *KNICKPOINTS* Y NIVEL BASE.

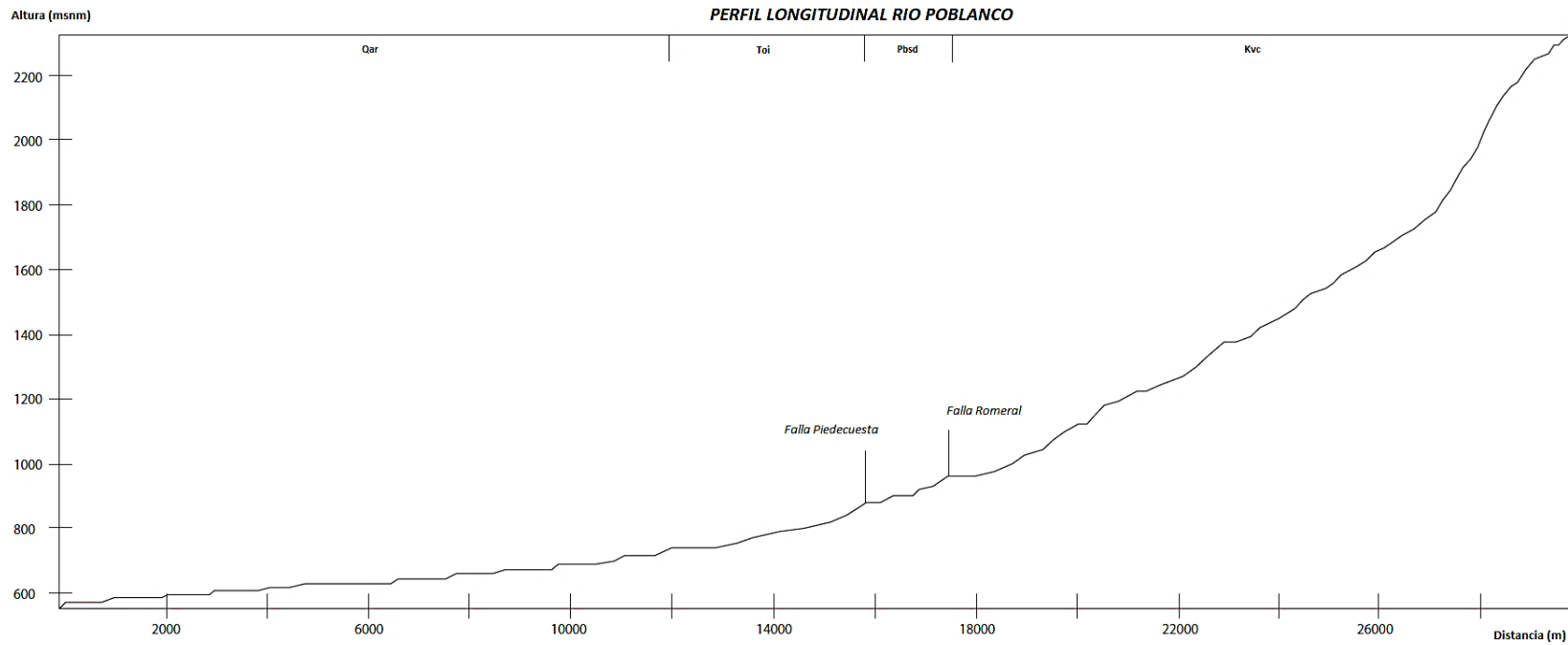
En la correlación estructural se realizaron diagramas de rosas para obtener la dirección preferencial de las fallas regionales y de los drenajes presentes dentro de la zona de estudio (Figura 36). Para la cuenca hidrográfica de Poblanco se tomaron 28 direcciones de los drenajes que poseen una distancia mínima de 2 km y cuya dirección dentro de la cuenca no presente cambios repentinos. Los diagramas de rosas se compararon para identificar si existe una relación directa entre la dirección predominante de las fallas y la dirección que toman los drenajes dentro de la cuenca.



**Figura 36.** (A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Poblanco.

En la cuenca hidrográfica Poblanco, las fallas Piedecuesta, y Romeral poseen una fuerte tendencia NW, mientras que la dirección de los drenajes posee una tendencia bimodal, hacia el NW-SE y NE - SW. La correlación entre las fallas regionales y los drenajes en la cuenca hidrográfica Poblanco es media, producto de intenso fracturamiento y deformación tectónica dando a los drenajes la dirección preferente de las fallas. Los drenajes de menor orden poseen una mayor correlación con el sistema de fallas N-S hacia el centro de la cuenca, y hacia el noreste presentan dirección preferencial al NE, esto puede estar relacionado con bifurcaciones o uniones de fallas regionales de tendencia N-S y fallas de menor orden con dirección preferencial NE, que se encuentran por fuera del área de la cuenca pero están enmarcadas en el sistema regional de fallamiento. La corriente principal de esta cuenca (río Poblanco) presenta correlación estructural por tramos, tomando la dirección de las fallas presentes en la zona con dirección N-S y variación NW.

A continuación se presenta el perfil longitudinal de la corriente principal (Figura 37) dentro de la zona de estudio.



**Figura 37.** Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Poblano mostrando los *Knickpoints*, la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas.

En el perfil longitudinal de la corriente principal, se presentan 2 *Knickpoints* generados posiblemente por las fallas presentes en la zona, estas fallas cortan la corriente de manera perpendicular. A lo largo del perfil se presentan “zonas de *Knickpoints*” que pueden ser producto de secuencias de estratos poco competentes, variación en la resistencia de las rocas, a posibles fallas sintéticas que no están cartografiadas en la zona de estudio o cambios de nivel base, este último factor puede ser el responsable de estas zonas de inflexión.

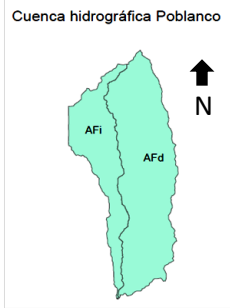
Hacia la zona de transferencia de la corriente (rio Poblano) se presenta un *knickpoint* correlacionable con la falla Romeral, en esta zona la falla separa el Miembro volcánico de la Formación Quebrada Grande, compuesto por lavas y diabasas de las rocas metamórficas del Grupo Ayurá – Montebello representadas por filitas y esquistos (INGEOMINAS, 1980). La diferencia composicional y la textura de estas dos unidades sumado a la zona de influencia de la falla Romeral generan zonas de debilidad o de menor resistencia y posiblemente esta sea la causa de las “zonas de *Knickpoints*” cercanas a esta falla. Las variaciones composicionales del Miembro volcánico de la Formación Quebrada Grande, pueden generar “Zonas de *Knickpoints*” a lo largo del recorrido del cauce principal por esta unidad.

El siguiente *Knickpoint* es correlacionable con la falla Piedecuesta, la cual separa el Miembro volcánico de la Formación Quebrada Grande, compuesto por lavas y diabasas, del Miembro inferior de la Formación Amagá representado por conglomerados, areniscas conglomeráticas y areniscas (INGEOMINAS, 1983). Estas dos unidades poseen diferencias composicionales, texturales y de resistencia que pueden generar cambios en el comportamiento del relieve y el balance energético de la cuenca. Esta variación litológica puede producir “zonas de *Knickpoints*” que posiblemente no tengan relación con la falla Piedecuesta.

#### 9.4.2 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA POBLANCO (“AF”)

Para este análisis se delimitó la cuenca y se delineó la corriente divisoria real. Se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “AF”. En la tabla 18 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

**Tabla 17.** Índice de asimetría de la cuenca.

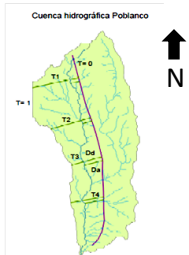
INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA						
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)	Área Total (Km <sup>2</sup> )	Área Margen derecha (Km <sup>2</sup> )	Área Margen Izquierda (Km <sup>2</sup> )	AFd	AFi	
		177,45	121,88	55,57	68,68%	

El margen “AFi”, posee un 31,31% del área total de la cuenca, hacia esta margen la longitud de los drenajes es corta en comparación con el margen “AFd” que posee un 68,68% del área total de la cuenca. Los valores encontrados para las dos márgenes se alejan del 50%, lo que posiblemente signifique una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (mayor intensidad de basculamiento).

### 9.4.3 FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)

Una vez delimitada la cuenca se delinearon sobre ella, una corriente real y una divisoria idealizada. Se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “T”. En la tabla 19 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

**Tabla 18.** Índice de simetría topográfica transversal.

INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA									
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL (“T”)	T1= 0,19		T2= 0,22		T3= 0,59		T4= 0,57		
	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	
	4,86 km	0,96 km	4,27 km	0,98 km	3,25 km	1,92 km	3,44 km	1,97 km	

Los valores para T3 y T4 se acercan a 1, esto significa que, hacia la zona este de la cuenca, la migración preferente de los drenajes es perpendicular al eje axial de la cuenca. En esta zona los drenajes poseen un patrón con tendencia de dirección NE.  
 Los valores para T1 y T2 se acercan a 0, esto indica que, hacia la zona oeste de la cuenca, se presenta simetría en la zona de producción. Los drenajes en esta área poseen una tendencia direccional hacia el noroeste.  
 Los valores encontrados para los cuatro puntos utilizados, posiblemente signifiquen una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (mayor intensidad de basculamiento) para la zona de deposición de sedimentos.

## 10. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA TONUSCO

### 10.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

#### 10.1.1 Ubicación

La cuenca hidrográfica Tonusco se localiza en la parte norte de la zona de estudio (Figura 8), comprende el corregimiento de Guasabra del municipio de Santafé de Antioquia hacia el sur, el municipio de Giraldo y su corregimiento Manglar hacia el norte y el municipio de Santafe de Antioquia hacia el este de la zona de estudio.

#### 10.1.2 Área

El área total de la zona corresponde a 386,21 km<sup>2</sup>, en su extensión se presentan las microcuencas de El Pescado, Chorrillo, Yarumal, La Pena, El Salado, El Limo, San Francisco, Ogosco, El Roble, Urusco, Nizo, El Carmen, Santa Rosa, Tonusquito, Adentro, La Molina, Guamal, San Pacho, Palmichala, Duende, Higuera, Chuscal, Las Habas, Quimara y El Balso.

### 10.2 FORMA, TAMAÑO DE LA CUENCA, ORDEN DE LAS CORRIENTES, DENSIDAD DE LOS DRENAJES Y PENDIENTES.

Según el índice de Gravelius y el factor forma obtenido, la cuenca hidrográfica Tonusco tiende a ser más circular, esto implica que el cauce principal recibirá aportes de manera similar y por lo tanto podrían presentarse represamientos dentro del cauce principal debido a que todos los puntos de la cuenca son equidistantes del canal principal además de las fuertes pendientes presentes en toda la cuenca (Londoño, 2001).

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos para el Índice de Gravelius y para el Factor Forma.

**Tabla 19.** Índices morfométricos y Factor Forma.

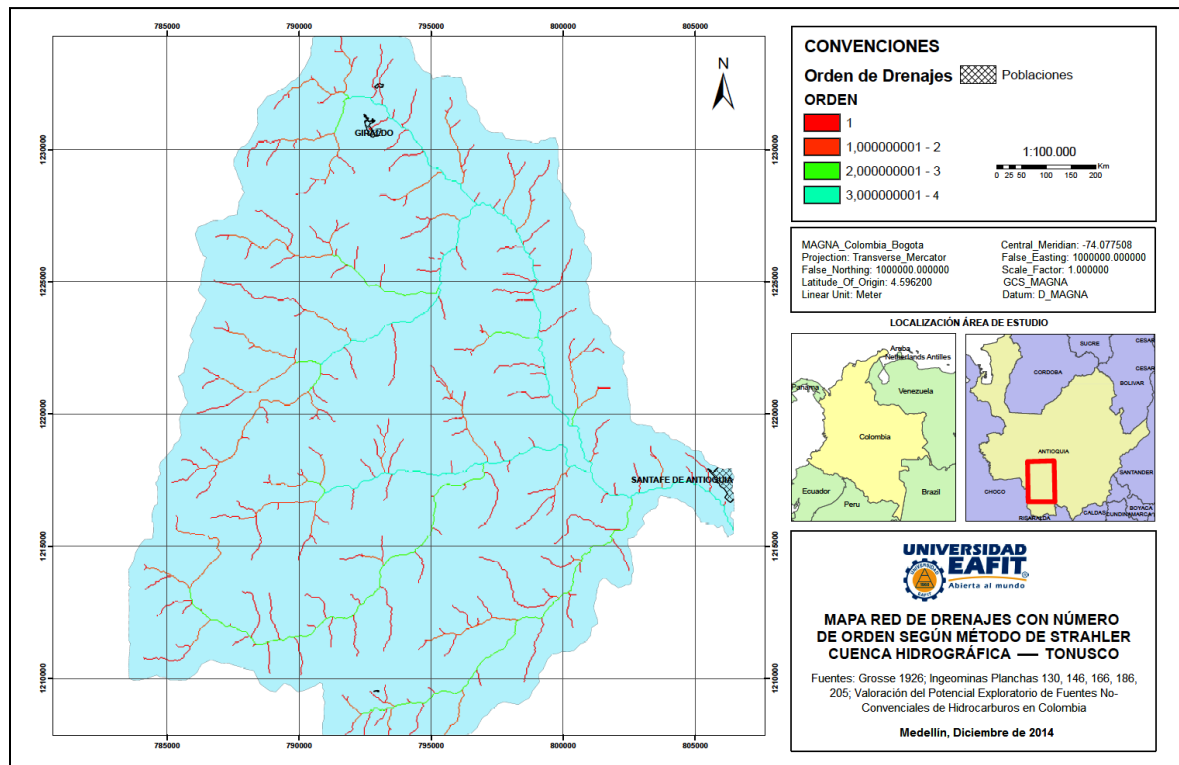
CUENCA TONUSCO					
Área (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	∑ Drenajes (Km)	Longitud Cauce principal (Km)	Índice de Gravelius	Factor Forma
386,21	97,58	361,09	29,98	1,40	0,42

Los órdenes de las corrientes se muestran en la figura 38, están categorizados según el método de Strahler y se clasifican de 1 a 4. La siguiente tabla presenta los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica correspondiente.

**Tabla 20.** Parámetros morfométricos cuenca hidrográfica Tonusco.

<b>CUENCA TONUSCO</b>			
Longitud del Cauce principal (Km)	$\Sigma$ de la longitud de todas los drenajes (Km)	Área Total de la Cuenca (Km <sup>2</sup> )	$\delta$ de los drenajes
29,691	361,09	386,22	0,93

Este valor de densidad refleja una cuenca pobremente drenada (para la escala de trabajo). Hacia el norte de la cuenca se presenta la mayor densidad y hacia el sur la menor densidad, esto puede deberse a la resistencia de las rocas, la pendiente (Figura 39) y la precipitación. La baja densidad en esta cuenca puede reflejar fuerte resistencia de las rocas a la erosión, coberturas vegetales muy espesas y pendientes poco pronunciadas.



**Figura 38.** Mapa de red de drenajes con método de Strahler para la cuenca hidrográfica Tonusco.

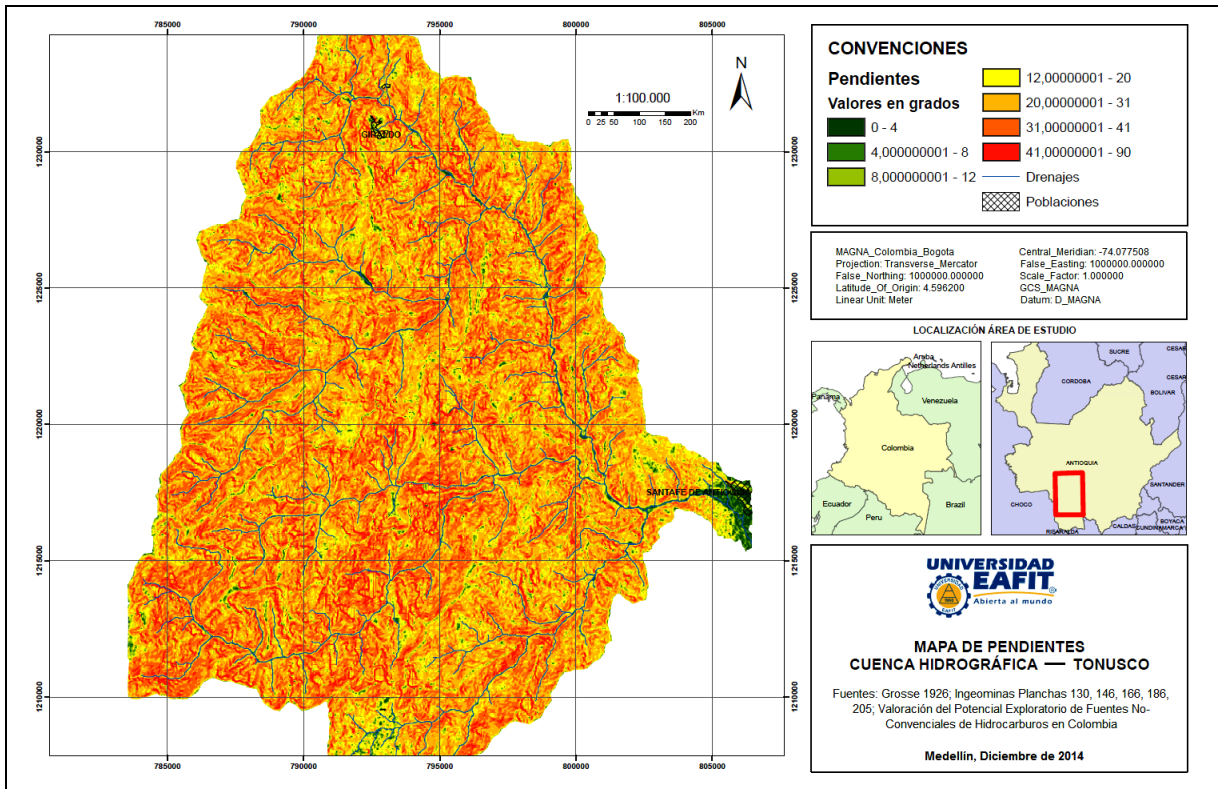


Figura 39. Mapa de pendientes para la cuenca hidrográfica Tonusco.

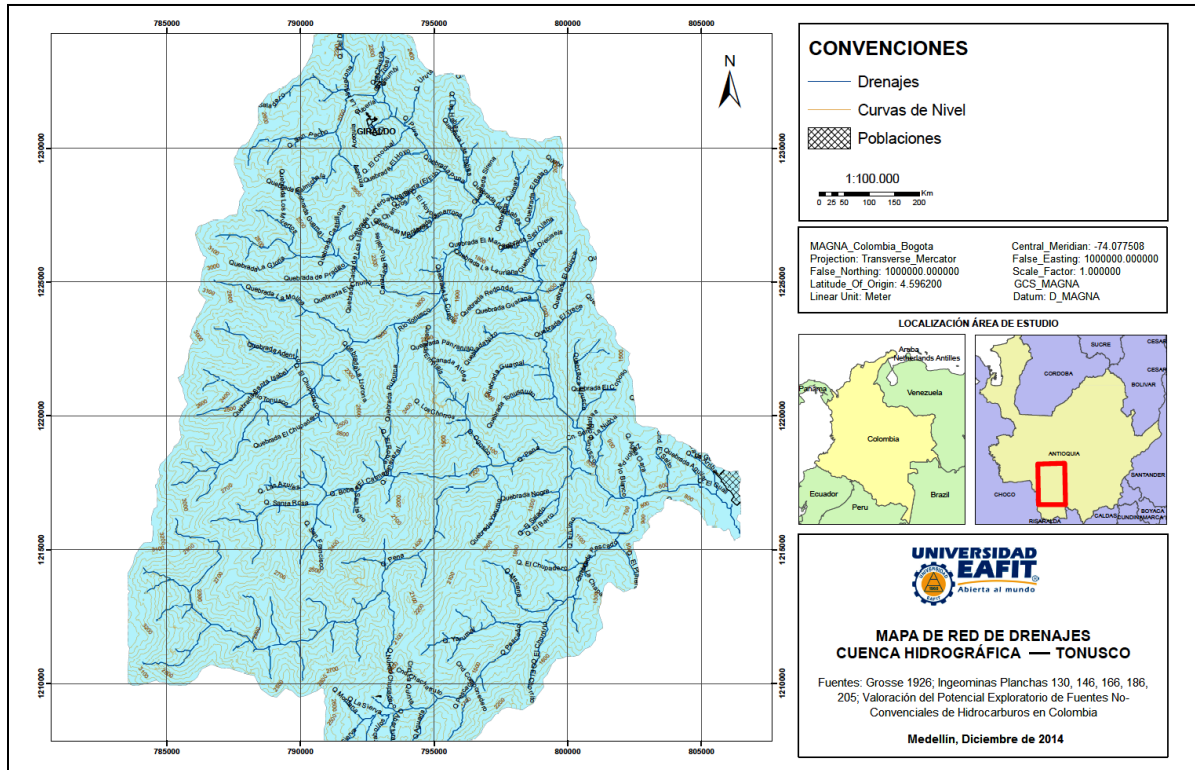
### 10.3 CONTROL DE DRENAJE

En la figura 40 se presenta el mapa de drenajes de la cuenca del río Tonusco, esta presenta dos patrones en el sistema de la red de drenaje. El sistema predominante en la cuenca es el patrón tipo rectangular. La mayoría de sus afluentes se encuentran perpendiculares con el cauce principal. Este tipo de sistema posiblemente está controlado por diaclasas, pliegues y fallas que presentan tendencia de orientación N-S y en menor proporción N40°W correlacionables con las fallas Guasabra y Tonusco (Figura 41). El segundo patrón de la cuenca, en el sistema de red de drenaje estaría controlado por drenajes de tipo paralelo, son comunes en zonas con fuertes pendientes (Londoño, 2001), Este tipo de patrón posee una relación directa con un control estructural y litológico (Huggett, 2007).

Los drenajes de menor orden son de menor tamaño hacia el este de la cuenca, lo que refleja un menor espacio para el desarrollo de un patrón en el sistema de drenajes, esto puede indicar zonas de mayor influencia tectónica (Keller y Pinter, 1996).

La corriente principal está controlada estructuralmente a lo largo del recorrido de la falla Tonusco. La falla de Tonusco controla el cambio de dirección del cauce del río Tonusco con tendencia de dirección N-S a tendencia de dirección N40°W (Figura 42).

Se presentan lineamientos en el patrón de los drenajes hacia el sur de la cuenca con dirección NW-SE, posiblemente las tendencias de las direcciones de los drenajes sean un reflejo de control estructural en la disposición general de las corrientes.



**Figura 40.** Mapa de red de drenajes para la cuenca hidrográfica Tonusco.

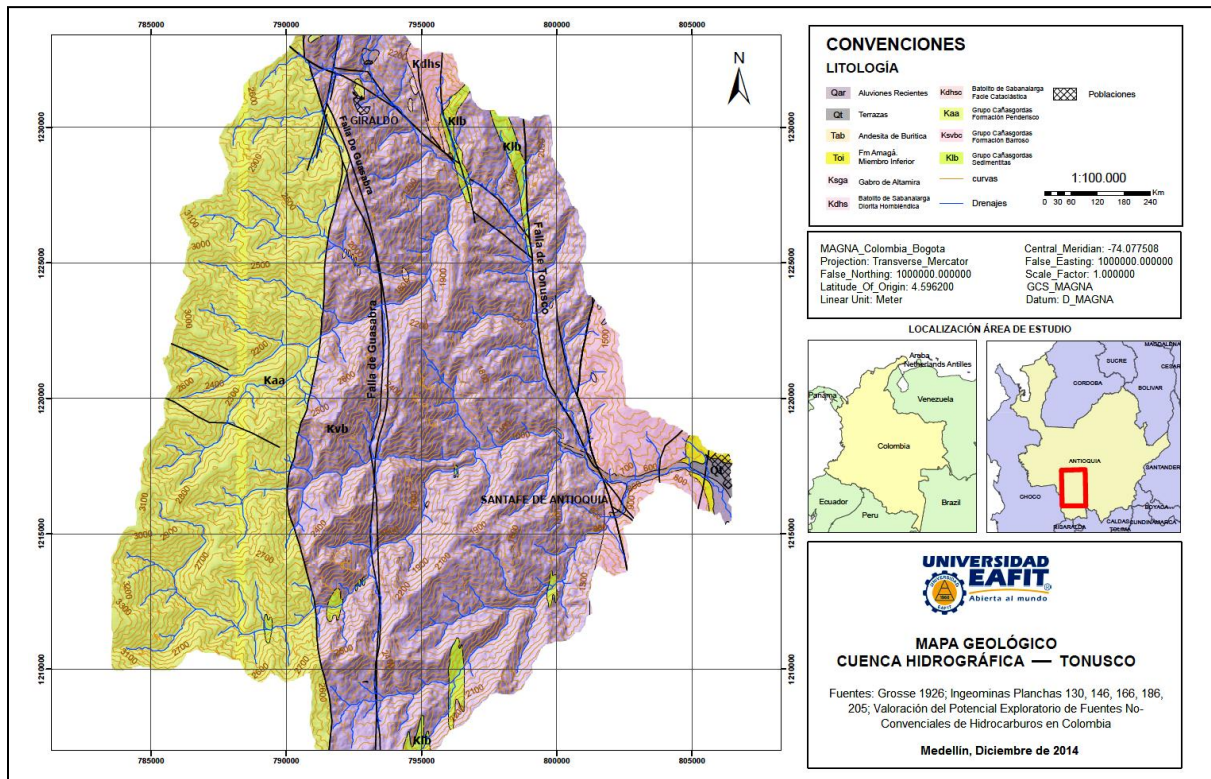


Figura 41. Mapa geológico para la cuenca hidrográfica Tonusco.

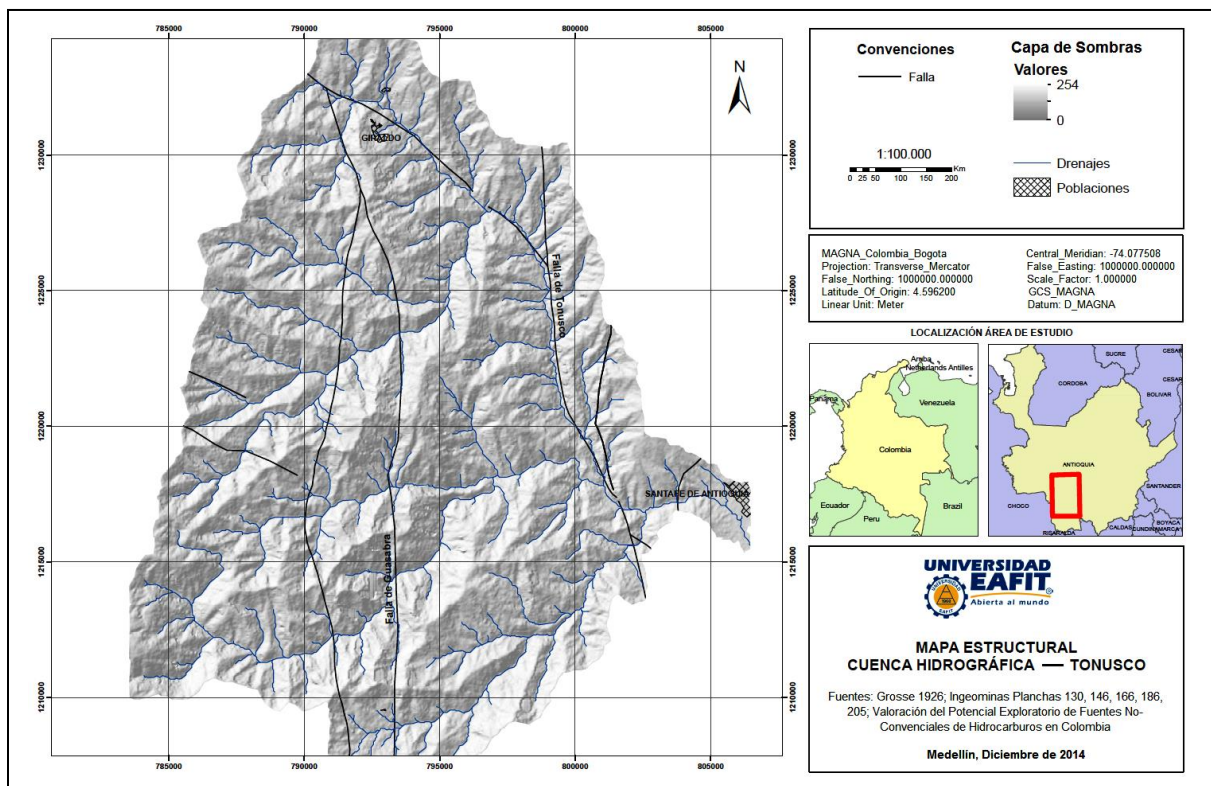
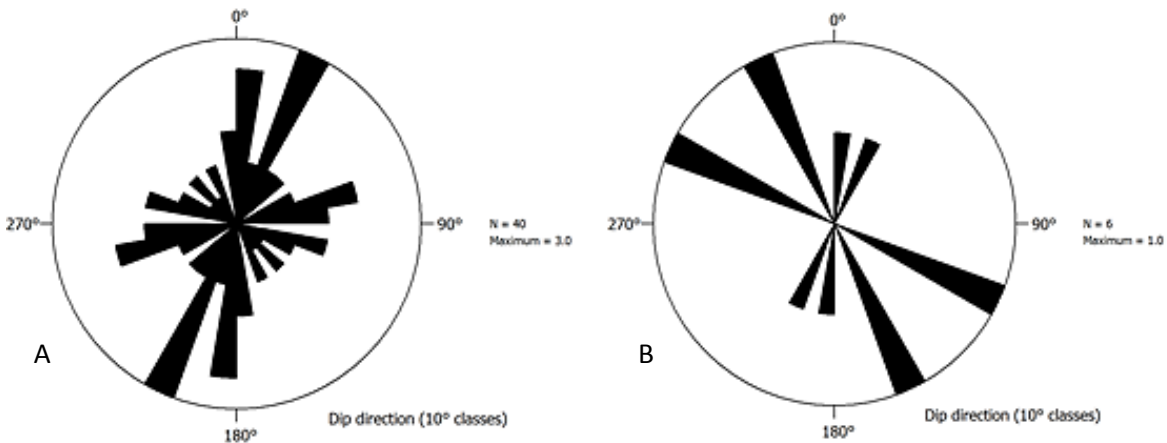


Figura 42. Mapa estructural para la cuenca hidrográfica Tonusco.

## 10.4 ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS

### 10.4.1 CORRELACIÓN ESTRUCTURAL, *KNICKPOINTS* Y NIVEL BASE.

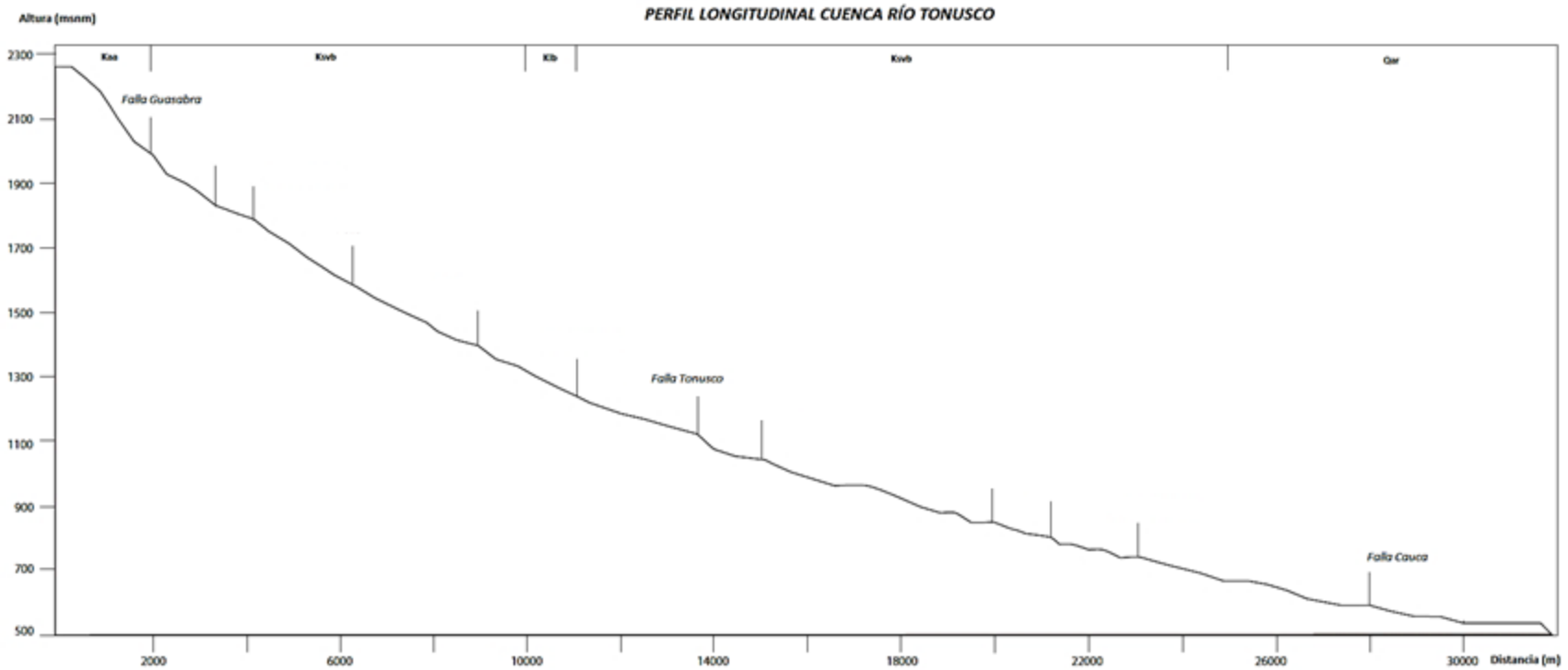
En la correlación estructural se realizaron diagramas de rosas para obtener la dirección preferencial de las fallas regionales y de los drenajes presentes dentro de la zona de estudio (Figura 43). Para la cuenca hidrográfica de Tonusco se tomaron 40 direcciones de los drenajes que poseen una distancia mínima de 2 km y cuya dirección dentro de la cuenca no presente cambios repentinos. Los diagramas de rosas se compararon para identificar si existe una relación directa entre la dirección predominante de las fallas y la dirección que toman los drenajes dentro de la cuenca.



**Figura 43.** (A) Diagrama de rosas para los drenajes y (B) Diagrama de rosas para las fallas de la cuenca hidrográfica Tonusco.

En la cuenca hidrográfica Tonusco, las fallas Tonusco y Guasabra poseen una fuerte tendencia NW con poca variación hacia el NE, mientras que la dirección de los drenajes posee una tendencia bimodal, hacia el NE-SW y NW - SE. La correlación entre las fallas regionales y los drenajes en la cuenca hidrográfica Tonusco es media, esto puede ser producto de intensa erosión y depositación a lo largo de períodos de inversión tectónica, dando a los drenajes la dirección de posibles fallas sintéticas que no se encuentren cartografiadas. Los drenajes de menor orden poseen una mayor correlación con el sistema de fallas NE hacia el sur de la cuenca, y hacia el oeste presentan dirección preferencial al NW, esto puede estar relacionado con bifurcaciones o uniones de fallas regionales de tendencia N40W y fallas con dirección preferencial NE, que se encuentran por fuera del área de la cuenca pero están enmarcadas en el sistema regional de fallamiento. La corriente principal de esta cuenca (río Tonusco) presenta correlación estructural, tomando la dirección de la falla Tonusco.

A continuación se presenta el perfil longitudinal de la corriente principal (Figura 54) dentro de la zona de estudio.



**Figura 44.** Perfil longitudinal de la corriente principal en la cuenca hidrográfica Tonusco mostrando los *Knickpoints*, la relación litológica y la ubicación de la traza de los principales sistemas de fallas.

En el perfil longitudinal de la corriente principal, se presentan 12 *Knickpoints* generados por la unión de dos drenajes en el cauce principal. A lo largo del perfil se presentan “zonas de *Knickpoints*” que pueden ser producto de la variación en la resistencia de las rocas, cambios litológicos, intenso fracturamiento, pliegues, diaclasas o posiblemente estén atribuidas a fallas sintéticas que no están cartografiadas en la zona de estudio.

Hacia la cabecera (río Tonusco) se presenta un *knickpoint* correlacionable con la falla Guasabra, en esta zona la falla pone en contacto el Miembro Urrao de la Formación Penderisco, compuesto por una secuencia de grauvacas, limolitas silíceas, conglomerados polimícticos con fósiles del Cretáceo Superior, con la Formación Barroso del Grupo Cañas Gordas, representada por diabasas, piroclastos, y basaltos almohadillados (INGEOMINAS, 1984). La diferencia composicional y la textura de estas dos unidades sumado a la zona de influencia de la falla Guasabra generan zonas de debilidad o de menor resistencia y posiblemente esta sea la causa de las “zonas de *Knickpoints*” cercanas a esta falla.

Los siguientes *Knickpoints* son correlacionables con variaciones litológicas que están fuertemente afectadas por la traza de la falla Tonusco, la cual separa la Formación Barroso representada por diabasas, piroclastos, y basaltos almohadillados, del Grupo Cañasgordas compuesto por sedimentitas asociadas a la Formación Barroso, bancos de liditas en parte calcáreas y lodolitas con fósiles del Cretáceo Superior (INGEOMINAS, 1984). Estas dos unidades poseen diferencias composicionales, texturales y de resistencia que pueden generar cambios en el comportamiento del relieve y el balance energético de la cuenca. Esta variación litológica puede producir “zonas de *Knickpoints*” que posiblemente no tengan relación con la falla Tonusco.

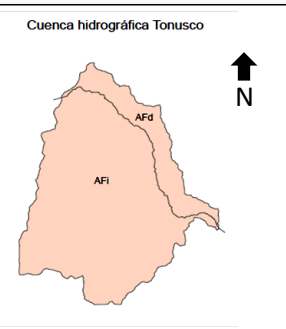
En la zona de depositación se presenta un *Knickpoint* correlacionable con una falla satélite de la falla Cauca, en este último tramo se presentan zonas de *Knickpoints* que posiblemente estén atribuidas a cambios composicionales, intenso fracturamiento, cambios litológicos, diaclasas, resistencia a la erosión y cambios de nivel base.

A lo largo del perfil de la corriente principal se presentan “zonas de *Knickpoints*” que probablemente estén relacionadas con variaciones composicionales, estructuras, diaclasas, pliegues, fallas de carácter local o cambios de nivel base, este último factor puede ser el responsable de estas zonas de inflexión.

#### **10.4.2 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA TONUSCO (“AF”)**

Para este análisis se delimitó la cuenca y se delineó la corriente divisoria real. Se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice “AF”. En la tabla 22 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

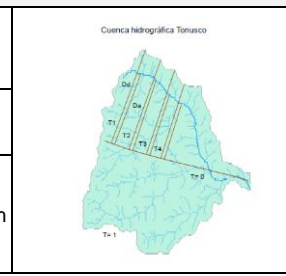
**Tabla 21.** Índice de asimetría de la cuenca.

INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA						
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL ("T")	Área Total (Km <sup>2</sup> )	Área Margen derecha (Km <sup>2</sup> )	Área Margen Izquierda (Km <sup>2</sup> )	AFd	AFi	
	386,21	61,59	324,63	15,94%	84,05%	
<p>El margen "AFd", posee un 15,94% del área total de la cuenca, hacia esta margen la longitud de los drenajes es corta en comparación con el margen "AFi" que posee un 84,05% del área total de la cuenca. Los valores encontrados para las dos márgenes se alejan del 50%, lo que posiblemente signifique una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (mayor intensidad de basculamiento).</p>						

### 10.4.3 FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL ("T")

Una vez delimitada la cuenca se delinearon sobre ella, una corriente real y una divisoria idealizada. Se aplicaron los índices geomorfológicos de actividad tectónica. Para este caso se desarrolló el índice "T". En la tabla 23 se presentan los valores obtenidos para la cuenca hidrográfica.

**Tabla 22.** Índice de simetría topográfica transversal.

INDICES GEOMORFOLOGICOS DE ACTIVIDAD TECTONICA									
FACTOR DE SIMETRIA TOPOGRAFICA TRANSVERSAL ("T")	T1= 0,75		T2= 0,77		T3= 0,71		T4= 0,75		
	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	Dd	Da	
	14,1 km	10,86 km	13,49 km	10,44 km	12,67 km	9,05 km	11km	8,26 km	
<p>Los valores para T1, T2, T3 y T4 se acercan a 1, esto significa que, toda la cuenca, presenta migración preferente de los drenajes de manera perpendicular al eje axial de la cuenca, por lo tanto podría definirse los sentidos del basculamiento local y preferentes para la zona de estudio.</p> <p>Los valores encontrados para los cuatro puntos utilizados, posiblemente signifiquen una mayor influencia que tuvo o tiene la incidencia de una actividad deformacional (mayor intensidad de basculamiento) para toda la cuenca.</p>									

## 11. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las cuencas hidrográficas poseen diferentes orientaciones producto del control tectónico y estructural de la zona (sistema de fallas). Las cuencas Tonusco y Aurrá presentan una tendencia de orientación NW que se correlaciona con la falla Cañasgordas y San Jerónimo respectivamente. Las cuencas hidrográficas Amagá y Sinifaná poseen una dirección preferencial E-W y la cuenca hidrográfica Poblanco dirección preferencial N-S. Tonusco y Aurrá son las cuencas hidrográficas que presentan mayor correlación estructural con su cauce principal.

En general los cauces principales de la zona de estudio presentan correlación estructural con los sistemas de fallas con dirección N-S, N40°E y N40°W, probablemente se presentan enmascaramientos producto de la erosión en la zona y sus respectivos depósitos.

En las cuencas estudiadas se presentan drenajes de menor orden con direcciones atípicas, que no son correlacionables con los principales patrones de fallas; la ausencia de una cartografía estructural detallada de la cuenca sedimentaria Amagá, dificulta la correlación de los drenajes que presentan tendencia direccional atípica en el patrón de drenajes general de cada cuenca. Estos drenajes parecen tomar la dirección de los ejes axiales de los pliegues que presentan un cabeceo hacia el NE y NW.

La variación litológica dentro de una misma cuenca y entre las cuencas, el grado de meteorización y las estructuras deformacionales, ocasionan una reducción de resistencia en las rocas, generando áreas de alta erosión y depositación, dando como resultado la formación de puntos de inflexión. Las “zonas de *Knickpoints*”, pueden correlacionarse con variaciones composicionales en una misma unidad, cambios litológicos, pliegues, diaclasas, y fallas.

En los perfiles de las corrientes principales se observan *Knickpoints* asociados con límites de las unidades litológicas, zonas de cizalla, pliegues, fallas de carácter local de tipo antitéticas y sintéticas, convergencia de corrientes con competencias diferenciales formando variaciones en el perfil longitudinal del cauce principal. Las rocas presentan variación en la resistencia a la erosión, pero cuando estas se ven afectadas por una falla la resistencia de la roca a la erosión disminuye.

El área de estudio presenta deformación tectónica y las cuencas hidrográficas estudiadas reflejan la capacidad de absorción de esta deformación por medio de la asimetría; se presentan condicionantes geológicos como estructuras de plegamientos y litologías con diferencias en la resistencia a la erosión que obligan a un patrón fluvial determinado. Se

encuentran valores de “AF” alejados del 50% y valores de “T” cercanos a 1 relacionados con un basculamiento debidos a la incidencia de una deformación tectónica.

## 12. CONCLUSIONES

En general las cuencas analizadas son poco drenadas, con una densidad de drenajes baja, probablemente por litologías de baja infiltración, el patrón de drenajes dominante en las cuencas es el tipo rectangular, este tipo de sistema está controlado por diaclasas, foliaciones, pliegues y fallas. La forma general de las cuencas es alargada, exceptuando la cuenca hidrográfica Tonusco, que presenta forma circular.

La correlación estructural de los drenajes presentes en las cuencas es media, exceptuando la cuenca hidrográfica Sinifaná, que posee correlación estructural media a fuerte.

Las fallas que afectan las cuencas, se correlacionan con los *Knickpoints* presentes en los perfiles longitudinales de las corrientes principales de cada una de las cuencas hidrográficas. Estos marcan zonas de mayor influencia estructural. En la cuenca hidrográfica Tonusco no es tan claro la relación de los *Knickpoints* con la falla que Tonusco.

Los cambios energéticos pueden generar “Zonas de *Knickpoints*”, y se evidencian en depósitos sedimentarios generados en la cuenca hidrográfica en la zona de transporte.

Las cuencas analizadas presentan un grado de asimetría alto, exceptuando la cuenca hidrográfica Sinifaná, posiblemente esto se debe a una gran capacidad para absorber la deformación tectónica, evidenciado por la alta sinuosidad del cauce principal. Los drenajes de las cuencas presentan modificaciones en sus cauces producto del basculamiento tectónico.

Hacia el este del río Cauca, las cuencas hidrográficas Amagá, Aurrá y Sinifaná presentan deformación tectónica o basculamiento hacia el sur; la cuenca hidrográfica Poblancó posee influencia tectónica en sentido oeste y hacia el oeste del río Cauca la cuenca hidrográfica Tonusco presenta deformación tectónica o basculamiento en sentido norte.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANH., 2011. Petroleum geology of Colombia; Geology and hydrocarbon potential; Amagá, Cauca and Patía basins. 98 p.
- Alfonso, C.; Sacks, P.; Secor, D.; Rine, J. Y Pérez, V., 1994. A Tertiary fold thrust belt in the Valle del Cauca Basin, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. V. 7 N3 - 4.p 387 - 402.
- Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C., Martinez. J., 2007. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Bogotá.
- Campbell, S., Philips, J., Turkington, A., 2004. Weathering and landscape evolution; Proceedings of the 35th Binghampton Symposium in Geomorphology. 168 p.
- Chow, V.T., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel network, *Handbook of Applied Hydrology*, 39-76.
- Einsele, G., 1992. *Sedimentary Basins; Evolution, Facies and Sediment Budget*. Springer-Verlag. Berlin, 632 p.
- Grosse, E., 1926. Estudio geológico del Terciario Carbonífero de Antioquia en la parte occidental de la cordillera central de Colombia.
- Gonzales, H., 2001. Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Antioquia, escala 1: 400.000. Bogotá D.C., 241 p.
- Hugget, R. J., 2007. *Fundamentals of Geomorphology*.; Routledge, New York, 483 p.
- IDEAM, 2015. Mapa de estaciones pluviométricas de Colombia. Consultado el 16 de julio de 2014, de (<http://institucional.ideam.gov.co/2001/jsp/index.jsf>)

- INGEOMINAS., 1983. Geología de la Plancha 130 – Santa Fe de Antioquia, escala 1:100.000.
- INGEOMINAS., 1983. Geología de la Plancha 146 – Medellín Occidental, escala 1:100.000.
- INGEOMINAS., 1980. Geología de la Plancha 166 – Jericó, escala 1:100.000.
- INGEOMINAS., 2001. Base de datos de fallas activas de Colombia. Bogotá. 331 p.
- Keller, E. A., and Pinter, N., 1996. “Active tectonics: Earthquakes Uplift and Landscapes”; Prentice Hall, New Jersey., 362p.
- Londoño, C. H., 2001. Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales – Caracterización – Planificación – Administración; Universidad del Tolima. 359 p.
- López, A., Ramírez, D., Sierra, G.M., Toro, G., 2006. Edad y proveniencia de las rocas volcanosedimentarias de la Formación Combia en el suroccidente Antioqueño-Colombia. Boletín de Ciencias De La Tierra. Vol. 19. 9-26 p.
- McCourt, W. J., Millward, D., 1984. Fallas principales de acreción de las placas en el Valle del Cauca, suroccidente de Colombia: IV Congreso Colombiano de Geología. Cali, 7p.
- McKnight, T. L., Hess, D., 2004. Physical Geography: A landscape appreciation.
- Monsalve, G., 1995. Hidrología en la ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. 364 p.
- Morisawa, M., 1985. Geomorphology texts. Longman Group Limited. 222 p.
- Mount, J. F., 1954. “California rivers and streams: The conflict between fluvial process and land use”; The regents of the University of California. 358 p.
- Murillo, S., 1998. Petrografía de las areniscas de la secuencia Quebrada La sucia-Mina Palomos Miembro Inferior de la formación Amagá, en Departamento de Geología. 1998, Universidad EAFIT: Medellín.
- Patiño, J.E., Montoya, J.J., 2001. Estudio hidrometereológico y geomorfológico de diez quebradas del Valle de Aburra. Tesis de Maestría. Universidad EAFIT.
- Rincón, P, J., Vegas, R., 2000. Aplicación de índices geomorfológicos de actividad tectónica reciente en el antepaís Bético. Geogaceta 27. Universidad de Madrid.

- Sarp, G., Gecen, R., Toprak, V., Duzgun, S., 2000. Morphotectonic properties of Yenicaga basin area in Turkey. Geodetic and geographic Information technologies. 5 p.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2012. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa Esc. 1:100.000. Bogotá D.C., 135p.
- Sierra, G.M., Silva, J.C., Correa, L.G., 2003. Estratigrafía secuencial de la Formación Amagá: Boletín de Ciencias de la Tierra, Vol. 15, pp. 722.
- Silva, J.C, Sierra, G., Correa, L., 2008. Tectonic and climate driven fluctuations in the stratigraphic base level of a Cenozoic continental coal basin, northwestern Andes. Journal of South American Geology. 365 p.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology, Transactions-American Geophysical Union, 38, 913-920.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel network, Handbook of Applied Hydrology, 39-76.
- Toussaint, J. F, Restrepo, J.J., 1974. Formación Abejorral y sus implicaciones sobre la evolución de la Cordillera Central de Colombia durante el Cretaceo. Anales Fsc. Minas, 58: 13-29.