

**CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y CÁLCULO DEL BALANCE HIDRICO PARA LA
CONSTRUCCION DEL TUNEL DE CARGA EN LA CENTRAL
HIDROELECTRICA CHICAMOCHA - MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER**

**LINA MARCELA ANGEL SALCEDO
MAYRA JHOANNA RAMIREZ ROSAS**

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA
SOGAMOSO
2015**

**CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y CÁLCULO DEL BALANCE HIDRICO PARA LA
CONSTRUCCION DEL TUNEL DE CARGA EN LA CENTRAL
HIDROELECTRICA CHICAMOCHA - MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER**

**LINA MARCELA ANGEL SALCEDO
MAYRA JHOANNA RAMIREZ ROSAS**

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEÓLOGO

**DIRECTOR:
JORGE ELIECER MARIÑO
Ing. Geólogo M. Sc. Ph.D**

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA
SOGAMOSO
2015**

Nota de aceptación

Firma Director del Proyecto

Firma de Jurado

Firma de Jurado

Sogamoso, -----

TABLA DE CONTENIDO

1. PRESENTACIÓN	
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
3. OBJETIVOS	
4. DELIMITACIÓN Y ALCANCE	
5. METODOLOGÍA	
6. MARCO DE REFERENCIA	21
6.1. LOCALIZACIÓN	21
6.2. VÍAS DE ACCESO	21
6.2.1.ESPECIFICACIONES	22
7. GENERALIDADES	24
7.1. ESTADO DE LA INFORMACIÓN	24
8. CLIMATOLOGIA	25
8.1. CLIMA	25
8.2. TEMPERATURA	25
8.3. PRECIPITACION	26
8.4. HIDROLOGIA	27
8.4.1. RIOS	28
8.4.2. HIDROGEOLOGIA	28
9. GEOMORFOLOGIA	29
9.1 PARÁMETROS GEOMORFOLOGICOS	30
9.1.1 AMBIENTE FLUVIAL	30
9.1.2 AMBIENTE DENUDACIONAL	33
9.2 PROCESOS MORFODINAMICOS	36
9.2.1 METEORIZACIÓN	37

9.2.2 EROSIÓN	38
9.3 AMENAZAS	40
9.3.1. INVENTARIO DE EVENTOS POR INUNDACIONES	41
9.3.2. INUNDACIONES LENTAS	43
9.3.3 MOVIMIENTOS DE REMOSIÓN EN MASA	43
9.3.4 DESLIZAMIENTOS	44
9.3.5. CAIDAS	44
9.3.6. GOLPE DE CUCHARA	44
9.3.7. FLUJO DE TIERRA	45
9.3.8 DERRUBIOS ROCOSOS	46
10. GEOLOGIA REGIONAL	47
11. TECTONICA	53
11.1. TECTÓNICA LOCAL	56
11.2. FALLAS Y PLEGAMIENTOS	57
11.3. AMENAZAS SISMICAS	59
12. GEOLOGIA LOCAL	61
12.1 PLAN DE TRABAJO	68
12.1.1. RECORRIDO VIA ARATOCA – CEPITA	71
12.1.1.1 PUNTOS DE INTERES	71
12.1.2. RECORRIDO VIA SAN GIL - BUCARAMANGA	75
12.1.2.1. RECORRIDO DESDE LA VIA PRINCIPAL HASTA LA CASA DE MAQUINAS (ARENERA CHICAMOCHA LTDA)	77
12.1.3 CONCEPTO GEOTECNICO	79
13. HIDROLOGIA	79
13.1 ANALISIS HIDROLOGICO	79
13.2 PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LAS MICRO-CUENCAS	79
13.2.1 ÁREA	80
13.2.2 LONGITUD DE LA CUENCA	80
13.2.3. PERIMETRO	80

13.2.4. COTAS MINIMAS Y MAXIMAS DE LA CUENCA	81
13.2.5. PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	81
13.3. PARAMETROS DE FORMA	83
13.4. CURVA HIPSOMETRICA DE LA CUENCA.	86
14. RED HIDRICA	89
15 BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL	92
15.1 PRECIPITACION	92
15.2 TEMPERATURA	98
15.3 EVAPOTRANSPIRACION	99
15.4 ESCORRENTIA	101
15.5 INFILTRACION	104
15.6 CALCULO BALANCE HIDRICO	104
16. ANALISIS DE CAUDALES	105
16.1 AFOROS	105
16.2 CALIDAD DEL AGUA	109
16.2.1 CARATERISTCIAS FISICOQUIMICAS DEL AGUA	110
16.2.3 METODOLOGIA PARA TOMA DE MUESTRAS	110
16.3 UBICACIÓN ESTACION DE MONITREO	113
16.4 CAUDAL MEDIO MENSUAL Y MULTIANUAL	113
16.4.1 CURVA DE DURACION DE CAUDALES	113
16.4.2 CAUDAL MEDIO DE PERMANENCIA	114
16.4.3 CAUDAL MINIMO DE PERMANENCIA	115
16.5 CAUDAL MEDIO MENSUAL	117
16.6. CAUDAL MINIMO MENSUAL	118
16.7 CAUDAL ECOLOGICO	120
16.8 CAUDAL CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO CONSIDERANDO PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS	124
16.9 CAUDAL CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO CONSIDERANDO REGISTROS DE CAUDALES MAXIMOS EN LA ESTACION JORDAN.	128

17. INDICE DE ESCASEZ	129
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFIA	

LISTA DE IMAGENES

IMAGEN No.1. VÍA DE ACCESO DESDE LA CIUDAD DE BOGOTÁ	21
IMAGEN No. 2. VÍA DE ACCESO DESDE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA	22
IMAGEN No. 3. UBICACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	23
IMAGEN No. 4. ÍNDICE DE HUMEDAD FÓRMULA DE THORNTHTWAITE	27
IMAGEN No. 5. MAPA RIESGO DE INUNDACIONES RIO CHICAMOCHA	42
IMAGEN No. 6 MAPA SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIONES	43
IMAGEN No. 7 ESQUEMA TECTONICO DEPARTAMENTO DE SANTANDER	54
IMAGEN No. 8. ESQUEMA ESTRUCTURA DEPARTAMENTO DE SANTANDER	55
IMAGEN No. 9 ESQUEMA DE FALLAS Y PLEGAMIENTOS	59
IMAGEN No. 10. ESQUEMA SISMICIDAD AREA DE ESTUDIO	60
IMAGEN No. 11 ESQUEMA NIDO SISMICO DE LOS SANTOS	61
IMAGEN No. 12. PERFIL DE METEORIZACIÓN DEERE Y PATTON (1971)	71
IMAGEN No. 13 CURVA HIPSOMETRICA CUENCA ESTE	88
IMAGEN No. 14 CURVA HIPSOMETRICA CUENCA OESTE	88
IMAGEN No. 15. RED HIDRICA DEL AREA DE ESTUDIO	90
IMAGEN No. 16 GRAFICA COMPORTAMIENTO PRECIPITACIONES TOTAL ANUAL	96
IMAGEN No.17. GRAFICA COMPORTAMIENTO ESCORRENTIA MEDIA ANUAL	102
IMAGEN No.18. ESQUEMA SECCION TRANSVERSAL DEL SITIO DE AFORO	106
IMAGEN No. 19. CURVA DURACION CAUDAL MEDIO	115
IMAGEN No. 20. CURVA DURACION CAUDAL MINIMO	117

LISTA DE TABLAS

Tabla Numero 1. COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
Tabla Numero 2. EQUIVALENCIA DE LA ELEVACION FRENTE A LA TEMPERATURA	25
Tabla Numero 3. GEOLOGIA REGIONAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	48

Tabla Numero 4. COORDENADAS DEL ESQUISTO CUARZO MOSCOVITICO	63
Tabla Numero 5. COORDENADAS DEL ESQUISTO CUARZO MOSCOVITICO CLORITICO	64
Tabla Numero 6. COORDENADAS DEL ESQ. CUARZO MOSCOVITICO CON GRANATE	65
Tabla Numero 7. COORDENADAS DE LA RIOLITA	66
Tabla Numero 8. COORDENADAS CUARCITA	67
Tabla Numero 9. COORDENADAS PIROLUCITA	68
Tabla Numero 10. PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA	82
Tabla Numero 11. PARAMETROS DE FORMA	86
Tabla Numero 12. RED HIDRICA	91
Tabla Numero 13. UBICACIÓN ESTACIONES DE PRECIPITACION	93
Tabla Numero 14. PRECIPITACIONES MED. MEN. POR EL METODO ARITMETICO	94
Tabla Numero 15. PRECIPITACIONES MED. MEN. POR ISOYETAS	95
Tabla Numero 16. PARAMETROS FORMULA DE TURC MODIFICADA	100
Tabla Numero 17. RESULTADOS EVAPOTRANSPIRACION MEDIA POTENCIAL	101
Tabla Numero 18. ESCORRENTIA MEDIA MENSUAL	103
Tabla Numero 19. INFILTRACION MEDIA MENSUAL	104
Tabla Numero 20. BALANCE HIDRICO	104
Tabla Numero 21. CALCULO DEL ÁREA POR TRAPECIOS	107
Tabla Numero 22. VELOCIDAD DEL CAUDAL	108
Tabla Numero 23. CARACTERISTICAS MICROBIOLOGICAS DEL AGUA	111
Tabla Numero 24. CARACTERISTICAS FISICO – QUIMICAS DEL AGUA	111
Tabla Numero 25. PERMANENCIA DE LOS CAUDALES MEDIOS	114
Tabla Numero 26. DURACION DE LOS CAUDALES MINIMOS	115
Tabla Numero 27. CAUDAL MEDIO MENSUAL (1974 - 2012)	118
Tabla Numero 28. CAUDAL MINIMO MENSUAL (1974 - 2012)	118
Tabla Numero 29. CAUDAL ECOLOGICO MULTIANUAL	120
Tabla Numero 30. PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	125
Tabla Numero 31. PRECIPITACION DE RETORNO EN 24 HORAS	126

Tabla Numero 32 Y 33. DATOS HIDROGEOLOGICOS Y DATOS MORFOLOGICOS	119
Tabla Numero 34. CAUDAL MAXIMO POR PRECIPITACIONES DE 150 mm/DIA	128
Tabla Numero 35. CALCULO DE CAUDALES MAXIMOS PARA DIFERENTES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	129
Tabla Numero 36. PRODUCCION MEDIA ANUAL DE LA ARENERA CHICAMOCHA LTADA.	131
Tabla Numero 37. EVALUACION ENTRE OFERTA Y DEMANDA HIDRICA	132
Tabla Numero 38. INDICE DE ESCASEZ PARA CONDICIONES MEDIAS Y SECAS	133
Tabla Numero 39. CAUDAL DE DISEÑO	133

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía No. 1 y 2. ZONA DE ESTUDIO	24
Fotografía No. 3. PANORAMICA DEL RIO CHICAMOCHA	29
Fotografía No. 4. ABANICOS FLUVIALES Y FLUVIOTORRENCIALES	31
Fotografía No. 5. BARRAS LONGITUDINALES	31
Fotografía No. 6. PLANOS Y LLANURAS DE INUNDACION	32
Fotografía No. 7. CAUCE ALUVIAL	33
Fotografía No. 8. FLUJO DE DETRITOS	35
Fotografía No. 9. ESCARPE DE EROSION MAYOR	35
Fotografía No. 10. LOBULO Y CONO DE AVALANCHA DE DETRITOS	36
Fotografía No. 11. METEORIZACION CAÑON DEL CHICAMOCHA	37
Fotografía No. 12. CARCAVAMIENTO CAÑON DEL CHICAMOCHA	40
Fotografía No. 13 y 14. DESLIZAMIENTOS CAÑON DEL CHICAMOCHA	44
Fotografía No. 15 y 16. GOLPE DE CUCHARA CAÑON DEL CHICAMOCHA	45
Fotografía No. 17 y 18. FLUJOS DE TIERRA	45
Fotografía No. 18 y 20. DERRUBIOS ROCOSOS	46
Fotografía No. 21 y 22. ESQUISTO CUARZO MOSCOVITICO BLANCO CON BAJO GRADO DE METAMORFISMO	63
Fotografía No. 23 y 24. ESQUISTO CUARZO MOSCOVITICO CLORITICO, ESTAUROLITA	64
Fotografía No. 25 y 26. ESQUISTO CUARZO MOSCOVITICO CON GRANATE	65
Fotografía No. 27. RIOLITA	66
Fotografía No. 28. CUARCITA	67
Fotografía No. 29. PIROLUCITA DENDRITICA	68

Fotografía No. 30 y 31. EVIDENCIA DEL FUERTE PROCESO DE EROSION	70
Fotografía No. 32. ESQUISTO CUARZO MOSCOVITICO CON REPLEGAMIENTO	72
Fotografía No. 33 y 34. ESCORRENTIA	73
Fotografía No. 35 y 36. INTRUSION DEL GRANITO DE PESCADERO	74
Fotografía No.37. DESLIZAMIENTO	75
Fotografía No. 37 y 38. RECORRIDO VIA SANGIL – B/GA	76
Fotografía No. 39 Y 40. RECORRIDO VIA SANGIL – B/GA	76
Fotografía No. 41. DEPOSITO CUATERNARIO	77
Fotografía No. 43. ESQUISTO CUARZO MOSCOVITICO	78
Fotografía No. 44. RIO CHICAMOCHA	78
Fotografía No. 45 y 49 AFOROS DEL RIO CHICAMOCHA	108

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. MAPAS MENSUALES DE TEMPERATURA	141
ANEXO B. MAPAS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN	142
ANEXO C. MAPAS MENSUALES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN	143
ANEXO D. MAPAS MENSUALES DE BALANCE HÍDRICO	144

INTRODUCCION

El presente estudio se realizara debido a que se requiere hacer la implementación y apertura de una central hidroeléctrica, en concordancia se requiere un trabajo geológico detallado, donde se especifique la litología, componente geomorfológico, tectónica presente en el área, tipo de estructuras geológicas, discontinuidades, resistencia de la matriz rocosa y condiciones hidrogeológicas.

Los estudios a nivel geológico – geotécnico son indispensables para la proyección y construcción de una obra subterránea,

El cañón del rio Chicamocha es un accidente geográfico, ubicado en el departamento de Santander donde se combinan las características topográficas, geomorfológicas y litológicas presentes, las cuales junto con los posteriores procesos de erosión y depositación forman un paisaje imponente; El conocimiento del balance hídrico es importante para el estudio del ciclo hidrológico, con los parámetros de este es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo, y cuantificar el grado de influencia en las variaciones del régimen natural. Se requiere realizar la construcción de una central hidroeléctrica que supla las necesidades de energía para los municipios vecinos, haciendo uso de las ventajas hidrológicas de la zona. El conocimiento de los parámetros del balance hídrico, es fundamental para lograr un uso racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo.

1. PRESENTACION

El área del presente estudio se ubica en la provincia de Guantá, municipio de Aratoca, del departamento de Santander, correspondiente a la cordillera oriental de los Andes Colombianos. Donde se planea la construcción de una pequeña central hidroeléctrica que sirva de apoyo para suplir las necesidades de energía de los municipios vecinos. Se proyecta la construcción de un túnel revestido de 5 kilómetros, que capte el agua y aprovechando la diferencia de cotas la dirija hacia la casa de máquinas. Esta captación será realizada a filo de agua, por lo cual no se requiere la construcción de una presa.

El conocimiento del balance hídrico es importante para el estudio del ciclo hidrológico, con los parámetros involucrados es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo, y cuantificar el grado de influencia en las variaciones del régimen natural. El conocimiento de los parámetros como precipitación, evapotranspiración, infiltración y demás, es fundamental para lograr un uso racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo

Se realizó una salida de reconocimiento general, en la cual se identificaron rasgos geomorfológicos, rasgos litológicos y condiciones estructurales, con el fin de elaborar un plan de estudio para establecer la manera adecuada de abordar con mayor eficacia la zona de interés.

En la segunda etapa el trabajo de campo se realizó la identificación de litología, contactos, dirección de foliación, discontinuidades y demás condiciones necesarias para la elaboración de los mapas geológicos, para la realización del balance hídrico de la cuenca se solicitó la información al IDEAM y se evaluarán los diversos datos, se realizó la clasificación y procesamiento de los mismos.

La litología predominante en la zona de estudio corresponde a la formación Silgara, con intrusiones recurrentes del granito de pescadero donde se presentan perfiles de meteorización en consecuencia del intemperismo al que han sido expuestas las rocas en su parte superficial, y se presentan en espesores variables, producto de factores como el clima y la litología. La acción de agentes de meteorización en las rocas que conforman esta formación, produce alteraciones físicas y mecánicas en consecuencia, se obtiene un cambio en la composición y comportamiento mecánico. De igual manera se establecen tres horizontes correspondientes a roca sana, roca meteorizada y suelo residual formando gruesos perfiles de material arcilloso a arcillolimoso, de color amarillo a rojizo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En respuesta a la necesidad de ampliar la cobertura de servicio eléctrico por parte de la empresa GENSA, se hace necesario realizar la cartografía geológica e hidrología superficial del área de la cuenca en donde se realizará la construcción del túnel de carga de una central hidroeléctrica en el municipio de Aratoca, Santander; con el fin de identificar factores geológicos, hidrológicos y climatológicos que permitan pronosticar variables y comportamientos que incidan durante la construcción y vida útil del proyecto. Establecer los diferentes parámetros morfométricos, elaborar un cálculo del balance hídrico y realizar el análisis de periodos de retorno a diversas etapas de tiempo, para esto la empresa GENSA contrató a PCH Colombia, entidad que es la encargada de la realización de los estudios correspondientes.

La generación de energía eléctrica mediante la utilización de agua, es considerada como el mejor medio de producción de energía con tecnología limpia. La PEQUEÑA CENTRAL HIDROELECTRICA CHICAMOCHA, es un proyecto de PCH COLOMBIA, ubicado en el municipio de Aratoca, que propone utilizar el potencial hídrico del río Chicamocha, contribuir con el desarrollo industrial y turístico, aportando al mejoramiento social del área de influencia. El proyecto es concebido como un Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL, en virtud de lo cual, respetará la geografía y el paisaje típico de la región, causando el menor impacto ambiental posible.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar la cartografía geológica y el cálculo del balance hídrico para la construcción del túnel de carga en la central hidroeléctrica Chicamocha - municipio de Aratoca, Santander

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar la información geológica e hidrológica correspondiente al área de estudio.
- Realizar la cartografía geológica donde se ubicará el túnel de carga a una escala 1:10000.
- Clasificar y procesar la información solicitada de las estaciones meteorológicas aledañas al área de estudio.
- Determinar los parámetros morfométricos para la cuenca y tramo en estudio.
- Realizar el balance hídrico de la cuenca
- Calcular los caudales medio, mensual, multianual y caudal ecológico del tramo del río Chicamocha ubicado en el área de estudio
- Establecer un índice de escasez para condiciones hidrológicas medias y secas.
- Calcular diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años).

4. DELIMITACIÓN Y ALCANCE

Alcances.

En el área se presentan condiciones aptas para las visitas de campo, lo que permite una descripción litológica, identificación de las formaciones presentes, toma de muestras, aforos de caudal y demás recolección de la información requerida para el desarrollo del proyecto. A demás se cuenta con una fuente de datos meteorológicos del IDEAM de las estaciones cercanas, lo que permite un análisis multianual de los parámetros principales a evaluar que condicionan la viabilidad de las obras a realizar.

La interacción con profesionales de diversas aéreas como biología, garantizan que se haga el planeamiento de manera sostenible, además aportan un componente importante el cual amplia la posibilidad para obtener información, y aplicarla en el desarrollo adecuado de la siguiente fase.

Limitaciones

La ejecución de la fase inicial del presente proyecto se limita por factores como, la escasa información disponible y la falta de acceso a algunas áreas por ser de topografía abrupta. A demás por la baja existencia de estaciones del IDEAM dentro del área, que hagan una medición de diversos parámetros como temperatura, evaporación, caudales, precipitación, brillo solar, etc. Los cuales son básicos para el cálculo del balance hídrico. La falta de algunos registros es otra limitante, porque no se realiza un monitoreo constante.

Tabla No. Indicadores de limitaciones y alcances

OBJETIVO	META	ACTIVIDADES	RESULTADOS	INDICADORES
Recopilar la información geológica e hidrológica correspondiente al área de estudio	Recopilación de la información correspondiente al área de estudio.	Consulta de documentos como: Esquema de Ordenamiento territorial. Plan de Desarrollo Municipal. Búsqueda de Base Topográfica y Plancha Geológica.	-Tablas de Información -Documentación.	
Realizar la cartografía geológica donde se ubicara el túnel de carga a una escala 1:10000.	Realización de la cartografía geológica del área de estudio a una escala de 1:10.000.	-Visitas de campo -Evaluación visual -Toma de datos geológicos	- Plancha geológica a escala 1:10.000 - Informe con descripción de la zona	- Plancha geológica a escala 1:10.000 - perfil a lo largo del túnel de carga
Clasificar y procesar la información de las estaciones meteorológicas aledañas al área de estudio	Clasificación y procesamiento de la información hidrológica	-reunión para la asesoría del director del proyecto -reunión para la asesoría del co-director del proyecto	Avance con la información procesada	
Realizar el balance hídrico de la cuenca	Evaluación de los parámetros hidrológicos	-Análisis de los resultados obtenidos a partir del procesamiento de los datos	Recomendaciones y aportes	-Informe técnico final de la interpretación de los resultados.

Fuente: Autores

5. METODOLOGÍA

Etapa I, Recopilación de información de fuentes secundarias e información de estaciones meteorológicas

Se realizó una recopilación bibliográfica de estudios previos y documentos de investigación:

- Información de precipitaciones y caudales multianuales del IDEAM
- Planchas Topográficas de la zona de estudio (escala 1: 10000) del Servicio Geológico Colombiano (Antiguo Ingeominas).
- Planchas Geológicas IGAC 120-IV-D-4, 121-III-C-3, 135-II-B-2 y 136-I-A-1. a escala 1:100000 del Servicio Geológico Colombiano (Antiguo Ingeominas).

Etapa II, Reconocimiento y evaluación general

Se realizó una salida de reconocimiento general, en la cual se identificaron rasgos geomorfológicos, rasgos litológicos y condiciones estructurales, con el fin de elaborar un plan de estudio para establecer la manera adecuada de abordar con mayor eficacia la zona de interés.

Etapa III, Trabajo de Campo.

En segunda etapa el trabajo de campo se realizó mediante la identificación de litología, contactos, dirección de foliación, discontinuidades y demás condiciones necesarias para la elaboración de los mapas geológicos, mediante el recorrido de tres tramos de vía los cuales cubrían de manera representativa la geología de la zona.

Se realizaron los recorridos correspondientes a los tres trazados proyectados, se elaboró una descripción petrográfica de los afloramientos dispuestos a lo largo de los recorridos, se tomaron datos estructurales y se llevó a cabo muestreo tamaño puño, en los lugares de mayor importancia. La descripción litológica de las rocas, conllevó la identificación y determinación los contactos entre las diferentes formaciones geológicas, depósitos y suelos residuales existentes, esto permitió elaborar el mapa geológico a escala 1:10000 y la realización un perfil geológico a lo largo de la proyección del túnel de carga.

Etapas IV, Procesamiento de la información obtenida de fuentes secundarias para el cálculo de balance hídrico

Análisis de los datos de las estaciones meteorológicas:

Dentro del área se encuentran únicamente dos estaciones que miden precipitaciones, por lo cual se hace necesario usar también los datos de precipitación de zonas próximas y de recubrimiento, a fin de obtener un valor más exacto de la precipitación en las cuencas de interés, para esto se implementó el software Idrisi con el cual se obtuvo una división de micro-cuencas denominadas micro-cuenca Este y micro-cuenca Oeste correspondientemente, y un modelo de drenaje, se obtuvo por el método de isoyetas en el software Arcgis un valor preciso de precipitación, y se obtuvo mediante diversos cálculos la evapotranspiración, escorrentía e infiltración, que son los datos básicos para la elaboración del balance.

Otro parámetro requerido fue el caudal, para esto se utilizó la división de las dos micro-cuencas, y la información multianual de la única estación que realiza la medición en el tramo del río de interés, denominada estación Jordán, se realizaron aforos para la comparación, análisis de calidad de agua y se procesó la base de datos para la obtención del caudal utilizable en el proceso de producción de electricidad por parte de la central hidroeléctrica proyectada.

Etapa V, elaboración de mapas temáticos.

Geología

Se elaboró la geología del sector a nivel de detalle, escala 1:10000, Los datos estructurales y litológicos recolectados en campo, fueron plasmados inicialmente en el mapa topográfico a la misma escala y posteriormente se digitalizó en el software AutoCAD toda la información para obtener de manera digital y análoga los resultados del estudio.

Balance Hídrico

Para el balance hídrico se elaboraron los mapas mensuales de cada parámetro involucrado, correspondiente a 49 mapas en Arcgis, discriminados de la siguiente manera:

12 mapas de temperatura

12 mapas de precipitación

12 mapas de evapotranspiración

12 mapas de balance hídrico, y

1 mapa de red hídrica y división de micro – cuencas.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 OCALIZACION

6.2. VIAS DE ACCESO

El lugar donde se construirá la captación del túnel de carga se encuentra ubicado en cercanías del municipio de Cepita y la casa de máquinas donde se hace actualmente el cambio de cables del teleférico del parque Panachi; estos lugares corresponden respectivamente a la entrada y salida del túnel proyectado, con una extensión de 5 kilómetros.

IMAGEN No. 1. VIA DE ACCESO DESDE LA CIUDAD DE BOGOTA



Fuente: Google Maps

El inicio del túnel de carga, correspondiente a la captación está ubicado a 405 KM de la ciudad de Bogotá, con un recorrido en vehículo de 9 horas, 45 minutos aproximadamente.

IMAGEN No. 2. VIA DE ACCESO DESDE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA



Fuente: Google Maps

El inicio del túnel de carga, correspondiente a la captación está ubicado a 82 KM de la ciudad de Bucaramanga, con un recorrido en vehículo de 3 horas, 25 minutos aproximadamente.

6.2 ESPECIFICACIONES DEL AREA

Las coordenadas del área de estudio son:

TABLA No.1 COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

ESTE	NORTE	ALTURA (m.s.n.m)
1.116.000	1.243.000	1.700
1.122.000	1.243.000	1.450
1.122.000	1.238.000	900
1.116.000	1.238.000	1.100

Fuente: Planchas IGAC 120-IV-D-4, 121-III-C-3, 135-II-B-2 y 136-I-A-1
Del Servicio Geológico Colombiano (Antiguo Ingeominas).

IMAGEN No. 3.
UBICACIÓN GEOGRAFICA



La fotografía número uno corresponde al lugar donde se proyecta la captación del flujo de agua, que será conducido a través de un túnel de cinco kilómetros, hasta la casa de máquinas, la cual se ubicará donde se observa en la fotografía número dos.

Fotografías No. 1 y 2. Área en estudio.



Fuente: Datos de estudio

7. GENERALIDADES.

7.1. ESTADO DE LA INFORMACION.

La recopilación de la información secundaria correspondiente se obtuvo de diversas fuentes, incluyendo la solicitud de los datos al IDEAM y fotointerpretación previa a las visitas de campo.

8. CLIMATOLOGIA

8.1. CLIMA

La zona de estudio presenta un clima de tipo tropical condicionado por aspectos geográficos y atmosféricos que incluyen: precipitaciones, intensidad de radiación solar, temperatura, sistemas de vientos, altitud y humedad atmosférica, en concordancia presenta una temperatura uniforme la mayor parte del año; y se presentan dos periodos de lluvia, intercalados debido a su ubicación en la zona de confluencia intertropical; la precipitación y la temperatura local se ven influenciadas por los vientos cálidos y húmedos procedentes del valle del Magdalena medio. De acuerdo con el atlas climatológico de Colombia del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, la clasificación climática de Holdridge del área en estudio corresponde de templado muy seco a cálido seco.

8.2. TEMPERATURA.

Tabla No. 2. Equivalencia de elevación con la temperatura

Elevación (msnm)	Temperatura (Grados centígrados)
0-800	mayor de 24
800-1800	18 a 24
1800-2800	12 a 18
2800-3700	6 a 12
3700-4200	3 a 6
4200-4500	1.5 a 3
Mayor a 4500	menor a 1.5

Fuente: IDEAM

La temperatura en la zona de estudio obedece a las condiciones de altura, las cuales fluctúan de 600 a 1800 metros, por consiguiente se deduce que oscila en un intervalo de 18 a 26 Grados Centígrados.

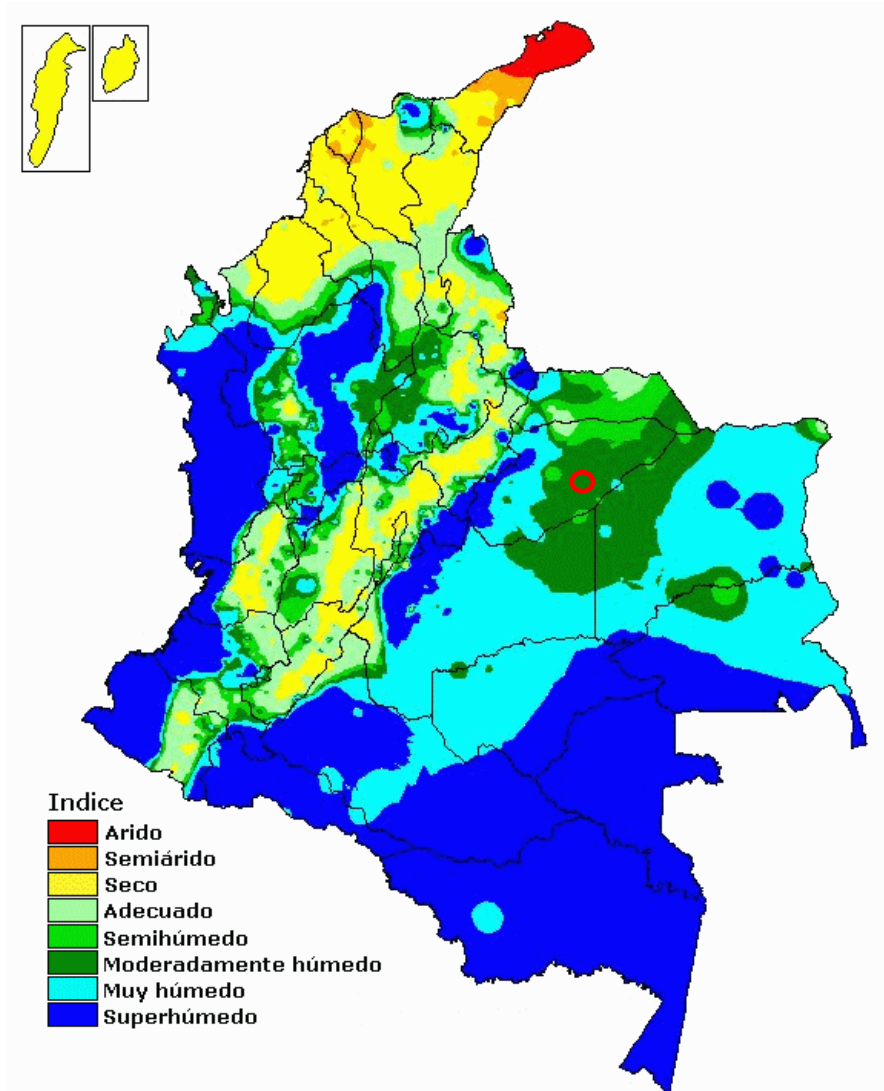
8.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación es una fuente importante de humedad del suelo, debido a esto el cálculo y medida se deben realizar con alta precisión, de ello depende, la exactitud de todos los cálculos del balance hídrico y los parámetros involucrados. Esta medida en una cuenca fluvial, o en cualquier zona, se obtiene a partir de los datos de pluviómetros, o totalizadores instalados en la zona en estudio. En el país actualmente estas mediciones son desarrolladas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM y los datos están disponibles en la página de dicha entidad. En el caso de insuficientes aparatos, se pueden usar también los datos de precipitación de zonas próximas y de recubrimiento, a fin de obtener un valor más exacto de la precipitación.

La cantidad y la distribución de las lluvias en un lugar dado depende de dos factores básicos: la circulación de los vientos y el relieve (forma y orientación de las montañas).

8.4 Hidrología

Imagen No. 4. Índice de humedad de acuerdo a la fórmula de Thornthwaite



○ Área de estudio

Fuente: IDEAM

Según la imagen mostrada se observa que el área de estudio corresponde a un índice hídrico de tipo seco.

La UNESCO estableció una división por provincias hidrológicas, en la cual Colombia está compuesta por 6 de ellas; la zona de estudio corresponde a La Provincia Andina, donde los recursos hídricos de mayor relevancia son:

8.4.1. Ríos

La hidrografía del área de interés está relacionada con la Gran Cuenca del Río Magdalena, debido a que los cursos de agua son tributarios de este; siguiendo en orden la cuenca del Río Sogamoso y a la Subcuenca del Río Chicamocha.

La subcuenca del río Chicamocha, inicia en el departamento de Boyacá, presenta un trayecto Sur – Norte, limita las provincias de García, Rovira y Guanentá, en el departamento de Santander, formando el cañón del Chicamocha.

En el área en estudio se presenta un sistema donde los patrones de drenaje son de tipo dendrítico, subdendrítico y paralelo, de alta densidad los cuales contribuyen al aporte del cauce principal del río Chicamocha.

8.4.2. Hidrogeología

Debido a que la litología del área de estudio se compone por rocas ígneas y metamórficas, se considera que en ella no existen posibilidades de aprovechamiento de aguas subterráneas, por tratarse de rocas impermeables, con condiciones de porosidad y permeabilidad primaria muy bajas, es decir que el área no presenta interés de tipo hidrogeológico.

9. GEOMORFOLOGIA

El paisaje imponente del área de estudio es el resultado tanto del proceso de evolución geológica, la influencia de las fallas y pliegues, como del proceso de meteorización desarrollado. Las geoformas presentes corresponden a los ambientes fluvial y denudacional, ciertas formas estructurales tales como escarpes de fallas, se clasifican dentro de un origen causado por procesos endógenos. Para las formas exógenas o externas, el origen principal en primera instancia se relaciona con el tipo de roca y el producto de meteorización residual (suelos), dando una forma de terreno característica, con presencia de un sistema de montañas asociadas a la denudación y llanuras aluviales de los valles intramontanos creados por los Chicamocha y la quebradas Perchiquez. Formas como terrazas, planicies de inundación o partes superiores de deltas se asocian con depósitos aluviales. Su elaboración parte de la fotointerpretación, análisis de panorámicas y descripción en campo.

Fotografía No. 3. Panorámica del río Chicamocha



Fuente: Datos de estudio

La formación de las montañas, colinas y valles que constituyen las geoformas actuales obedecen a la disectación de la masa rocosa por las principales corrientes hídricas y en menor medida a la depositación de sedimentos en las partes bajas.

9.1 Parámetros Geomorfológicos.

A continuación se describen las geoformas de los ambientes, que obedecen a las características del área en estudio. Según la estandarización de geoformas de ambiente fluvial y lagunar, del servicio geológico colombiano, 2013.

9.1.1. Ambiente Fluvial¹

Las geoformas de origen fluvial y lagunar están originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y acumulación o sedimentación de materiales en las zonas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera es posible encontrar geoformas aledañas a ríos y quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre. Se identificaron cauces activos de quebradas con valles aluviales estrechos, llanuras de inundación, conos de deyección, niveles de terrazas antiguas y recientes, planicies y deltas lacustrinos producto de eventos fluvio-torrenciales recientes, (servicio geológico colombiano, 2013)

- AVANICO ALUVIAL Y FLUVIO TORRENCIAL (Faa):

Superficies en forma de cono, de laderas cóncavo convexas, de dimensiones kilométricas de morfología plana, aterrazada formados donde una corriente desemboca en una zona plana. Su origen está asociado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial. Los depósitos aluviales se depositan radialmente desde el

¹ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Estandarización de Geoformas de ambiente fluvial y lagunar. P. 2, 5, 7,9, 15.

ápice del abanico localizado en la salida de la corriente de las montañas. Los canales fluyen radialmente, cortando el abanico, siendo más profundos en el ápice del abanico y más someros al alejarse de él. Su tamaño puede alcanzar varios kilómetros de largo y ancho.

Fotografía No. 4. Abanicos fluviales y fluvio torrenciales.



Fuente: Datos de Estudio

- **BARRAS LONGITUDINALES(Fbl):**

Cuerpos elongados de forma romboidal en planta y convexa en superficie de morfología suavemente ondulada, dispuestas paralelos en el centro de los cauces fluviales mayores y con la punta más aguda en la dirección de la corriente. Se forman como producto de la acumulación de sedimentos durante grandes avenidas y que luego al disminuir el caudal, quedan como remanentes que dividen la corriente. Se constituyen principalmente de 2 a 4 m de arenas y gravas finas.

Fotografía No. 5. Barras longitudinales



Fuente: Datos de Estudio

- **PLANOS Y LLANURAS DE INUNDACIONES (Fpi):**

Franja de terreno plana baja de morfología baja y ondulada eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Se incluyen los planos fluviales menores en formas de “U” o “V” y conos coluviales menores, localizados en los flancos de los valles intramontanos; en regiones montañosas donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios.

Fotografía No. 6. Planos y llanuras de inundación



Fuente: Datos de Estudio

- **CAUCE ALUVIAL (Fca):**

Canales de forma irregular excavados por corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales y que dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Cuando las corrientes fluyen en macizos rocosos se da un proceso básicamente erosivo, entallando dicho macizo y moviéndose

lateralmente dentro de rocas menos resistentes. En este tipo de cauce el mayor socavamiento se da en las partes superiores de su curso, donde es mayor el gradiente y la carga de sedimentos es más gruesa. En presencia de rocas más resistentes su curso es muy irregular con la presencia de saltos producto del cambio de resistencia en la roca, fallamiento o deslizamientos que conforman apilamientos. Dependiendo la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras geoformas asociadas tales como barras, islas, meandros abandonados, cuencas de decantación, en este caso se denominan múltiples de alta sinuosidad.

Fotografía No. 7. Cauce aluvial



Fuente: Datos de Estudio

9.1.2. Ambiente Denudacional²

La denudación (del latín: denudativo= acción de desnudar) se refiere a la meteorización de las masas de rocas continentales expuestas y al desgaste del

² SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. Estandarización de geoformas en ambiente denudacional. P. 2-4, 18, 25, 32.

regolito resultante, por acción combinada de las fuerzas de desplazamiento y de los agentes geomorfológicos, con el consecuente remodelado y paulatina reducción de la superficie terrestre. El término tiene un sentido más amplio que el de erosión, por cuanto abarca la totalidad de los procesos que contribuyen a la degradación y reducción de los relieves iniciales, esto es: la meteorización, los movimientos en masa y la erosión en todas sus formas. Son geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas

Morfo estructurales preexistentes y además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos. Las condiciones geomorfológicas presentes son esenciales en el análisis de la ocurrencia de deslizamientos, debido a que los procesos de vertiente son parte integral de los procesos dinámicos como variables que controlan la evolución del paisaje (Aristizabal y Yokota, 2006).

La geomorfología refleja los procesos que están actuando sobre una vertiente, así como los paleo-procesos que lo han afectado en el pasado y su relación con la litología y otros elementos constitutivos, no solamente de un talud en particular, sino de todo el ambiente de una zona.

- **FLUJO DE DETRITOS (Dfe):**

Geoforma en forma de cono o lóbulo, cuyas laderas son de longitudes cortas a largas, de formas convexas y con pendientes que varían entre inclinadas a abruptas. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de u, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Su origen está asociado al transporte torrencial de sedimentos clastosoportado.

Fotografía No. 8. Flujo de detritos



Fuente: Datos de Estudio

- **Escarpe de erosión mayor (Deem):**

Escarpes de longitud corta a larga (con alturas mayores de 20 m), de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpado, originado por socavación lateral fluvial o erosión remontante a lo largo de un drenaje mayor.

Fotografía No. 9. Escarpe de erosión mayor

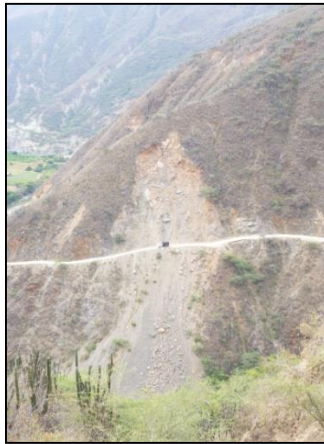


Fuente: Datos de Estudio

- **Lóbulo y cono de avalancha de detritos (Dl cad):**

Lóbulos y abanicos de morfología alomada de longitudes largas a muy largas, que generan pendientes naturales inclinadas a muy inclinadas con formas convexas. Su origen se asocia a avalanchas torrenciales no canalizadas inducidas por eventos sísmicos o lluvias intensas

Fotografía No. 10. Lóbulo y cono de avalancha de detritos



Fuente: Datos de Estudio

9.2. PROCESOS MORFO DINÁMICOS.

El paisaje que presenta el cañón del Chicamocha en el municipio de Aratoca es el resultado tanto del proceso de evolución geológica, de la influencia de las fallas y pliegues que la atraviesan, como de las actividades propias que desarrolla el hombre principalmente en el proceso pecuarios (caprino) que han modificado las formas del relieve presentes. El modelado se considera torrencial, siendo importante el aporte de sedimentos desde la zona montañosa hacia la base y la pérdida de suelos que causa el escurrimiento superficial de tierra y piedra. En general, el área muestra una alta susceptibilidad a los procesos erosivos y de remoción en masa, a causa del clima, las pendientes y la constitución misma del material parental, así

como por el pastoreo de cabras y el paso del agua de escorrentía cuando surca las laderas desprovistas de vegetación.

El levantamiento de la geomorfología permitió observar diferentes formas del terreno propias de la parte central de la cordillera Oriental, en esta parte prevalece la presencia de un sistema de montañas asociadas a la denudación, fuertemente inclinadas a escarpadas, de vertientes largas y paralelas entre sí.

La morfodinámica de la región está relacionada con procesos de meteorización, erosión y deslizamientos en masa, los cuales se describen a continuación.

9.2.1 Meteorización

El factor más relevante de meteorización química en esta área es la hidratación, la cual modifica las propiedades físicas y químicas originales de las rocas y desestabiliza el suelo, que para el caso del cañón del río Chicamocha es de por sí inestable. Por efecto del agua los minerales se convierten lentamente en una solución coloidal, lo que produce un material fino que es fácilmente arrastrado por la escorrentía e incluso puede ocasionar deslizamientos en masa.

Fotografía No 11. Meteorización cañón del Chicamocha



Fuente: Datos de Estudio.

9.2.2. Erosión.

Procesos físicos y químicos naturales de la naturaleza que desgastan y destruyen los suelos y rocas de la corteza terrestre, la erosión es el resultado de la acción combinada de varios factores, como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal. En algunas regiones predomina alguno de estos factores, como el viento en las zonas áridas. También, y mucho más en los últimos tiempos, se produce una erosión acelerada como el resultado de la acción humana, cuyos efectos se perciben en un periodo de tiempo mucho menor. La erosión está influida por dos factores importantes que se denominan factores pasivos y activos.

Hay factores que inciden en la erosión como son:

- El Material Parental.

Las características físicas y químicas de éste, determinan el mayor o menor grado de resistencia a la erosión. Las rocas que están más afectadas dentro del municipio corresponden a las arcillolitas de las formaciones Jordán Girón y Paja, debido principalmente a la influencia del clima, ya que al Oeste no existe una barrera natural que proteja estas rocas de la erosión eólica. Este problema se acrecienta con la exposición permanente del sol que no permite la existencia de cobertura vegetal permanente.

- Estructura geológica.

Los esfuerzos a que han sido sometidas las rocas durante la actividad tectónica que generó las diferentes fallas y los suaves plegamientos de la región crearon fracturamiento en el material, disminuyendo su resistencia.

- Relieve.

Las pendientes con una inclinación mayor de 20° tienen una gran potencialidad para la activación de procesos erosivos.

➤ Cobertura vegetal

El manto vegetal del suelo ha disminuido su capacidad de asimilación de la energía producto de la acción de los factores ambientales y por el antropomorfismo de los suelos

Dentro de los tipos de Erosión que se presentan en la región se puede señalar.

➤ El Escurrimiento de suelos

Este tipo de erosión es hídrica superficial ocasionada por efecto de las aguas de escorrentía que fluyen superficialmente y no se infiltran. El salpique y el escurrimiento en micro canales de poca profundidad tienen como consecuencia la remoción de la capa superficial de suelo y con el tiempo puede favorecer la incidencia de procesos de erosión concentrada y en ciertos casos de movimientos en masa. Este fenómeno es generalizado en toda el área, debido a la falta de cobertura vegetal y al desarrollo de pastoreo de caprinos en zonas de ladera, y puede variar desde escurrimiento difuso laminar, en surcos y en cárcavas, dependiendo del tipo del material existente y la pendiente.

➤ El Carcavamiento

Es también un proceso de erosión hídrica concentrada en avanzado estado de desarrollo, donde se forman canales de grandes dimensiones llamados cárcavas, cuyas dimensiones (ancho, largo y profundidad) varían dependiendo del tipo de material, la pendiente y la energía de arrastre de la corriente. En el área de estudio existe tanto Carcavamiento de menor tamaño e inclusive surcos y zanjones, hasta Carcavamiento profundo, por la ocurrencia simultánea de movimientos en masa laterales. Este tipo de erosión es Común en esta zona.

Fotografía No.12. Carcavamiento Cañón del Chicamocha



Fuente: Datos de Estudio.

9.3 Amenazas.

Los procesos geomorfológicos naturales unidos a la acción poco racional desarrollada directa o indirectamente por el hombre, han causado un desequilibrio y deterioro del medio ambiente en Santander. El departamento de Santander ha estado amenazado principalmente por fenómenos naturales de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, y por una alta actividad sísmica, especialmente en la microcuenca oeste del área en estudio, correspondiente a proximidades del municipio de Mesa de los Santos.

Para el área en estudio se define como zonas de amenaza y riesgo, aquellas que presentan susceptibilidad Muy Alta y Alta a los procesos o fenómenos de remoción en masa, asociados a zonas de alta pendiente, con base en la correlación de información de morfometría, geomorfología, relieve, densidad de drenaje, suelos, intensidad de erosión, alturas, uso del suelo, clima y zonas de vida, según esquema de ordenamiento territorial de del municipio de Aratoca.

Se identifican como áreas de amenaza y riesgo las siguientes:

- Zonas con Susceptibilidad Muy Alta a los procesos de remoción en masa y erosión.

Debido a las condiciones geológicas y geomorfológicas, tales como: la presencia de fallas especialmente de tipo normal, el alto grado de erosión y las pendientes que superan 50% el área en estudio, se encuentra en alta susceptibilidad a procesos de remoción en masa, presentando zonas inestables, extremadamente vulnerables ante cualquier agente; son particularmente susceptibles al colapso en sectores de alta pendiente, deslizamientos que involucran grandes volúmenes de material rocoso, de movimientos complejos, asociados a desplazamientos en masa (estado plástico), derrumbes, caídas de rocas, zonas de grietas.

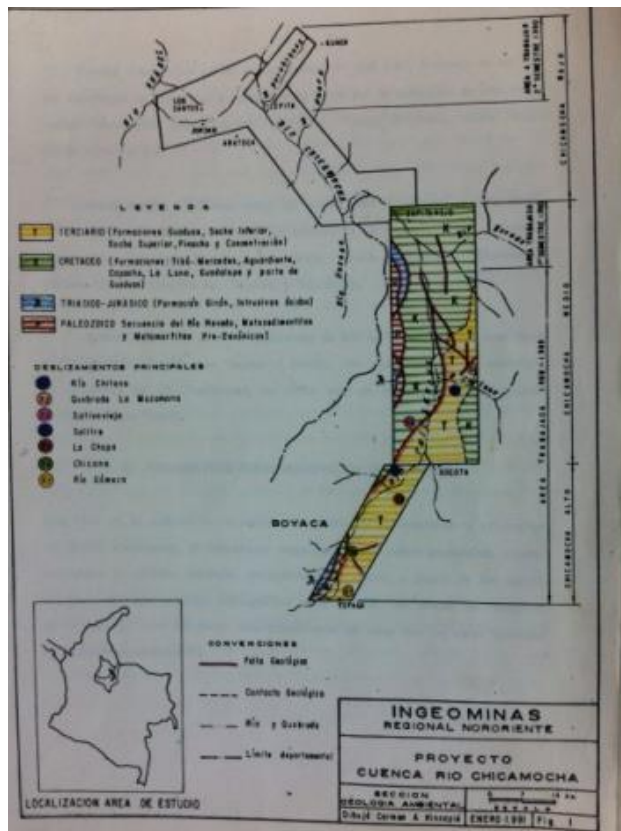
9.3.1 Inventario de eventos por inundaciones.

Dadas las condiciones topográficas del municipio de Cepita en época de invierno existe alto riesgo de inundaciones por desbordamiento del río Chicamocha o de la quebrada Perchiquez, como ya sucedió en marzo de 1.995 cuando la quebrada Perchiquez se desbordo debido a las altas fluctuaciones de precipitación que superaron los 300mm/mes, causando graves daños a la población. La microcuenca oeste se encuentra en riesgo medio de inundaciones debido a que no presenta zonas representativas inundables por el río Chicamocha, ni poblaciones que se puedan ver afectadas.

El río Chicamocha sigue una trayectoria más o menos rectilínea en sentido sureste-noroeste en su tramo medio, entre las poblaciones de Ricaurte y Pescadero, debido a que su cauce va encajonado a lo largo de la falla geológica de Bucaramanga; pero

luego, al abandonar la línea de la falla, hace un giro súbito de 120° al suroeste y poco más adelante gira hacia el noroeste, hasta que se enrumba finalmente hacia el oeste para descender al valle del Magdalena. En este tramo sinuoso confluyen otros cañones igualmente escarpados, como los de los ríos Zapatoca y Suárez y las quebradas Perchiquez y Umpala. En el mapa de susceptibilidad a fenómenos erosivos y de remoción en masa en la Cuenca del Río Chicamocha- Santander Vargas G, Carrillo E, Castro E y Ibáñez D (1993), proyecto Cuenca Río Chicamocha de Ingeominas se observa las tres subdivisiones que se hacen del trayecto del río nominadas Chicamocha Alto, Medio y Bajo, mostrando el riesgo de inundaciones del río Chicamocha localizados principalmente en los tramos medio y alto.

Imagen No. 5 Mapa riesgo de inundación Río Chicamocha

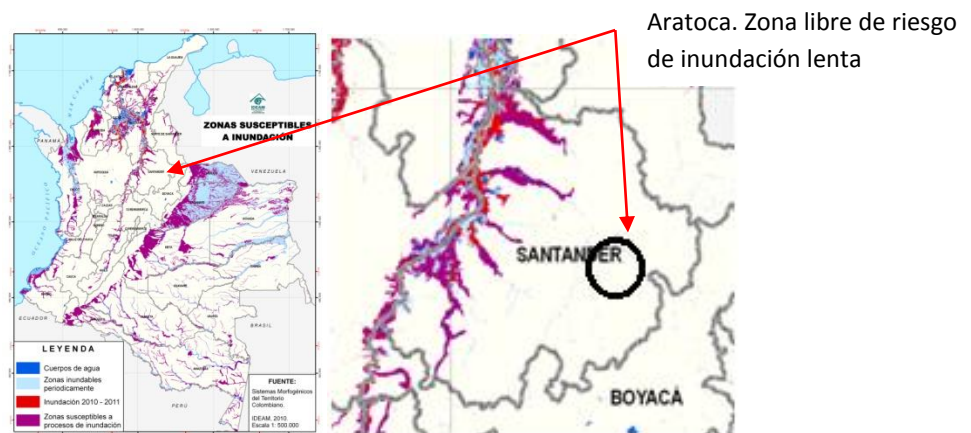


Fuente: Servicio Geológico Colombiano

9.3.2 Inundaciones lentas o progresivas.

Las zonas identificadas en Colombia como inundables con procesos de inundación lenta están asociadas a las grandes llanuras que son recorridas por los principales ríos, en el mapa se observa que en el área específica de Santander no existe este riesgo.

Imagen No. 6. Mapa susceptibilidad de inundaciones



Fuente. Google. SIAC.

9.3.3 Movimientos de remoción en masa.

En esta parte se hace énfasis en los principales procesos que involucran inestabilidad geológica, teniendo en cuenta la morfometría, geomorfología, morfodinámica, erosión, uso del suelo, densidad de drenajes, clima y relieve interno.

En el área de Aratoca, específicamente en el cañón del Chicamocha existen diferentes formas de remoción en masa, asociados a la naturaleza y materiales que conforman el suelo, el grado de infiltración y las lluvias. Los procesos más frecuentes de son los deslizamientos, las caídas, el golpe de cuchara y los flujos de tierra entre otros.

9.3.4. Deslizamientos.

Son movimientos del terreno con una superficie de ruptura bien definida, la cual separa el material rocoso de la masa movida. Las principales características son: una cicatriz de arranque, una parte deprimida y un sector inferior prominente debido a la acumulación caótica de material. Los deslizamientos de mayor extensión en el municipio se presentan sobre el margen Oriental del río Chicamocha.

Fotografías No. 13 y 14. Deslizamientos. Cañón del Chicamocha.



Fuente: Datos de Estudio

9.3.5. Caídas.

Se originan por el desprendimiento, desplome y derrumbe de roca o suelo, rápido o extremadamente rápido por diversas razones tales como empuje hidrostático o erosión diferencial entre otras. Se presentan con mayor fuerza en las zonas aledañas a los cañones de los ríos Chicamocha, EOT Municipio de los Santos. Documento de Diagnostico - Componente Físico – Biótico

9.3.6 Golpe de Cuchara.

Es una forma de flujo que se presenta con frecuencia en pendientes fuertes y amplias, esta característica es generalizada en toda la extensión del área de estudio, se debe a la presencia de agua en las laderas, la cual satura los materiales y hace que se desplacen, dejando una cicatriz cóncava en forma de cuchara, de donde proviene su nombre.

Fotografía. 15 y 16. Golpe de Cuchara. Cañón del Chicamocha.



Fuente: Datos de Estudio

9.3.7 Flujos de tierra.

Se caracterizan por la velocidad relativamente baja y por desarrollarse sobre material proveniente de meteorización, pierde la estabilidad estructural por efecto del agua, originando desplazamientos con formas alargadas, lobuladas en su extremo inferior. Se presentan en la mayoría de laderas del área del cañón del Chicamocha. CDMB (2009) Estudio Básico Para La Declaratoria de un Área Natural Protegida En El Cañón del Chicamocha.

Fotografía 17 y 18 Flujos de Tierra



Fuente: Datos de Estudio.

9.3.8 Derrubios rocosos.

Se ubican al pie de los escarpes y laderas muy empinadas y prácticamente desprovistas de vegetación. Son desprendimientos de los escarpes en caída libre o rodando cuesta abajo, que van formando aglomerados de bloques sueltos que adoptan una forma cónica, por lo que en ocasiones se les denomina conos de derrubios. En el área de estudio son bastante comunes en las zonas de pendientes fuertes, y es posible encontrarlos a lo largo de su extensión.

Fotografías No. 19 y 20 Derrubios Rocosos.



Fuente: Datos de Estudio

10 GEOLOGIA REGIONAL

La geología regional y las formas del paisaje corresponden a una secuencia de eventos geológicos desarrollados desde el periodo Precámbrico. La columna estratigráfica de la zona está compuesta por el Gneis de Bucaramanga, siendo esta la formación más antigua originada de los procesos de metamorfismo y plutonismo del basamento cristalino, posteriormente en el devónico se produjo un levantamiento y un fenómeno de erosión, que favorecieron las condiciones para la depositación y consolidación de la formación Silgara. Suprayaciendo a estas, las Formaciones Floresta y Diamante

Continuando la secuencia cronológica El Triásico y Jurásico están representados por las Cuarzomonzonitas de La Corcova, Santa Bárbara y por el Granito de Pescadero, originadas por eventos significativos de volcanismo e intrusiones; por procesos de erosión y depositación en ambientes continentales se dio origen a las formaciones Girón y Jordán.

Por aquella época el “megaterreno ancestral” comenzó a fraccionarse, teniendo como límite los sistemas de fallas N-NE y NW-SE, cuyo elemento principal es la falla de Bucaramanga - Santa Marta, resultado de lo cual algunas áreas empezaron a hundirse, lo que marcó el inicio del proceso de formación de cuencas en lo que hoy son los valles medios del Magdalena y del Cesar.

Durante el periodo Cretácico (120 m. a.) ocurrió un avance del mar hacia el continente, lo que produjo la inundación de la mayor parte de lo que hoy es la cordillera Oriental y por procesos de depositación se originan las formaciones Tambor, Rosa blanca, Paja, Tablazo y Simiti. Después empezó el retroceso del mar durante el Cretácico superior y comienzos del Terciario (65 m. a.), en forma paralela ocurrió el levantamiento del Macizo de Santander, al oriente de la falla de Bucaramanga.

La fase más contundente de levantamiento de la cordillera Oriental, y la erosión de la mayor parte de las rocas sedimentarias del Macizo de Santander y de la zona de mesas de Barichara, Villanueva, Los Santos, Ruitoque y Lebrija ocurrió Durante el Oligoceno y Mioceno

Para terminar esta serie de eventos en el Plioceno y Pleistoceno sobrevino una nueva fase de levantamiento, meteorización, erosión, transporte y depositación de sedimentos, que son condicionantes del paisaje formado.

TABLA No. 3. GEOLOGIA REGIONAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

FORMACION	EDAD	LITOLOGIA
Gneis de Bucaramanga (PEb) Nombre que fue utilizado por Goldsmith, 1971 y posteriormente propuesto por Ward et al. 1973, Citado por Royero y Clavijo et al. 2001:15.	Proterozoico superior	Secuencia estratificada de rocas metamórficas de alto grado de metamorfismo que contiene gran cantidad de paraneis pelítico y semipelítico, arenas, esquistos y niveles subordinados de gneis calcáreo
		Secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas del Devónico Inferior, integrada por pizarras, filitas, metalimolitas filíticas,

<p>Formación Silgara (PDs) Nombre propuesto por Ward et al. 1973, citado por Royero y Clavijo et al. 2001:17.</p>	<p>Cámbrico al Ordovícico</p>	<p>esquistos moscovíticos plateados y en menor proporción meta-areniscas de grano medio a fino, y compuesta por cuarzo, feldespatos, moscovita clorita y minerales de arcilla; estas rocas presentan foliaciones paralelas que conforman estructuras en capas delgadas, con fuerte plegamiento</p>
<p>Cuarzomonzonita de La Corcova (JRcl)</p>		<p>Corresponde a un cuarzo-monzonita gris de grano fino a medio, textura fanérita y aspecto sacaroide, que conforma la masa principal del Plutón de La Corcova, el cual fue intruido en algún lapso de tiempo entre el Triásico y el Jurásico. Su composición es de cuarzo, feldespato, biotita uniformemente diseminada y trazas de moscovita.</p>

<p>Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (JRcs)</p>		<p>Constituida por una cuarzomonzonita biotítica de grano grueso que forma la masa principal del Batolito de Santa Bárbara, que intruye rocas de formaciones más antiguas. Su composición es de feldespato potásico rosado, naranja y rojo, plagioclasas blanca, cuarzo gris y algo de biotita; es de grano grueso y cristales de feldespato</p>
<p>Granito de Pescadero (JRgp) Royero y Clavijo (200), mencionando a WARD (1973)</p>	<p>Roca ígnea intruída entre el Triásico y el Jurásico</p>	<p>Granito leucocrático, de grano fino de textura porfírica a fanérita, con presencia de algunos diques de grano muy grueso tipo pegmatita y otros de grano muy fino de tipo riolita; su color es rosado a naranja debido a la riqueza de feldespato potásico rosado, cuarzo y mica biotita; la pegmatita contiene moscovita en láminas grandes</p>

<p>Formación Girón (Jg) por Hettner (1892) Trumpy (1943) Royero y Clavijo (2001)</p>	<p>Jurásico superior - Cretácico inferior (Pons, 1982)</p>	<p>Compuesta por rocas sedimentarias del periodo Jurásico, correspondientes a areniscas rojizas conglomeráticas de grano medio a grueso, en capas hasta de 4 m de espesor, y conglomerados de guijos y guijarros de cuarzo, intercalados con niveles de limolitas y lodolitas pardo rojizas, y arcillolitas limosas de color gris, gris verdoso y moteadas. Aunque su mineral principal es el cuarzo, en areniscas y conglomerados cuarzosos, también integra algo de feldespatos y lodolitas de cuarzo y feldespato.</p>
<p>Formación Tambor (Kita)</p>	<p>Berriasiano (Cediel, 1968; Etayo y Rodríguez, 1985)</p>	<p>Rocas sedimentarias del Cretácico Inferior, de origen transicional entre continental y marino; está constituida por areniscas blancas de grano medio a grueso, cuarzosas, friables en algunos sectores, moderada a bien cementadas, en estratos de hasta 3 m, con escasa matriz arcillosa, e</p>

		<p>intercaladas con limolitas y lodolitas pardo rojizas. En algunos sectores las areniscas son ligeramente conglomeraticas y se encuentran intercaladas con delgados niveles de arcillolitas.</p>
<p>Aluviones Torrenciales (Qal) Castro E (2008)</p>		<p>Depósitos de aportes laterales y longitudinales provenientes de las vertientes, identificados por la ausencia de estratificación en bandas o selección del material acumulado durante los aportes de las aguas torrenciales, las cuales acarrear los fragmentos de mayor diámetro por efecto de la gravedad y la escorrentía difusa</p>
<p>Depósitos Aluviales de Terrazas Bajas, Medias y Abanicos (Qt) Castro E (2008)</p>		<p>Corresponden a gravas de guijarros, cantos y bloques con matriz arenolimoso a lodoarenosa, de clastos bien redondeados, bien gradados (mal seleccionados), clasto soportado, con desarrollo incipiente de estratificación, intercalados con delgados</p>

		niveles de arcillas y arenas. Su composición es polimictica, es decir, clastos de composición diversa como fragmentos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, la matriz arenosa es de cuarzo, alto porcentaje de líticos y feldespatos
<p align="center">Conos de Deyección y Talud de Derrubios (Qcd)</p>		Corresponde a los conos que se presentan principalmente en las cuencas bajas de los ríos Umpala y Manco, integrados básicamente por depósitos de gravas angulares clasto soportadas, bastante carentes de matriz y sueltos.

Fuente: Memoria Planchas 120,121, 135 y 136

Del servicio Geológico Colombiano

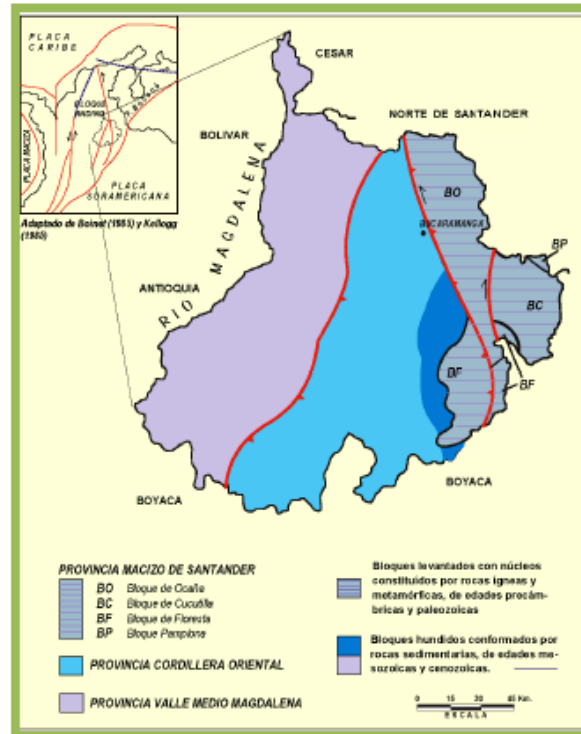
11 TECTONICA

El nororiente colombiano de los Andes es un territorio geológicamente complejo y Tectónicamente dinámico; su conformación está relacionada con la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica. Por encontrarse dentro de este dominio, el área de Santander despierta gran interés y genera discusiones sobre su origen y su conformación geológica.

Según el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia (Etayo, 1983) citado en el artículo Dimensión Biofísica ambiental del macizo de Santander, el territorio del Departamento de Santander forma parte del “supraterreno de la cordillera oriental”

y la provincia tectónica del valle medio del Magdalena (Payandé), Floresta y de Santander.

Imagen No. 7. Esquema tectónico del departamento de Santander.

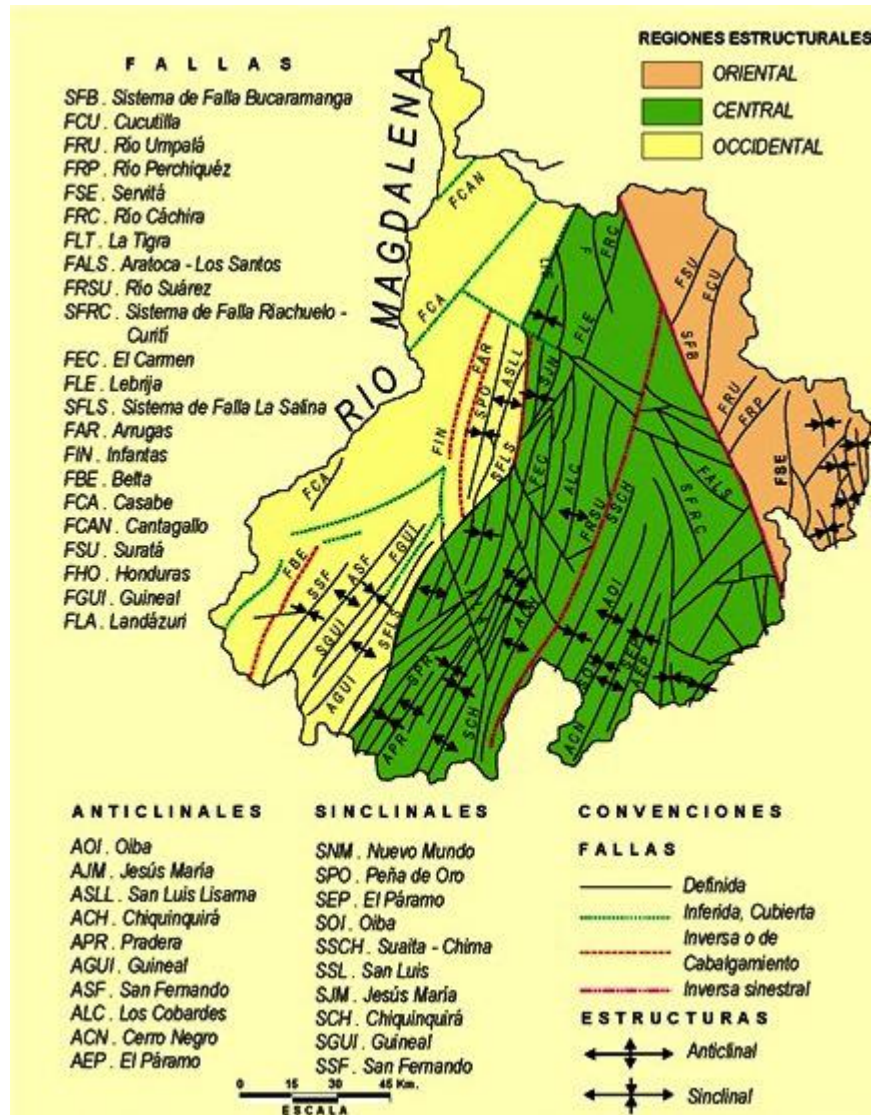


Fuente: Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander.

INGEOMINAS

En la imagen se identifica que en el área de estudio se localizan los bloques levantados con núcleos constituidos por rocas ígneas y metamórficas de edades precámbricas y paleozoicas

Imagen No. 8. Esquema estructural del departamento de Santander



Fuente: Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander.

INGEOMINAS

El aspecto de mayor relevancia es la falla Bucaramanga-Santa Marta, la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al Gneis de Bucaramanga, es decir, se encuentra cortado por esta falla que por los periodos del cretácico inferior hasta el paleoceno no reporto actividad tectónica. La importancia

de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento de rumbo sinistral, el cual ocurrió a partir del mioceno superior, simultáneamente con la orogenia Andina. Igualmente se han encontrado evidencias de actividad neotectónica (lineamiento, facetas triangulares, lomos de ganchos, drenajes adaptados, laguna de falla, lomo de obturación) de la falla Bucaramanga-Santa Marta, especialmente en la meseta de Bucaramanga que afecta los niveles inferiores de la secuencia estratigráfica de edad plioceno-pleistoceno; en el cañón del río Chicamocha se han realizado hallazgos como drenaje desplazado, terraza basculada, cantos rotos y lomo de obturación que son evidencia de la misma. Existen otras fallas que son las del Río Perchiquez y la de Cepita; lo cual indica la alta susceptibilidad a la actividad sísmica

11.1. TECTÓNICA LOCAL

En el área de estudio se evidencian 4 fallas Locales de tipo Normal las cuales fueron referenciadas en el mapa geológico, y denominadas de la siguiente manera:

- **FALLA DE LOS CACAOS:** por su cercanía a la quebrada que lleva el mismo nombre, esta falla pasa por el punto de coordenadas E: 1.120.564 y N: 1.239.743 con una altura de 793 msnm con un rumbo N-E
- **FALLA DE LOS HIGUERONES:** Bordea la Quebrada que lleva el mismo nombre, presenta un rumbo N-W, uno de los puntos de esta falla se encuentra en las coordenadas E: 1.119.379 y N: 1.243.103 a una altura de 1.030 msnm.
- **FALLA LA TINTA:** Bordea la Quebrada La Tinta, presenta una dirección de Rumbo N-W, un punto de esta falla se encuentra localizado en las coordenadas E: 1.115.260 y N: 1.240.125 con una altura de 550 m.s.n.m.

- **FALLA LA COLORADA:** Se encuentra bordeando la quebrada del mismo nombre, se evidencia en el punto de coordenadas E: 1.121.040 y N: 1.240.511 con una altura de 900 msnm y tiene una dirección de rumbo E-NE

Esta mención se hace por los autores del presente estudio

11.2 Fallas y Plegamientos.

En esta región del Macizo de Santander, predomina un sistema de fallamiento en bloques, de rumbo Norte-Sur a Noreste y un sector de pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, ubicados en el extremo más oriental del departamento. Se destacan principalmente de noroccidente a suroriente la falla de Bucaramanga – Santa Marta. SFB y una falla menor denominada falla Aratoca - Los Santos FALS

➤ Falla de Bucaramanga-Santa Marta.

Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Royero y Clavijo (2001) referenciando a Campbell, (1965); León, (1991); Vargas y Niño (1992); Clavijo, (1993); Clavijo, (1994), mencionan que esta falla es considerada un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz, (1969, 1974) en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento Boinet, (1985).

La historia geológica de la Falla Bucaramanga-Santa Marta es bastante compleja y en cuanto a la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al Neis de Bucaramanga; es decir, se encuentra cortado por esta falla en los sectores entre Río de Oro (Cesar) y El Carmen (Norte de Santander). Boinet,

(1989) citado por Royero y Clavijo (2001) considera que durante el Cretácico inferior hasta el Paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla; además los mismos autores, señalan que la importancia de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento de rumbo sinistral, el cual ocurrió a partir del Mioceno superior, simultáneamente con la Orogenia Andina.

En el territorio del Departamento de Santander se han encontrado evidencias de actividad neotectónica (lineamiento, facetas triangulares, lomos de ganchos, drenajes adaptados, laguna de falla, lomo de obturación) de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, especialmente en la Meseta de Bucaramanga (donde afecta los niveles inferiores de la secuencia estratigráfica) de edad Plioceno-Pleistoceno, según Julivert (1963), París y Sarria (1988), León (1992), Vargas y Niño (1992), Reyes y Barbosa (1993). Referenciados por Royero y Clavijo (2001)

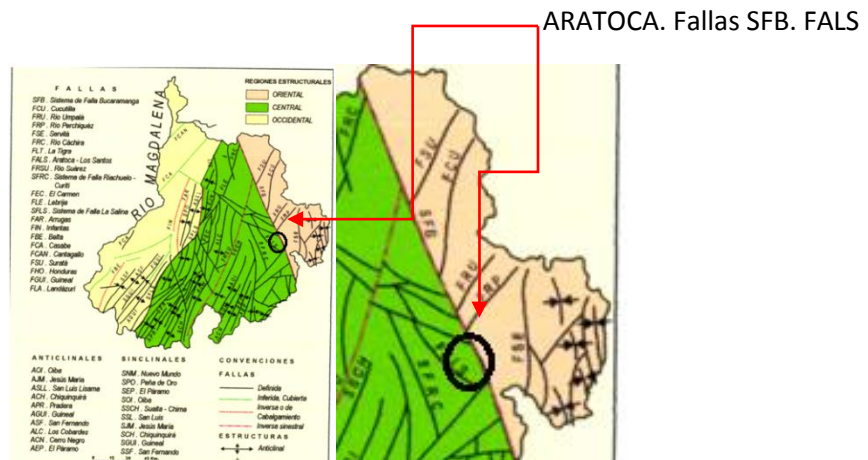
En el Cañón del Río Chicamocha también se han encontrado evidencias de neotectónica de esta falla (drenaje desplazado, terraza basculada, cantos rotos, lomo de obturación), según Castro y Bernal (1992) y Carrillo y Bernal (1992). *Ibíd.* (2001).

➤ Falla Los Santos Aratoca.

Corresponde a dos fallas de dirección general Noroeste. La primera (los Santos) atraviesa el área de la mesa de los santos, alineando el patrón de drenaje principal que es la quebrada Los Santos; la otra falla la de Aratoca evidencia ser la continuación de la anterior, probablemente desplazada por otras fallas de dirección perpendicular a ella en la zona del río Chicamocha. La de Aratoca es una falla inversa de alto ángulo que levanta el bloque oriental donde se ubica la formación Silgará y la pone en contacto con las rocas de la formación Jordán y Girón. El desplazamiento vertical de esta estructura no se ha calculado pero puede superar los 100 m. desplazamiento significativo que ha generado un valle profundo donde

se ubica la población de Aratoaca; hacia la parte occidental se observa una relativa tranquilidad tectónica reflejada en un suave basculamiento hacia el occidente de la cobertura sedimentaria.

Imagen No 9. Esquema de Fallas y plegamientos



Fuente Memoria explicativa 2001. Ingeominas.

11.3 Amenazas sísmicas.

Según la Red Sismológica Nacional de Colombia del servicio Geológico Colombiano, La historia del país registra más de un centenar de sismos destructores, ubicados principalmente en la región andina, el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental y el Océano Pacífico, y con menor frecuencia en el Caribe.

Por otra parte explica que las extensas fallas que delimitan las cadenas montañosas, y las zonas de convergencia de placas litosféricas que se hallan en el territorio colombiano, muestran también evidencias de actividad sísmica en el pasado geológico reciente, sugiriendo posible zonas de generación de sismos. Es esta historia de la actividad pasada la que permite construir un modelo de la

probable actividad futura, que se representa en los mapas de amenaza sísmica de Colombia.

El mapa de amenaza sísmica representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia. El movimiento del terreno se calcula en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA), y se estima para probabilidades del 2%, 10% o 50% de ser sobrepasado en un tiempo de 50 años. Estas probabilidades se asocian con la frecuencia de ocurrencia (o periodo de retorno) de los sismos potencialmente destructores: de ocurrencia excepcional (periodo de retorno de 2475 años), frecuentes (periodo de retorno de 475 años) o muy frecuentes (periodo de retorno de 75 años).

De acuerdo a la escala presentada por la Red Sismológica Nacional de Colombia del servicio Geológico Colombiano, Para el municipio de Aratoca el PGA en (cm/s^2) se encuentra entre 100 y 150 / 700 esto indica que entre mayor es este valor, mayor es el daño probable que puede causar un sismo, por tanto los riesgos descritos en el mapa de riesgo para Aratoca es medio – alto.

Imagen No. 10 Sismicidad área de estudio.



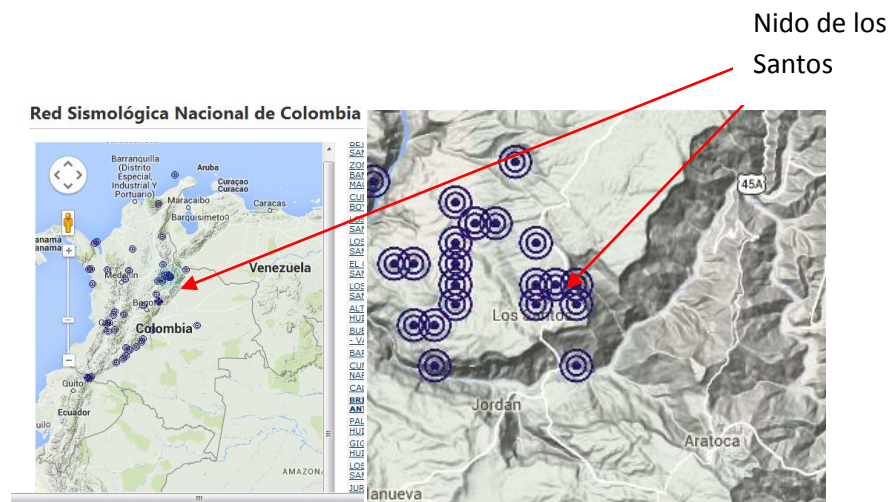
Fuente Servicio Geológico Colombiano.

De acuerdo con lo descrito anteriormente el riesgo de amenaza sísmica es medio – alto por encontrarse dentro del nido sísmico de Bucaramanga y Los Santos.

La localización de los sismos está entre los -72,934 y 73,068 grados de Longitud con una latitud que varía entre los 7,53 y 6,625 grados.

Con respecto a la magnitud, revisando los últimos 20 años de la actividad sísmológica para el municipio de Aratocha se encontró que se han presentado alrededor de 642 movimientos sísmicos cuyas magnitudes oscilan entre un mínimo 0,9 hasta un máximo de 4,8 de acuerdo a las escalas internacionales; por su parte la profundidad de los sismos va desde 0 hasta un máximo de 181,3 km. Con respecto a las afectaciones, no se encontró una referencia específica, aunque es de anotar que por su baja magnitud (de acuerdo a las normas de clasificación internacional) la afectación debió ser mínima.

Imagen No. 11. Esquema Nido Sísmico los Santos.



Fuente Servicio Geológico Colombiano.

12 GEOLOGÍA LOCAL (descripción en campo de las formaciones encontradas)

El área de estudio se encuentra ubicada en el límite convergente de las placas Suramericana y la del pacífico, presenta una alta actividad de metamorfismo regional en la litología de la zona. Por esta razón la litología predominante corresponde básicamente a esquistos de la formación Silgara.

Rocas correspondientes al Paleozoico Inferior, principalmente compuestas por rocas metapelíticas e intercalaciones de rocas máficas que forman parte del basamento metamórfico. De estas rocas se tomaron muestras de mano de tamaño aproximado puño, para descripción macroscópica nombradas m1, m2, m3 y en consecutivo para las demás

Muestra numero 1

Nombre: Esquisto cuarzo moscovítico blanco con bajo grado de metamorfismo

Color: Gris Claro Azulado (Gley 2 7/10B según la clasificación de color MUNSELL SOIL COLOR CHARTS)

Características:

Roca metamórfica foliada con cristales de cuarzo y moscovita, baja porosidad y baja permeabilidad, muy competente, inequigranular, con una dureza en la Escala de Mohs aproximada de 5 a 7 por su variación en la composición

Fotografías No. 21 y 22 Esquisto cuarzo moscovítico blanco con bajo grado de metamorfismo



Fuente: Datos de estudio

Tabla No. 4 Coordenadas de los puntos donde se encuentran las muestras

Este	Norte	Altura m.s.n.m
1.119.523	1.243.948	1.117
1.120.498	1.240.663	936

Fuente: Datos de Estudio

Muestra numero 2

Nombre: Esquisto cuarzo moscovítico, clorítico, sericitico, con Estauroлита

Color: Gris verdoso a plateado (Gley 1 6/10GY según la clasificación de color MUNSELL SOIL COLOR CHARTS)

El color característico verde, se debe a la presencia de clorita y el plateado a la moscovita, presenta un brillo nacarado.

Características

Roca metamórfica. El esquisto verde es un producto típico de metamorfismo de bajo grado, tiene propiedades de porosidad y permeabilidad primarias bajas, para la simbología se estableció como PDs-1

Fotografía No. 23 y 24. Esquisto cuarzo moscovítico clorítico sericitico, Estauroлита



Fuente: Datos de Estudio

Tabla No. 5 Coordenadas de los puntos donde se encuentran las muestras

Este	Norte	Altura (msnm)
1.120.827	1.239.585	688
1.119.720	1.241.292	947
1.120.942	1.239.046	643
1.116.670	1.242.670	542

Fuente: Datos de Estudio.

Muestra numero 3

Nombre: Esquisto cuarzo moscovítico con Granate

Color: Café rojizo (5 YR 5/3 Según la clasificación de color MUNSELL SOIL COLOR CHARTS)

Características

Dureza en la Escala de Mohs aproximada de 5 a 6 por su variación en la composición y por presentar un moderado grado de metamorfismo, para la simbología en el mapa y corte geológicos se estableció como PDs-2

Fotografía No. 25 y 26 Esquisto cuarzo moscovítico con Granate



Fuente: Datos de Estudio

Tabla No. 6 Coordenadas de los puntos donde se encuentran las muestras

Este	Norte	Altura (msnm)
1.119.521	1.242.667	1.056
1.119.156	1.244.088	1.144
1.119.025	1.244.362	1.107

Fuente: Datos de Estudio

Muestra numero 4

Nombre: Riolita

Color: Rosa (7.5 YR 7/4 según la clasificación de color MUNSELL SOIL COLOR CHARTS)

Características

Roca ígnea extrusiva, félsica, presenta en su composición vidrio volcánico debido a su limitado proceso de cristalización, feldespatos potásicos, sanidina y su textura corresponde a pórfiro micro-afanítica. El Granito es de color rosado naranja, de grano fino a muy fino, equigranular a ligeramente porfirítico; está compuesto de plagioclasa (albita), ortoclasa, micropertita y cuarzo en cantidades casi iguales; los accesorios son óxidos de hierro y moscovita. La cuarzomonzonita es rosada a gris clara, de grano medio, equigranular a subporfirítica, compuesta de cuarzo gris, plagioclasa blanca y feldespato potásico en cantidades más o menos iguales. El

feldespato potásico es micropertita y localmente presenta variaciones a granodiorita.

Fotografía No. 27. Riolita



Fuente: Datos de Estudio

Tabla No. 7 Coordenadas de los puntos donde se encuentran las muestras

Este	Norte	Altura (msnm)
1.120.991	1.240.234	819
1.120.943	1.240.178	822
1.120.932	1.239.090	654

Fuente: Datos de Estudio

Muestra numero 5

Nombre: Cuarcita

Color: Blanco

Características

Se presenta como vetas en los esquistos, en ciertos lugares supera los 80 cm de espesor, de grano medio a fino, constituida esencialmente por cuarzo (más del 80 %). Por esto su dureza es de 7 en la escala de Mohs; Su protolito es rocas sedimentarias detríticas ricas en cuarzo. Masivas, sin foliación marcada y textura granoblástica deformada la cuarcita al estar compuesta

Fotografía No. 28 Cuarzita



Fuente: Datos de estudio

Tabla No. 8 Coordenadas de los puntos donde se encuentran las muestras

Este	Norte	Altura (msnm)
1.119.700	1.241.134	943
1.119.156	1.244.088	1.144
1.116.670	1.242.670	542

Fuente: Datos de estudio.

Muestra numero 6

Nombre: Pirolusita dendrítica

Color: Blanco con dendritas negras

Características

La pirolusita es un mineral de la clase de los óxidos y del grupo del rutilo. Químicamente es dióxido de manganeso, con hábito dendrítico

Fotografía No. 29. Pirolusita dendrítica



Fuente: Datos de Estudio

Tabla No. 9 Coordenadas de los puntos donde se encuentran las muestras

Este	Norte	Altura (msnm)
1.121.158	1.240.354	822

Fuente: Datos de Estudio.

12.1 PLAN DE TRABAJO

El levantamiento geológico del área de estudio, para la realización del mapa correspondiente a escala 1:10,000, se realizó haciendo el recorrido de la vía donde se observa el macizo expuesto, lo que permite un acceso directo a la geología de la zona y una identificación detallada de los afloramientos y litologías presentes, descritas a continuación:

12.1.1. RECORRIDO DESDE LA VÍA PRINCIPAL DE ARATOCA HASTA EL MUNICIPIO DE CEPITÁ

Desde las coordenadas

E: 1.119.134

N: 1.244.151

H: 1140 m.s.n.m.

Hasta las coordenadas

E: 1.121.606

N: 1.238.705

H: 686 m.s.n.m.

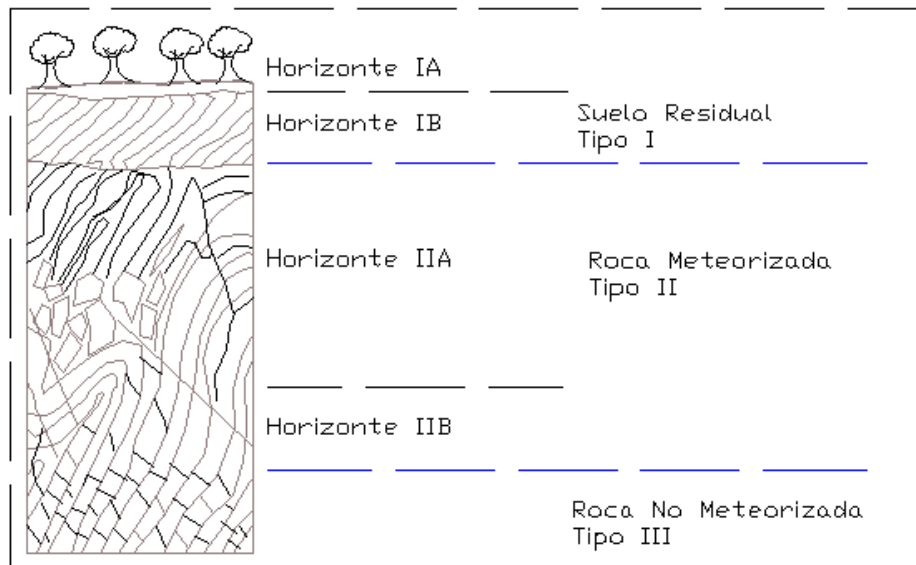
La litología predominante en la zona de estudio corresponde a rocas metamórficas en diferentes grados de la Formación Silgara, con intrusiones recurrentes de rocas ígneas del granito de pescadero. Se presentan perfiles de meteorización en consecuencia del intemperismo al que han sido expuestas en su parte superficial, y se presentan en espesores variables, producto de factores como el clima y la litología. La acción de agentes de meteorización en las rocas que conforman estas formaciones, producen alteraciones físicas y mecánicas produciendo un cambio en la composición y comportamiento mecánico. De igual manera se establecen tres horizontes correspondientes a roca sana, roca meteorizada y suelo residual formando gruesos perfiles de material arcilloso a arcillolimoso, de color amarillo a rojizo.

Fotografías no. 30 y 31. Evidencia del fuerte proceso de erosión



Fuente: Datos de estudio

Imagen No. 12. Perfil de meteorización



Fuente: Perfil de meteorización propuesto por Deere y Patton (1971).

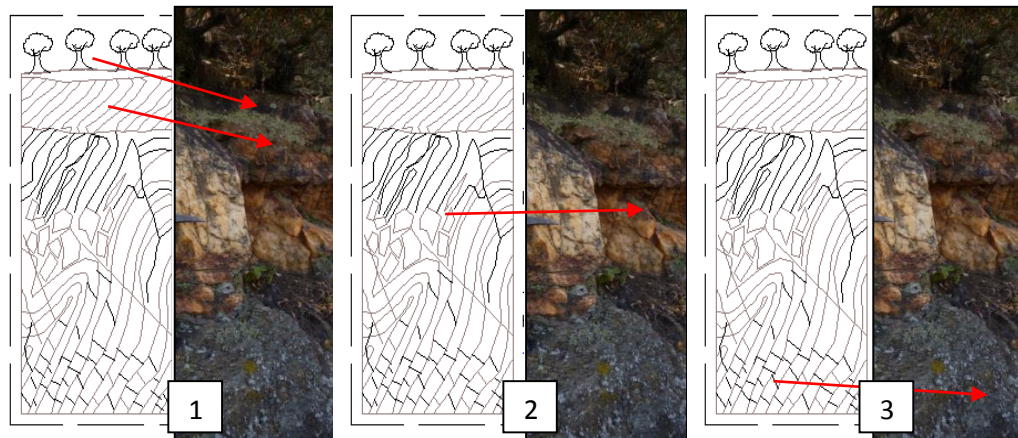


Figura 11. 1. Suelo residual, 2. Roca meteorizada 3. Roca sana. Fuente: Autores.

En todo el recorrido este es el perfil promedio encontrado en el cual varían sus espesores, todos los afloramientos están afectados por los agentes de meteorización, destacándose que presentan grados distintos de intensidad, pero mantienen la tendencia particular.

12.1.1.1. PUNTOS ESPECIFICOS DE INTERES

Punto 1

Coordenadas:

E: 1.119.523

N: 1.243.948

Altura: 1.117 MSNM

Se encuentra el macizo descubierto con un fuerte grado de meteorización y presentando diaclasas, litológicamente corresponde a un esquistos cuarzomoscovítico muy competente, particularmente en este sector la moscovita se encuentra en forma de agregados fibrosos de pequeñas escamas con brillo sedoso, en baja proporción, dado que el mineral que predomina es el cuarzo.

Fotografía No. 32. Esquisto cuarzo – moscovítico con re plegamiento



Fuente: Datos de estudio

La dirección principal de diaclasamiento de la estructura es S-E este afloramiento se extiende por 15 metros donde entra en contacto con un depósito cuaternario de bloques heterométricos que varían de 1 a 20 centímetros, compuestos principalmente por esquistos; Embebidos en una matriz limosa de color rojizo, también se evidencia un fuerte proceso de erosión en cárcavas

Punto 2

Coordenadas:

E: 1.119.978

N: 1.243.862

Altura: 1.076 MSNM

Deposito cuaternario en contacto con el esquisto cuarzo-moscovítico el cual presenta una dirección preferencial de foliación 25° N-E y la estructura formada tiene un rumbo N 50° W

Punto 3

Coordenadas:

E: 1.119.970

N: 1.243.824

Altura: 1.080 MSNM

Bocamina abandonada, donde se extraía principalmente fluorita y galena. En Santander Las mineralizaciones de fluorita son relativamente escasas, se presenta en pequeñas venas, filones y en respaldos mineralizados, donde comúnmente están asociadas con barita, cuarzo, calcita y otras veces con sulfuros de plomo y zinc. A pesar de la demanda a nivel nacional no se han efectuado estudios para descubrir nuevas reservas. En general la fluorita se obtiene mediante el proceso de separación manual de la asociación con otros minerales. La producción de fluorita en Santander en 1994 fue de 1.686 toneladas.

Punto 4

Coordenadas:

E: 1.119.622

N: 1.241.390

Altura: 967 MSNM

En el área se presenta un fenómeno de escorrentía, y un cambio recurrente en la dirección de foliación de los esquistos, también se presentan intercalaciones de cuarzo de 15 a 50 centímetros, la dirección predominante de foliación es 25° NE y un rumbo N 6° W

Fotografías no. 33 y 34. Evidencia del fenómeno de escorrentía



Fuente: Datos de estudio

Punto 5

Coordenadas:

E: 1.121.014

N: 1.240.229

Altura: 818 MSNM

Fotografías no. 35 y 36 Intrusión granito de pescadero en la Formación Silgara



Fuente: Datos de estudio

Intrusión en el esquistos moscovítico perteneciente a la formación Silgara por el Granito de Pescadero, la cual litológicamente corresponde a una Riolita, de textura afanítica, con cristales de feldespatos potásicos y sanidina.

Punto 6

Coordenadas:

E: 1.120.827

N: 1.239.585

Altura: 688 MSNM

Fotografía No. 37. Deslizamiento sobre la vía



Fuente: Datos de estudio

Se presenta un deslizamiento sobre un talud, el desprendimiento de material se observa desde la parte superior del mismo. Los fenómenos de remoción en masa son más evidentes en donde los taludes desprotegidos inestabilizan el terreno originando deslizamientos locales. En la fotografía se observa una volqueta lo que evidencia la magnitud de este deslizamiento.

12.1.2. RECORRIDO SOBRE LA VIA PRINCIPAL (PARTE SAN GIL - BUBARAMANGA)

Desde las coordenadas

E: 1.119.156

N: 1.244.088

H: 1144 m.s.n.m.

Hasta las coordenadas

E: 1.119.134

N: 1.244.151

H: 1140 m.s.n.m.

En el recorrido por la vía principal se encuentra en gran parte el macizo descubierto, el cual corresponde a rocas de la Formación Silgara, con un grado elevado de meteorización e intercalaciones frecuentes con intrusiones del granito de pescadero, esta vía cuenta con un el alto tránsito de vehículos

Fotografía No. 38 y 39 Recorrido Sobre La Vía San Gil - Bucaramanga



Fuente: Datos de estudio

Sobre la vía se localizan sectores donde las intercalaciones de cuarzo superan los 60 cm, predominan los esquistos y se encuentra altamente fracturado

Fotografías No.40 y 41 Recorrido Sobre La Vía San Gil - Bucaramanga



Fuente: Datos de estudio

12.1.2.1. RECORRIDO DESDE LA VIA PRINCIPAL HASTA LA CASA DE MAQUINAS (ARENERA CHICAMOCHA LTDA.)

Desde las coordenadas

E: 1.117.407

N: 1.243.205

H: 786 m.s.n.m.

Hasta las coordenadas

E: 1.116.546

N: 1.242.137

H: 535 m.s.n.m.

En esta área se observa principalmente depósitos cuaternarios en contacto con los esquistos de la Formación Silgara, los cuales presentan un elevado grado de meteorización y se observan tributarios al río Chicamocha los que aportan gran cantidad de sedimentos, los esquistos presentan un fuerte proceso de erosión lo que contrastado con el río de carácter trezado conforman un paisaje imponente

Fotografía No. 42. Deposito Cuaternario



Fuente: Datos de estudio

La formación silgara aflora en este sector con un alto grado de diaclasamiento, y con intercalaciones de cuarcita de 40 cm

Fotografía No. 43. Esquisto Cuarzo - Moscovítico



Fuente: Datos de estudio

En este sector se encuentra una explotación de arena aprovechando las múltiples acumulaciones de sedimentos, estas areneras suplen las necesidades para la construcción en diferentes departamentos y la extracción de la misma se realiza a mediana escala.

Fotografía No. 44. Río Chicamocha



Fuente: Datos de estudio

El río Chicamocha se origina por la confluencia del río Tuta, que nace en la población del mismo nombre y del río Jordán que nace en el occidente de Tunja;

satisface en buena parte las demandas de agua existentes a lo largo de su trayectoria, utilizada para industria, agricultura, ganadería e inclusive consumo humano en la parte alta de la cuenca, ingresa al territorio de Santander, formando el imponente cañón del Chicamocha y recibe los afluentes del río Fonce y el río Suárez, donde recibe posteriormente el nombre de río Sogamoso, y se emplea en La Central que utiliza las aguas en la generación de energía eléctrica mediante una presa de 190 m de altura y una casa de máquinas subterránea con las tres unidades de generación más grandes de Colombia.

12.1.3 CONCEPTO GEOTÉCNICO

La mayoría de los esquistos encontrados en el área de estudio son silíceos, y están relativamente sanos, por lo cual no presentan problemas especiales en túneles, los frentes regularmente son estables, las excavaciones a realizarse se pueden efectuar mecánicamente o por métodos de explosivos, y se pueden utilizar mecanismos de sostenimiento medios, dado que los empujes no tienden a aumentar con el tiempo.

13. HIDROLOGIA

13.1. ANALISIS HIDROLOGICO

El análisis hidrológico del área en estudio se realizó partiendo de la delimitación de las microcuencas, en el software IDRISI, a partir del modelo digital de elevación (DEM), con la aplicación de la herramienta Watershed. Una vez demarcadas las microcuencas se procedió a realizar el análisis morfométrico de cada una.

13.2. PARÁMETROS MORFO MÉTRICOS DE LAS MICRO CUENCAS

Determinar los parámetros cuantitativos de las microcuencas, proporciona información sobre la naturaleza y comportamiento de una cuenca.

- Parámetros Generales

13.2.1 Área de la cuenca (A)

El área de la cuenca se definió por el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Una vez demarcadas las microcuencas mediante el procesamiento del DEM en el software IDRISI, los archivos tipo raster obtenidos, se exportaron a Arcgis 9.3, para delimitar allí el polígono final de cada microcuenca, a partir de los polígonos obtenidos se delimitaron dos microcuencas principales, sus áreas se presentan a continuación:

- Área Este: 44.16 Km²
- Área Oeste: 43.29 Km²
- Área Total: 87.45 Km²

13.2.2. Longitud del cauce principal (L), perímetro (P) y ancho (W)

La longitud de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba. Además de la superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos.

13.2.3. Perímetro de la Cuenca

En cuanto al perímetro de la cuenca, informa sucintamente sobre la forma de la cuenca; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor, corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas.

13.2.4. Ancho de la Cuenca

El ancho (W) se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L); se designa por la letra W de forma que:

$$W = \frac{A}{L}$$

A= Área de la Cuenca (Km²)

L= Longitud de la Cuenca (Km)

PARAMETRO	MC. ESTE	MC. OESTE	TOTAL
Longitud Cauce Principal (Km)	8.56	7.13	15.69
Perímetro de la Cuenca (Km)	38.30	29.16	67.46
Ancho de la Cuenca (Km)	5.16	6.08	11.23

Fuente: Datos de Estudio.

13.2.5. Cotas Máximas Y Mínimas

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja (DA=HM-Hm).

Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura

- Cotas máximas y mínimas:

CUENCA ESTE:

$$DA \text{ (m.s.n.m.)} = 1650 - 600 = 1.050$$

CUENCA OESTE:

$$DA \text{ (m.s.n.m.)} = 1.950 - 500 = 1.450$$

13.2.5. Pendiente del Cauce

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

S= Pendiente media del cauce principal

ΔH = Diferencia de Cotas del cauce principal

L= Longitud del cauce principal

CUENCA ESTE

$$S = (650 - 550) / 8.56 = 12.03$$

CUENCA OESTE

$$S = (525 - 500) / 7.60 = 3.29$$

Tabla No. 10 PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA

CUENCA	MC. ESTE	MC. OESTE
AREA (Km2)	44.15	43.28
PERIMETRO (Km)	38.29	29.16
COTA MAXIMA (m.s.n.m.)	1650	1950
COTA MINIMA (m.s.n.m.)	600	500
X (m)	1121.38	1115.57
Y (m)	1240.06	1241.01
LONG. CURSO PRINCIPAL (Km)	8.31	7.60

Fuente: datos de estudio.

Pendiente media de la Cuenca:

$$m = \frac{LcxE}{A} \times 100$$

Lc= Longitud de las curvas de nivel (km)

E= Equidistancia entre curvas (Km)

A= Área de la cuenca (Km²).

M. CUENCA	Long. Curv (Km)	Área (Km ²)	Equi Dist (Km)	Pend. Media %
ESTE	527.29	44.16	0.05	59.70
OESTE	534.33	43.29	0.05	61.72

Fuente: Datos de Estudio.

13.3 PARAMETROS DE FORMA

Factor de forma de Horton (Hf)

El factor de forma según Horton expresa la relación existente entre el área de la cuenca, y un cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma. Entendiéndose como Longitud axial una línea recta que une el punto más alto de la cuenca con el punto más bajo.

$$H = \frac{A}{La^2}$$

Donde:

Hf: Factor de forma de Horton

A: Área de la cuenca en km².

La: Longitud axial en km.

Si se presenta un Índice de alargamiento (Ia) menor a 1.4, la cuenca es poco alargada; si se presenta entre 1.5 a 2.8, la cuenca es moderadamente alargada y si la cuenca presenta de 2.9 a 4.2 o mayor, la cuenca es muy alargada.

Coeficiente de Compacidad (Gravelious) K

Este valor a dimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua.

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

Clase Kc1: Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.

Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5. Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.

Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

Este se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca, con el perímetro de un círculo, que tiene la misma área de la cuenca.

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en km.

A: Área de la Cuenca en km².

Razón Circular (Miller) Rc

Miller usó una razón circular adimensional, definida como la razón del área de la cuenca al área de un círculo que tiene el mismo perímetro de la cuenca.

$$Rc = \frac{A}{Ac}$$

Donde:

Rc: Factor Razón Circular

A: Área

Ac: Área de un círculo

Los valores oscilan entre 0 y 1, y el máximo valor equivale a la unidad, lo que correspondería a una cuenca de forma circular.

De acuerdo a los parámetros de forma obtenidos de las microcuencas del área en estudio, se puede decir que:

- La microcuenca Este posee un factor de forma de 0.60 no tan cercano a 1, por lo que su capacidad para concentrar agua proveniente de lluvias se da manera lenta – media, el coeficiente de compacidad es de 1.65, su clasificación corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga, es decir que su capacidad para acumular agua proveniente de escorrentía es baja; esta zona del área en estudio, presenta baja susceptibilidad a eventos torrenciales debido a que el factor circular se encuentra muy distante de 1.
- La microcuenca Oeste presenta factor de Horton de 0.85, muy cercano a 1, lo cual implica que la concentración de agua proveniente de lluvias se da rápidamente; en cuanto al coeficiente de compacidad, su clasificación corresponde a una forma redonda a oval redonda, lo que implica que presenta una gran capacidad para almacenar volúmenes de agua significativos, provenientes de escorrentía. El factor circular $R_c = 0.64$ no se encuentra tan cercano a 1, es decir no posee similitud con un círculo por lo que no tendrá tendencia a presentar comportamiento torrencial en periodos de lluvia.

Tiempo de Concentración: Tc

Es el tiempo teórico que se demora una gota de agua desde la parte más alta de la cuenca hasta la desembocadura de la misma.

$$T_c = \left(\frac{0.870 \times L^3}{H} \right)^{0.385}$$

El tiempo de concentración es mayor en la microcuenca Este que el de la microcuenca Oeste, su valor corresponde a 0.75 horas y de 0.60 horas respectivamente, lo anterior debido a que la pendiente media de la cuenca Oeste supera el 60% por lo que el agua proveniente de lluvias tarda menos en llegar al cauce principal.

Tabla No. 11 Parámetros de Forma

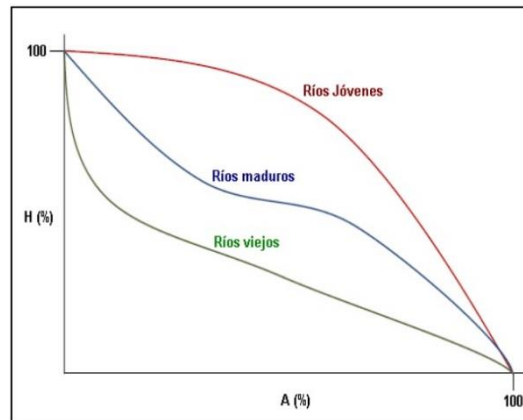
PARAMETRO FORMA	MC. ESTE	MC. OESTE
Horton Hf	0.60	0.85
Gravelious Kc	1.63	1.25
Miller Rc	0.38	0.64
Tiempo de Concentración Tc (Hrs.)	0.75	0.60

Fuente: Datos de estudio

13.4. Curva hipsométrica

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km² o en porcentaje, obtenida hasta un

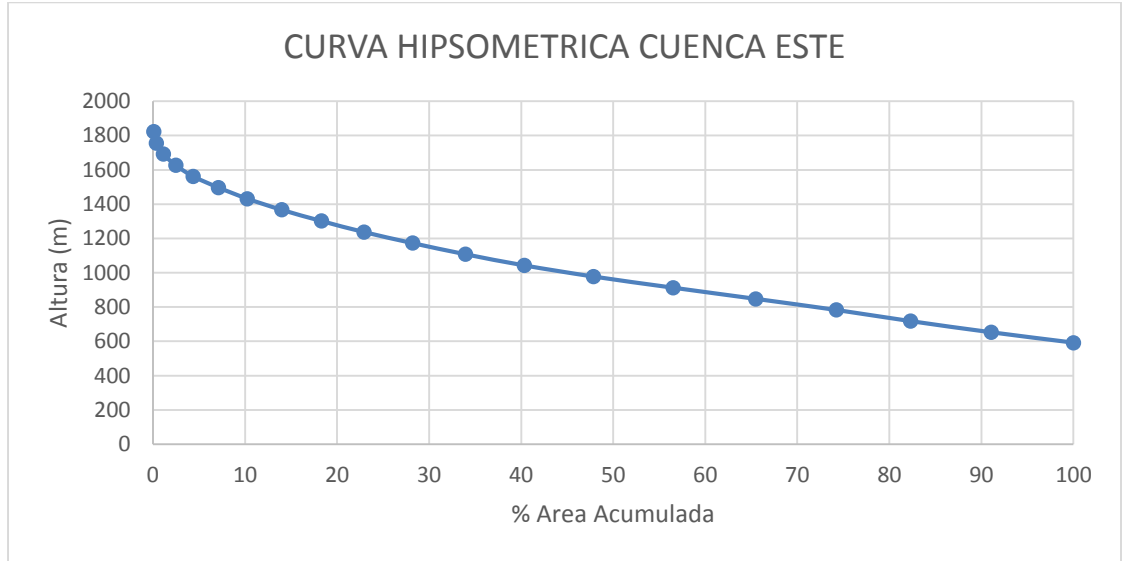
determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros. Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas. En la siguiente imagen se puede apreciar la relación entre la edad de la cuenca y la curva Hipsométrica



Fuente: Morfología de las cuencas Hidrográficas – Universidad Politécnica de Valencia.

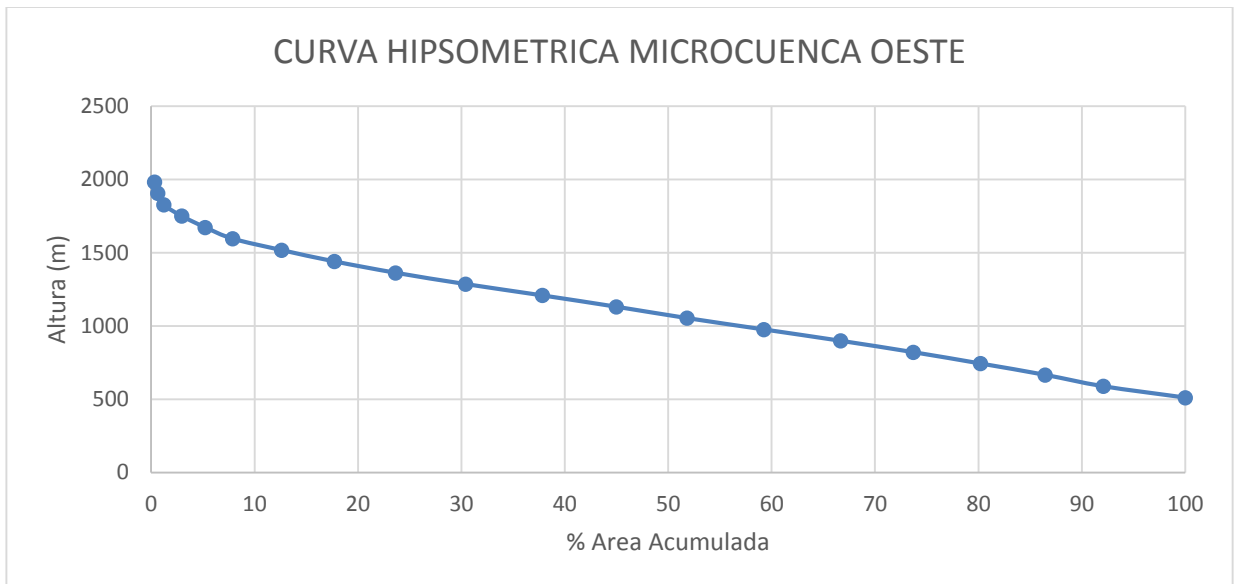
La curva hipsométrica de cada microcuenca se obtuvo con el apoyo de los programas Arcgis y Excel; en Arcgis se procesa el modelo de elevación (DEM) de cada microcuenca, aplicando la herramienta Zonal Statistics As Table, con la cual se obtiene el área entre curvas, la tabla generada, posteriormente se procesa en Excel, generando la gráfica entre las alturas y porcentaje de área acumulada; a partir de los resultados obtenidos presentados en las imágenes 13 y 14 se puede observar que cada microcuenca se encuentra en edad de madurez, debido a la forma de cada curva.

Imagen No. 13 Curva Hipsométrica Cuenca Este



Fuente: Datos de Estudio.

Imagen No. 14 Curva Hipsométrica Cuenca Oeste

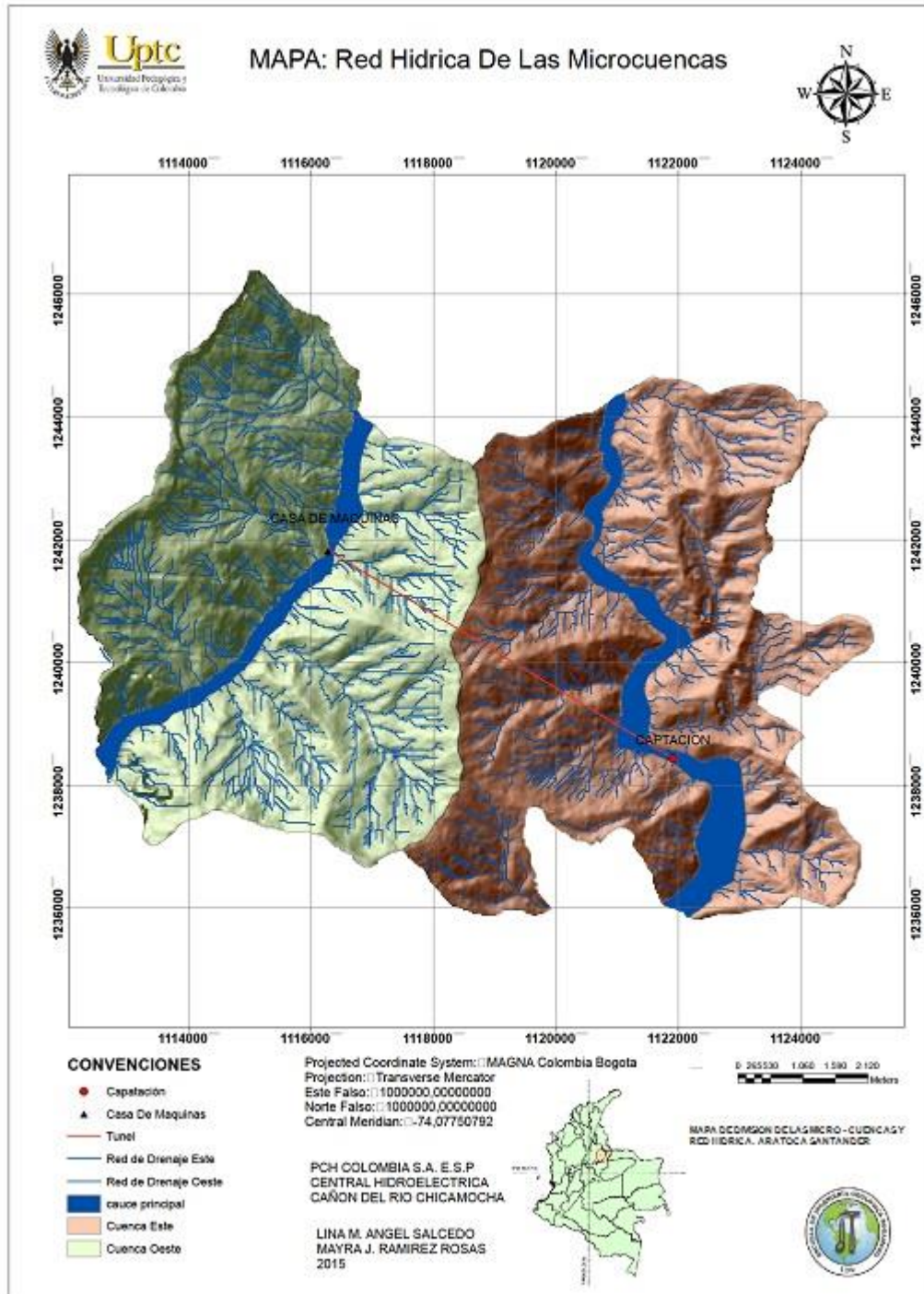


Fuente: Datos de Estudio.

14. RED HIDRICA.

La red Hídrica de cada microcuenca se demarca a partir del modelo digital de elevación (DEM) del área en estudio, en el software IDRISI, con la aplicación de la herramienta Runoff, con el archivo de tipo raster obtenido, se realiza la conversión de datos enteros a log natural con la herramienta, a partir de esto se exporta a Arcgis como una imagen formato img, la imagen o raster obtenido se evalúa con la herramienta Raster calculator, en la que se define la jerarquización de la red fluvial u orden de drenaje que se quiere observar en cada cuenca, para este caso sería de orden 3 ($\text{redidri} > 123$). La siguiente es la imagen resultado de dicho proceso, en la cual se puede apreciar que en su mayoría el patrón de drenaje del área es estudio es de tipo dendrítico, en la parte este del área se presenta un patrón de drenaje paralelo, indicando la presencia de rocas ígneas, en este caso de las correspondientes a las formaciones Granito de Pescadero rosado y Cuarzomonzonita rosado.

Imagen No 15 Red Hídrica de las Cuencas



Fuente: Datos de Estudio.

Orden de la Red Hídrica

El orden de la cuenca está dado por el orden del cauce principal

- Corrientes de primer orden: pequeños canales que no tienen tributario
 - Corrientes de segundo orden: dos corrientes de primer orden se unen
 - Corrientes de tercer orden: dos corrientes de segundo orden se unen
 - Corrientes de orden mayor a tres: dos corrientes de orden n se unen
- Entre más alto es el orden de la cuenca, indica un drenaje más eficiente que desalojará rápidamente el agua. A este orden corresponden los dos micros - cuencas, este como oeste.

Pendiente y longitud

Estos parámetros se usan para calcular la densidad hídrica

Densidad de drenaje

Es la relación entre la longitud total de las corrientes de agua de la cuenca y su área total

$$D = \frac{L}{A}$$

La densidad de drenaje para el micro - cuenca este

Tabla No. 12 RED HIDRICA.

Parámetro	MC. Este	MC. Oeste
Orden de la Red Hídrica UND	3	3
Long. Red Hídrica (Km)	249.34	294.20
Densidad de Drenaje	5.65	6.80
Densidad	Baja	Baja
Textura	Grosera	Grosera

Fuente: Datos de estudio.

15. BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA.

Para la realización del cálculo de balance hídrico superficial de la cuenca se aplicó la ecuación del método de Balance Hídrico, la cual establece los siguientes parámetros:

$$P=ETR+R+I$$

Fuente: IDEAM

P= Precipitación del área de estudio medida en mm/periodo t

ETR= Evapotranspiración Real

R= Escorrentía Superficial

I= Infiltración

La fórmula general que se utiliza en el balance hidrológico es la siguiente:

$$P-ETR=R+I;$$

Fuente: IDEAM

Después de realizado el balance se obtiene alguno de los siguientes resultados:

Si:

$P > ETP$ = El sistema presenta un superávit de Agua

$P < ETP$ = El sistema presenta un déficit de Agua.

$P = ETP$ = El sistema se encuentra en equilibrio hídrico.

15.1 PRECIPITACIÓN:

La medida de la precipitación del área de estudio se hizo a través de las estaciones meteorológicas del IDEAM a continuación descritas:

Tabla No. 13 Ubicación Estaciones de Precipitación Área de Estudio

ESTACIONES DE PRECIPITACIONES			
ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
CEPITA	6°45'11" N	72°58'30" W	600 m
LA MESA	6°45'33" N	73° 5'34" W	1460 m
MOLAGAVITA	6°40' N	72°48' W	2150 m
LA FUENTE	6°42' N	73°16' W	815 m
PIEDRECUESTA GJA	6°79' N	-73.04' W	1000 m

Fuente: IDEAM – Datos de Estudio

Precipitación media de la zona de estudio.

La precipitación promedio sobre un área puede determinarse a partir de los siguientes métodos:

- Método de la media aritmética.
- Método de las Isoyetas.
- Método de los polígonos de Thiessen

Para calcular la precipitación de la zona de estudio se emplearon los métodos de la media aritmética y de las Isoyetas.

Método de la media aritmética. Es el método más simple de obtener la precipitación promedio. Consiste en la suma de los valores de precipitación mensual multianual (p) en mm/año, de las estaciones meteorológicas, dividido en (n) que corresponde al número total de estaciones. Para obtener la precipitación media de la zona de estudio (P_m) se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_m = \Sigma P/n$$

Donde:

Pm = Precipitación media en mm.

ΣP = sumatoria de las precipitaciones en mm

N = número de estaciones empleadas.

Tabla No. 14 Precipitación Media Mensual Media Aritmética

ESTACION	NOMBRE	PM MENSUAL (mm)
1	MOLAGAVITA	150.27
2	LA FUENTE	128.97
3	CEPITA	76.62
4	LA MESA	80.75
5	PIEDECUESTA GJA	39.02
Precipitación promedio		95.13

Fuente: IDEAM, Datos de Estudio

Método de las Isoyetas.

Se considera el método más empleado para promediar la precipitación de un área. Consiste en localizar cada una de las estaciones con sus respectivas precipitaciones medias anuales sobre un mapa y graficar sobre él, líneas de igual precipitación como se presenta en los mapas de precipitación,

En el estudio este método fue desarrollado a partir del software, ARCGIS en donde se ubicaron las estaciones anteriormente mencionadas, con coordenadas planas, en la tabla de atributos del shapefile correspondiente a las estaciones se ingresó el valor promedio de precipitación para cada mes, obtenido a partir de los de registros pluviométricos, desde enero de 1.974 a diciembre de 2.014, con esta información se realizó, la interpolación de características con la herramienta Raster Interpolation – IDW, que es, la que el Instituto Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

– IDEAM, sugiere debido a que mantiene los valores originales, una vez se obtuvo el archivo de tipo raster de precipitación de cada mes, se reclasificó en intervalos equitativos, ello con el fin de poder evaluar el área de cada isolinia, y así determinar la precipitación promedio del área de interés, de este método se obtuvieron 12 mapas de precipitación, los cuales están adjuntos en el Anexo B.

Para el cálculo de la precipitación promedio de la zona de estudio se realizaron cálculos ponderados con la precipitación entre isoyetas y el área correspondiente a ellas, y se dividió por el área total de la cuenca, así:

$$P_m = \sum P_i / A$$

P_m: Precipitación media

P_i: Precipitación en la isoyetas dada

A: Área Total del área en estudio.

Con este método se obtuvo la medida más aproximada de la precipitación porque se consideró únicamente el área de las dos microcuencas generadas, las cuales son la base para todos los cálculos requeridos. Como se puede observar en la siguiente tabla, diciembre, enero y febrero, son los meses con registros más bajos de precipitación, por lo que corresponden a los meses críticos del año.

Tabla No. 15 Precipitación media mensual por método de isoyetas

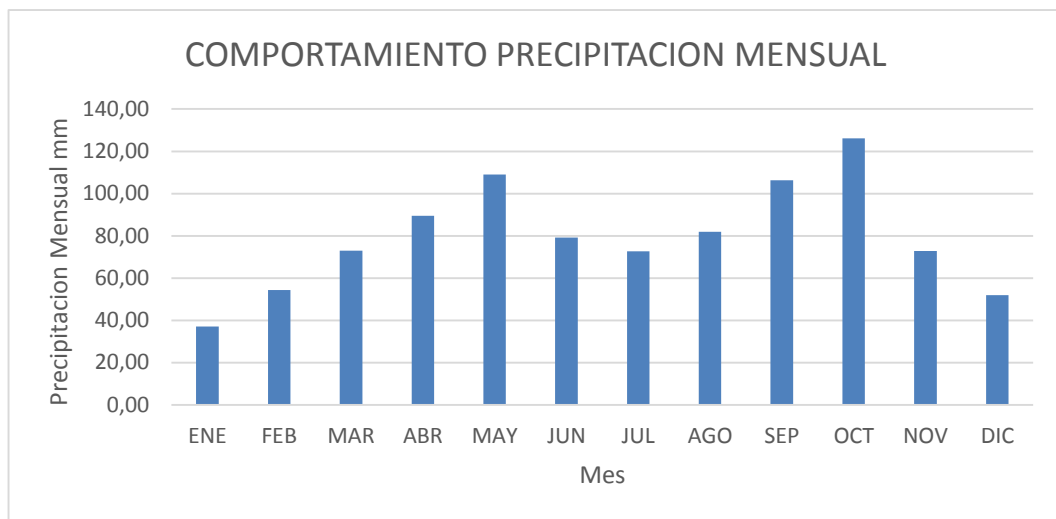
PP MEDIA ISOYETAS											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
37.02	54.26	72.94	89.44	109.01	79.17	72.73	81.89	106.29	126.07	72.75	51.84

Fuente: IDEAM – Datos de Estudio

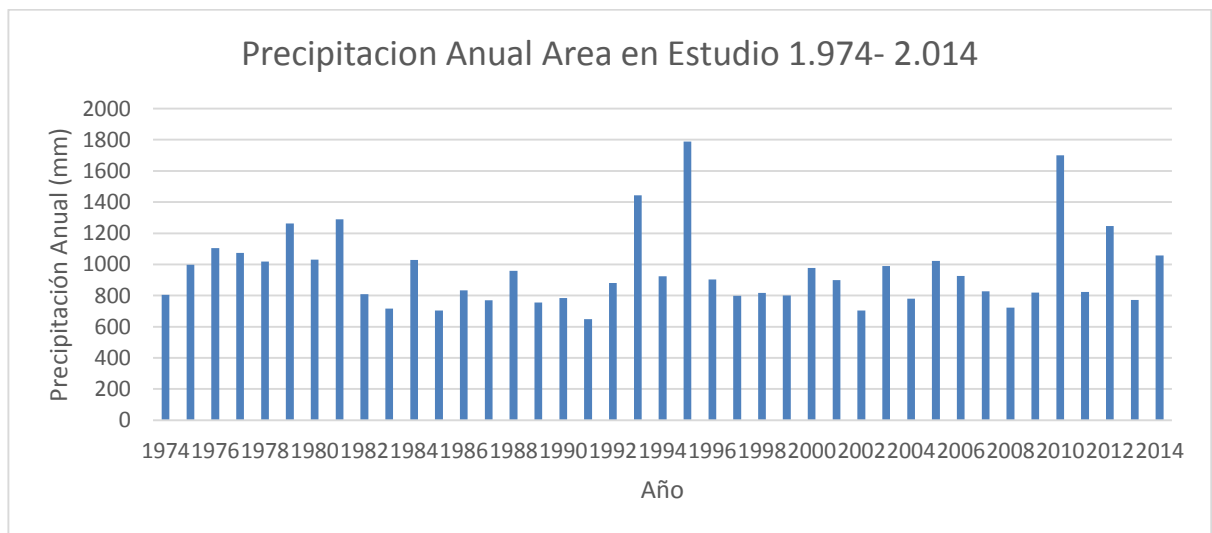
En la Gráfica de Comportamiento de la Precipitación Mensual correspondiente, a la media mensual, desde 1973 a 2014 se puede apreciar el comportamiento bimodal de los regímenes de lluvia del área en estudio, el primero de ellos entre los meses de abril – mayo y el segundo entre los meses, septiembre y octubre, cuyos valores registrados están entre los 89-130mm/mes; En general en el transcurso del año los

valores de precipitación media mensual oscilan entre los 37 mm/mes – 130mm/mes, registrando los valores más bajos en el mes de enero y los más altos han sido registrados en el mes de Octubre. Las mayores precipitaciones se presentan en las zonas de más alta elevación de las microcuencas, y la estación que registra el mayor nivel de precipitación correspondiente a la mesa de los santos donde en el mes de diciembre.

Imagen No.16 Grafica Comportamiento de la precipitación



Fuente: IDEAM – Datos de Estudio



Fuente: IDEAM- Datos de estudio.

En la imagen anterior de precipitación anual desde 1.974 – 2.014 se observa que las lluvias del área en estudio, cumplen los siguientes ciclos:

- Precipitaciones menores o iguales a 800mm/año: cada 2 años, en el periodo entre 1.983-1.991, cada 3 años en el periodo de 1.991 – 2002, en casos aislados se ha presentado con ciclo de 9 años entre 1.974 y 1.983.
- Precipitaciones 810 – 1.000mm/año se han presentado en ciclos de 3 años, desde 1.975 – 2.011, es decir que el 45% del tiempo en los últimos 40 años, ha habido lluvias de esta magnitud, por lo tanto corresponden a las precipitaciones totales medias anuales del área en estudio.
- Precipitaciones entre 1.100 – 1.100mm/año: desde 1.976 – 1.980 en ciclos de 1 año, entre 1.980 -1.984 en ciclo de 4 años, desde 1.984 – 2.005 ciclo de 21 años.
- Precipitaciones 1.500 – 1.800mm/año se han presentado en ciclos de 15 años desde 1.995, año en el cual nuestro país se vio seriamente afectado por el fenómeno de la Niña.

15.2 TEMPERATURA

Los registros de temperatura media mensual se obtuvieron de la página WorldClim – Global Climate Data, la cual provee información climática de condiciones actuales, a partir de interpolación de datos representativos desde el año 1950 – 2000 para cualquier parte del mundo. A partir de las imágenes satelitales descargadas de cada mes, se capturó el registro de temperatura media, de las estaciones tenidas en cuenta en el área en estudio, se realizó el mapa de isolneas en el software Arcgis 9.3 con el uso de la herramienta Interpolation Raster – IDW, de temperatura (isotermas) correspondiente a los meses del año respectivamente. (Ver mapas obtenidos en el anexo A).

Se concluye que la temperatura en el área de estudio no refleja cambios abruptos en general, fluctúa de 23 a 24 grados centígrados durante todo el año.

Los valores de temperatura media del área en estudio en general se obtienen aplicando la metodología de isoyetas, la cual plantea la siguiente formula:

$$T_m = \sum T_i / A$$

T_m: Temperatura media

T_i: temperatura en la isolinia dada

A: Área Total del área en estudio.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de temperatura media para cada mes, en donde se puede observar que de acuerdo a las condiciones climáticas febrero y marzo corresponden al periodo seco, del área en estudio.

TABLA DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
23.97	24.39	24.36	24.13	24.12	23.76	24.01	23.72	23.82	23.66	23.59	23.81

Fuente: Datos de Estudio.

15.3 EVAPOTRANSPIRACION:

La evapotranspiración es la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. El volumen de agua que se ha evapotranspirado entra a formar parte de la humedad atmosférica como vapor, y representa una pérdida de agua en el balance hídrico de una cuenca.

Para el cálculo de evapotranspiración del área en estudio se aplicó la ecuación de Turc modificada, sugerida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM de 2004, dicha ecuación tiene en cuenta factores como: temperatura, radiación, humedad relativa y una constante que depende del mes o periodo considerado; debido a que en el área se presenta una humedad relativa superior al 50% se aplicó de la siguiente forma.

$$ETP = K \frac{T}{T + 15} * (Rg + 50)$$

Donde:

ETP= Evapotranspiración Potencial mensual mm/mes

K = es la constante igual a 0.4 para meses de 30 o 31 días y 0.37 para el mes de Febrero y 0.13 para periodos de diez días.

T = Temperatura media mensual en Grados Centígrados.

Rg= radiación solar global incidente del mes considerado expresada en cal/ cm²/día.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros de la ecuación de Turc modificada que se tuvieron en cuenta para el cálculo de evapotranspiración potencial.

Tabla No. 16 PARAMETROS TURC MODIFICADA

Mes	K	Rg
Ene	0.4	33.7
Feb	0.37	35.8
Mar	0.4	37.4
Abr	0.4	37.6
May	0.4	36.6
Jun	0.4	35.7
Jul	0.4	35.9
Ago	0.4	36.9
Sep	0.4	37.3
Oct	0.4	36.1
Nov	0.4	34.1
Dic	0.4	32.9

Fuente: Tablas Meteorológicas FAO.

Basado en los valores de temperatura media mensual del área en estudio, y con los parámetros de la ecuación de Turc modificada se realizó el cálculo de evapotranspiración potencial, para cada una de las estaciones tenidas en cuenta en la zona, finalmente se elaboró el mapa de evapotranspiración de cada mes, en el software Arcgis 9.3 con el fin de observar como varía este parámetro en el área, concluyendo:

- La evapotranspiración en el área considerada varía entre 16.4mm/mes - 22.2mm/mes en el transcurso del año, siendo los valores más bajos registrados en el área correspondiente a la estación de Molagavita.

- En la cuenca Oeste los valores de evapotranspiración varían entre 18,4 mm/mes – 21,5 mm/mes, siendo septiembre el mes con registro más elevado.
- La cuenca Este presenta en el transcurso de año los valores más altos de evapotranspiración potencial en el área en estudio, los cuales varían entre 19.2mm/mes – 22. 2 mm/mes, siendo febrero y julio los meses más críticos.

Con el fin de determinar la evapotranspiración potencial media del área total en estudio, se aplicó la metodología de isoclinas de evapotranspiración para determinar la evapotranspiración media del área total en estudio así:

$$ETP_{media} = \frac{\sum_{i=1}^n ETP_i * A_i}{A}$$

Donde:

ETP= Evapotranspiración media mensual.

ETPi= Evapotranspiración media mensual de la isoclinea dada

Ai= Área de la isoclinea dada

A= Área total.

Se obtuvo como resultado final la siguiente tabla en la cual se presentan los valores medios de evapotranspiración para cada mes, como se observa febrero, presenta en general una evapotranspiración media baja con respecto a los demás, en contraste con marzo que presenta el valor más alto de evapotranspiración.

Tabla No. 17 TABLA RESULTADOS EVAPOTRANSPIRACION MEDIA POTENCIAL

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEM MEDIA	23.97	24.39	24.36	24.13	24.12	23.76	24.01	23.72	23.82	23.66	23.59	23.81
EVP	20.60	19.6	21.67	21.57	21.32	20.97	21.11	21.33	21.40	21.02	20.55	20.31

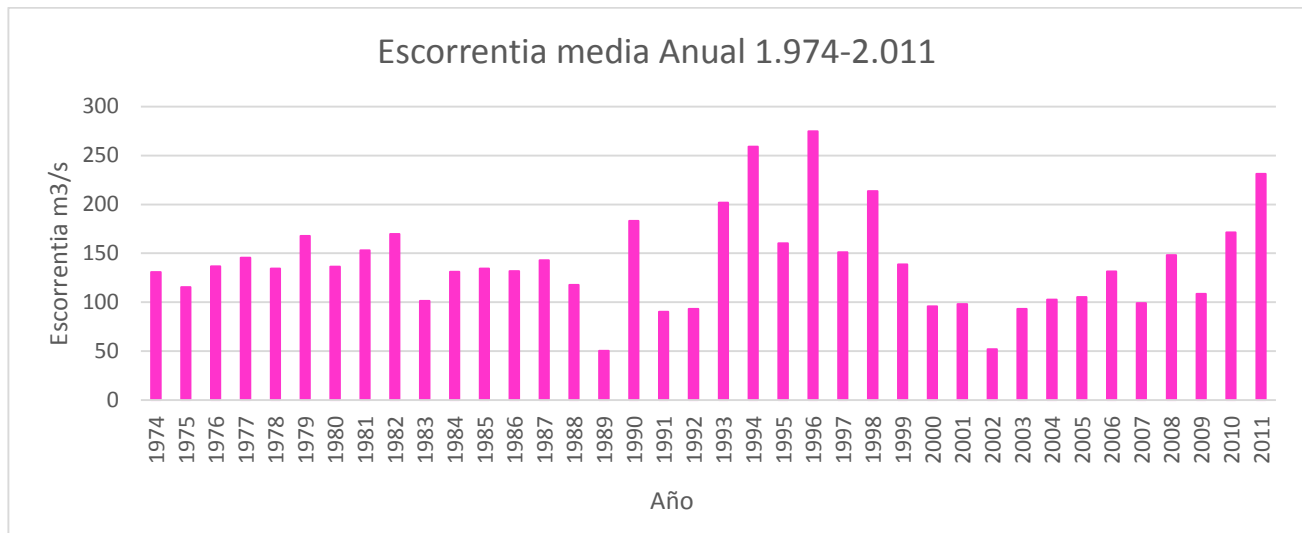
Fuente: Datos de Estudio.

15.4 ESCORRENTIA (R)

Los datos de caudal se tomaron de la estación Jordán ubicada en las coordenadas E: 1108824.83, N: 1236224.99. Es esta estación se encontraron los registros de caudales mínimos, medios y máximos mensuales desde enero de 1974 a diciembre 2012.

En la siguiente gráfica se puede observar como las fluctuaciones en los niveles de caudal a través del tiempo se relacionan directamente con las fluctuaciones de la precipitación en el área de estudio, como es el caso de los valores más altos registrados en los años 1.994 y 1.996 y en los periodos de 2010-2011, los registros más bajos del caudal se presentan entre los años 1992-1993 y entre los años 2.000-2.005

Imagen No. 17 Comportamiento de la Escorrentía Media mensual Multianual.



Fuente: Datos de Estudio

La escorrentía mensual (mm) en de la cuenca se determinó a partir de la expresión matemática que relaciona el Caudal del área con respecto al área de drenaje, en

este caso en área de estudio, tomada de la cartilla Técnica “Balance Hídrico Superficial” de la Sociedad de Geografía de Lima.

$$E = \frac{31.356 * Q}{A}$$

E= Escorrentía en mm/mes

Q= Caudal de la Cuenca en m³/s

A= Área de Drenaje en Km²

En la siguiente tabla se presentan los valores de escorrentía producto de precipitaciones, se observa que los meses con valores más bajos, son enero, febrero, y marzo, ya que el volumen de precipitación que se convierte en escorrentía es muy bajo, esto debido a que estos meses corresponden al primer periodo seco del año en el área.

Tabla No. 18. Escorrentía media mensual

ESCORRENTIA											
ENERO	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
8.69	7.83	11.26	22.34	31.56	28.19	25.76	23.67	24.81	33.54	33.75	17.65

Fuente: Datos de estudio.

15.5 INFILTRACION (I)

Este parámetro fue evaluado mediante el método del balance Hídrico, es decir a partir de la ecuación de general de Balance Hídrico despejamos la variable de infiltración, así:

$$P = ETR + R + I$$

$$i = P - ETR - R$$

Fuente: IDEAM

Tabla No. 19 INFILTRACION MEDIA MENSUAL

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7.73	33.35	40.01	45.53	56.14	30.00	25.87	36.89	60.08	71.51	18.45	13.88

Fuente: IDEAM – Datos de Estudio

La infiltración se ve directamente relacionada con el volumen registrado de precipitación, en el área que corresponde a este proyecto la infiltración por permeabilidad primaria es básicamente nula, sin embargo se presenta una permeabilidad de tipo secundario, por tratarse de una zona altamente fracturada y fallada.

15.6. CALCULO DEL BALANCE HIDRICO

En la tabla mostrada a continuación se muestra la relación entre precipitación y la evapotranspiración, haciendo de este modo una calificación cuantitativa de balance hídrico, los valores superiores a 1 reflejan un superávit en el área de estudio.

Tabla No. 20 Balance Hídrico Mensual

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1.80	2.77	3.37	4.15	5.11	3.78	3.45	3.84	4.97	6.00	3.54	2.55

Fuente: Datos de Estudio

El análisis gráfico se realizó en el software Arcgis, aplicando la herramienta Raster Calculator, así:

$$Balance = \frac{Precipitación}{Evapotranspiración}$$

De la cual se obtuvo un mapa de balance, para cada mes del año, los cuales se encuentran en el anexo D, del presente documento.

Al realizar esta superposición de mapas se encontró que la microcuenca Oeste presenta valores bajos en febrero con respecto a la microcuenca Este, sin embargo el sistema sigue aun en superávit; en los demás meses del año la microcuenca Este es la que presenta menores valores comparativos entre Precipitación y Evapotranspiración, siendo Diciembre, el mes que podría estar en déficit hacia la cuenca Este, debido a que la relación se encuentra entre 1.4-1.6

En conclusión a partir de la evaluación matemática y gráfica de balance hídrico del área en estudio, el sistema no refleja condiciones críticas en general, por lo cual se hace viable el desarrollo del proyecto de implementación de la central hidroeléctrica.

16. ANALISIS DE CAUDALES.

16.1 AFOROS.

Para la medición del caudal se empleó el método del flotador realizando Identificación los sitios de aforos y georreferenciación. El cálculo de la profundidad del rio se realizó con cuerda y peso muerto para 13 puntos atreves de la sección transversal tratando de obtener una aproximación válida para el cálculo del área. La medición o estimación de los caudales se realizó teniendo en cuenta la fórmula:

$$Q = V * A$$

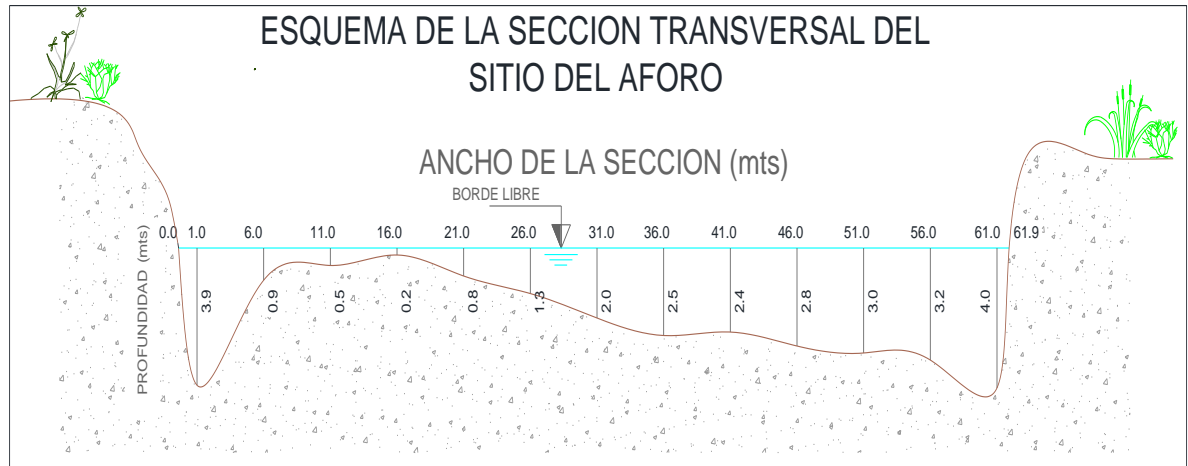
Donde:

$$Q = \text{Caudal}$$

$V =$ Velocidad (m / sg)

$A =$ Área de la sección transversal

Imagen No. 18 Esquema de la sección transversal del sitio del aforo.



Fuente: Datos de estudio.

➤ Cálculo del área de la sección transversal.

El área de la sección transversal se puede calcular descomponiéndose en figuras geométricas. En este caso tendríamos que nuestra sección transversal está compuesta por dos triángulos en los extremos y 12 trapezoides en el centro.

Tabla No. 21 CÁLCULO DEL AREA DE LOS TRAPECIOS				
FIGURA	ALTURA h	h PROMEDIO(m)	ANCHO(m)	AREA(m) ²
Trapezio 1	3,9	2,4	5	12
	0,9			
Trapezio 2	0,9	0,7	5	3,5
	0,5			
Trapezio 3	0,5	0,35	5	1,75
	0,2			
Trapezio 4	0,2	0,5	5	2,5
	0,8			
Trapezio 5	0,8	1,05	5	5,25
Trapezio 6	1,3	1,65	5	8,25
	1,3			
Trapezio 7	2	2,25	5	11,25
	2			
Trapezio 8	2,5	2,45	5	12,25
	2,5			
Trapezio 9	2,4	2,6	5	13
	2,4			
Trapezio 10	2,8	2,9	5	14,5
	2,8			
Trapezio 11	3	3,1	5	15,5
	3			
Trapezio 12	3,2	3,6	5	18
	3,2			
	4			
AREA TOTAL EN m²	117,75			
FIGURA	BASE	ALTURA	ÁREA	

Triangulo 1	3,9	1	1,95
Triangulo 2	4	0,9	1,8
AREA TOTAL EN m²	3,75		

Fuente: Datos de Estudio

Con este método de los polígonos se obtiene un AREA TOTAL DE LA SECCION TRANSVERSAL = $117,75+3,75 = 121,50 \text{ m}^2$

Otro método para calcular el área es por medio de la medición directa de la misma sobre el esquema a escala dibujado en un programa de dibujo asistido por computador. En este caso su área es:

$$A=124.8 \text{ m}^2$$

Para los efectos de nuestro cálculo tomaremos esta última ya que aunque las dos son aproximaciones validas la última se considera más precisa.

➤ Cálculo de la velocidad

En el sitio del aforo del rio Chicamocha se tomaron lecturas del tiempo transcurrido por una partícula en una longitud fija de 25 m en tres diferentes puntos de la sección transversal.

Tabla No. 22 Velocidad del caudal

LONGITUD	TIEMPO	VELOCIDAD
25	17,5	1,43
25	16	1,56
25	16,5	1,52
VELOCIDAD PROMEDIO EN m/s		1,50

Fuente: Datos de Estudio

➤ Cálculo del caudal Instantáneo, realizado en las pruebas de aforo.

$$Q = V * A$$

$$Q = 1.50 \text{ m/s} * 124.8 \text{ m}^2$$

$$Q = 187.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 187200 \text{ Lts/seg.}$$

Fotografías No. 45 - 49 Evidencia de aforos Rio Chicamocha.



Fuente: Datos de estudio

16.2. Calidad del agua y ecosistemas acuáticos

Para dar respuesta a este ítem se llevó a cabo una toma de muestras en el sitio próximo donde quedara la bocatoma o captación y 500 metros aguas arriba, no se tomó muestra de afluentes por la inexistencia de los mismos en esta área, las

muestras fueron tomadas y transportadas de acuerdo a las indicaciones del laboratorio de consultas industriales de la universidad Industrial de Santander.

16.2.1 Caracterización Físicoquímica de las aguas del Rio Chicamocha

La caracterización físicoquímica de las aguas del rio Chicamocha se realizó en el laboratorio de consultas industriales de la universidad Industrial de Santander. El procedimiento para la toma de las mismas correspondió al sugerido por la institución antes mencionada. Se tomaron tres muestras en cada momento, para un total de 6 muestras analizadas.

16.2. 3. Metodología utilizada para la toma de muestras

➤ Paso 1.

El procedimiento para la recolección de las muestras se realizó de la siguiente manera: se tomo una botella de agua para consumo humano con su recipiente sellado, en el sitio de la toma de la muestra se procedió a abrirla y a eliminar el contenido inicial, teniendo en cuenta de no tocar los espacios que hacen contacto con el agua como borde y/o espacios interiores e la botella o la tapa.

➤ Paso 2 y 3

Una vez vacía la botella se procedió a tomar una muestra de agua, se “purgó” con el agua del rio haciendo un movimiento repetitivo sobre sí misma, luego se eliminó todo el contenido.

➤ Paso 4 y 5

Se tomó una segunda muestra de agua del rio y se realizó el procedimiento igual que en los pasos 2 y 3

➤ Paso 6 y 7

Se tomó la muestra de agua, teniendo en cuenta llenar completamente y evitar que quede aire dentro del recipiente. Se procedió a cerrarla con la tapa, se marcó como muestra 1 y se dispuso para su transporte.

➤ Paso 8 y 9

Se tomó una muestra de agua en un recipiente estéril, se marcó y se dispuso para el transporte al laboratorio. Las muestras fueron transportadas en recipiente específico y guardando las normas de la red de frío exigidas para el caso.

El laboratorio de la Universidad Industrial de Santander reportó las siguientes características microbiológicas y fisicoquímicas: Copia del informe de resultados original de dos muestras analizadas.

Tabla 23. Caracterización microbiológica del agua. Rio Chicamocha

CATACTERIZACION MICROBIOLOGICA AGUA RIO CHICAMOCHA SECTOR ARATOCA.		
PARAMETROS	RESULTADO	METODO NORMA
Recuento Estándar(UFC/100 ml)	3600	Filtración por Membrana/SM 9222B
Doliformes Totales(UFC/100 ml)	0	Filtración por Membrana/SM 9222B
E. coli (UFC/100 ml)	0	Filtración por Membrana/SM 9222B

Fuente: Laboratorio UIS - Datos de Estudio

Tabla 24. Caracterización fisicoquímica del agua, Rio Chicamocha

CATACTERIZACION FISICOQUÍMICA AGUA RIO CHICAMOCHA SECTOR ARATOCA.			
PARAMETROS	RESULTADO		METODO NORMA
	M1	M2	
pH (Unidades de pH)	7,79	6,88	Potenciométrico / SM 4500-H+ B
Turbiedad (NTU)	24,8	68,8	Nefelométrico / SM 2130 B

Color (UPC)	240	399	Espectrofotométrico / SM 2120 B
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	312	408	Conductivimétrico / SM 2510
Hierro Total (mg Fe/L)	32,9	18,96	Espectrofotométrico / SM 3500-Fe
Nitritos (mg NO_2^-/L)	0,451	0,137	Espectrofotométrico / SM 4500-B
Sulfatos (mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$)	72,75	79,62	Espectrofotométrico / SM 4500 E
Cloruros (mg Cl^-/L)	16,45	17,63	Argentométrico / SM 4500-Cl- B
Dureza Total (mg CaCO_3/L)	120,00	56,00	Titrimétrico-EDTA / SM 2340 C
Alcalinidad Total (mg CaCO_3/L)	99,36	129,17	Titrimétrico / SM 2320 B
Sólidos Totales (mg/L)	264	244	Gravimétrico/ SM 2540 B
Bicarbonatos (mg HCO_3^-/L)	110,61	160,62	Titrimétrico / SM 2320 B
Carbonatos (mg $\text{CO}_3^{2-}/\text{L}$)	0	0,00	Titrimétrico / SM 2320 B
Oxidabilidad (mg O_2/L)	0,56	0,35	Titrimétrico

Fuente: laboratorio UIS - Datos de Estudio

En esta zona el agua del río Chicamocha pese a no presentar un riesgo biológico para la salud, si carece de aptitud para el consumo humano debido a que en los análisis se registran niveles superiores de alcalinidad a los adecuados, de igual manera los parámetros de hierro y nitritos son considerablemente elevados. Este análisis se interpretó basado en la tabla de valores admisibles del manual las aguas subterráneas un enfoque práctico del instituto colombiano de geología y minería.

16.3 Ubicación de las estaciones de monitoreo.

El monitoreo se realizó en el sitio de captación y 500 metros aguas arriba de este sitio. Las coordenadas donde se tomaron las muestras fueron E: 1.121.120 y N:

1.238.530, aproximadamente a una altura de 600 m.s.n.m., y en dos puntos adicionales 500 metros aguas arriba.

16.4. CAUDALES MEDIO MENSUAL Y MULTIANUAL

16.4.1 CURVA DE DURACION DE CAUDALES.

La curva de duración es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal, Q, como ordenada y el número de días del año (generalmente expresados en % de tiempo) en que ese caudal, Q, es excedido o igualado, como abscisa. La ordenada Q para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del flujo en un año promedio, que espera que sea excedido o igualado un porcentaje, P, del tiempo, Los caudales se disponen en orden descendente, usando intervalos de clase si el número de valores es muy grande. Si N es el número de datos, la probabilidad de excedencia P, de cualquier descarga(o valor de clase), Q, es:

$$P = \frac{m}{n} \times 100$$

Donde:

m= número de veces que se presenta determinado valor

N= total de los datos procesados.

La curva de duración de caudales se aplicó con el fin de determinar los caudales mínimo y medio del Rio Chicamocha en el área en estudio, para ello se evaluó el total de los registros de caudales mínimos, medio y máximos, de la estación limnométrica Jordán ubicada en las coordenadas E: 1108824.83, N: 1236224.99. A partir de la evaluación estadística se obtuvo los siguientes resultados:

16.4.2. CAUDAL MEDIO DE PERMANENCIA:

Parámetro que se determinó mediante el análisis estadístico de los registros de caudales medios y mínimos de la estación Jordán, desde enero de 1973 hasta diciembre de 2012, Cuyos valores se presentan en las siguientes tabla.

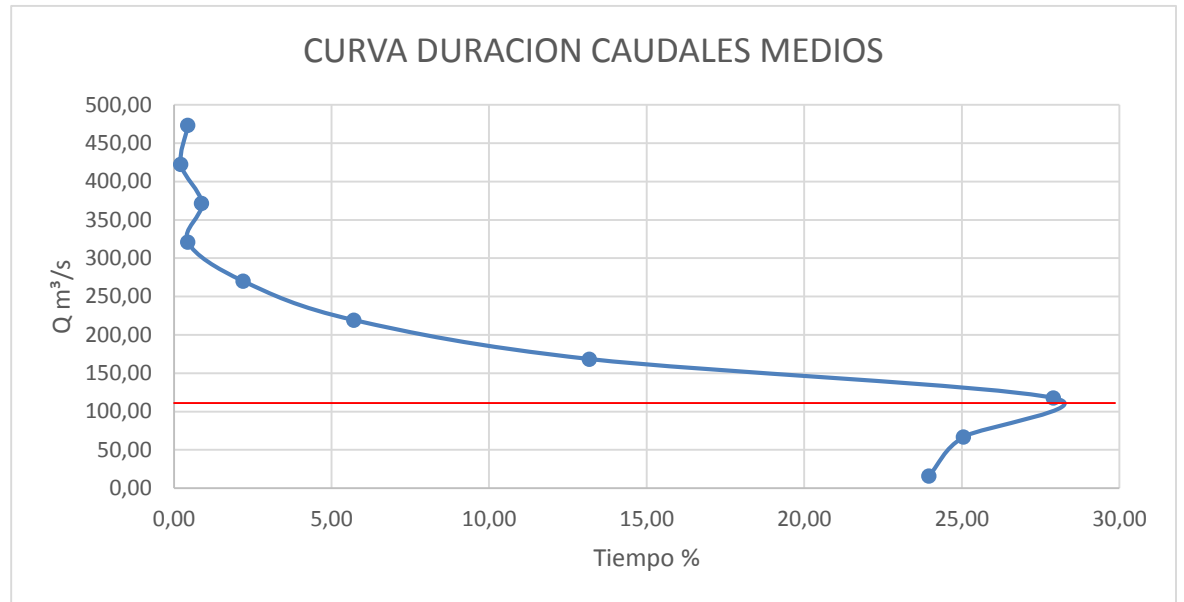
Tabla No. 25 Permanencia de Caudales Medios

TABLA DURACION DE CAUDALES MEDIOS				
INTERVALOS		FREC	FREC ACUM	% FREC
16.08	66.88	109.00	109.00	23.96
66.88	117.68	114.00	223.00	25.05
117.68	168.49	127.00	350.00	27.91
168.49	219.29	60.00	410.00	13.19
219.29	270.09	26.00	436.00	5.71
270.09	320.89	10.00	446.00	2.20
320.89	371.69	2.00	448.00	0.44
371.69	422.50	4.00	452.00	0.88
422.50	473.30	1.00	453.00	0.22
473.30	524.10	2.00	455.00	0.44
		455.00		100.00

Fuente: Datos de Estudio.

A partir de la tabla de resultados se construyó la Curva de Duración de caudales medios. Como se puede apreciar en la gráfica, el caudal medio multianual del Río Chicamocha en el área en estudio varía desde 117.68 – 168.49m³/s, y presenta una permanencia de 28% del tiempo.

Imagen No. 19 Curva de Duración Caudales Medios



Fuente: Datos de Estudio

16.4.3 CAUDAL MINIMO DE PERMANECIA:

Parámetro que se determinó mediante el análisis estadístico de los registros de caudales mínimos de la estación Jordán, desde enero de 1973 hasta diciembre de 2012. Cuyos valores se presentan en la siguiente tabla.

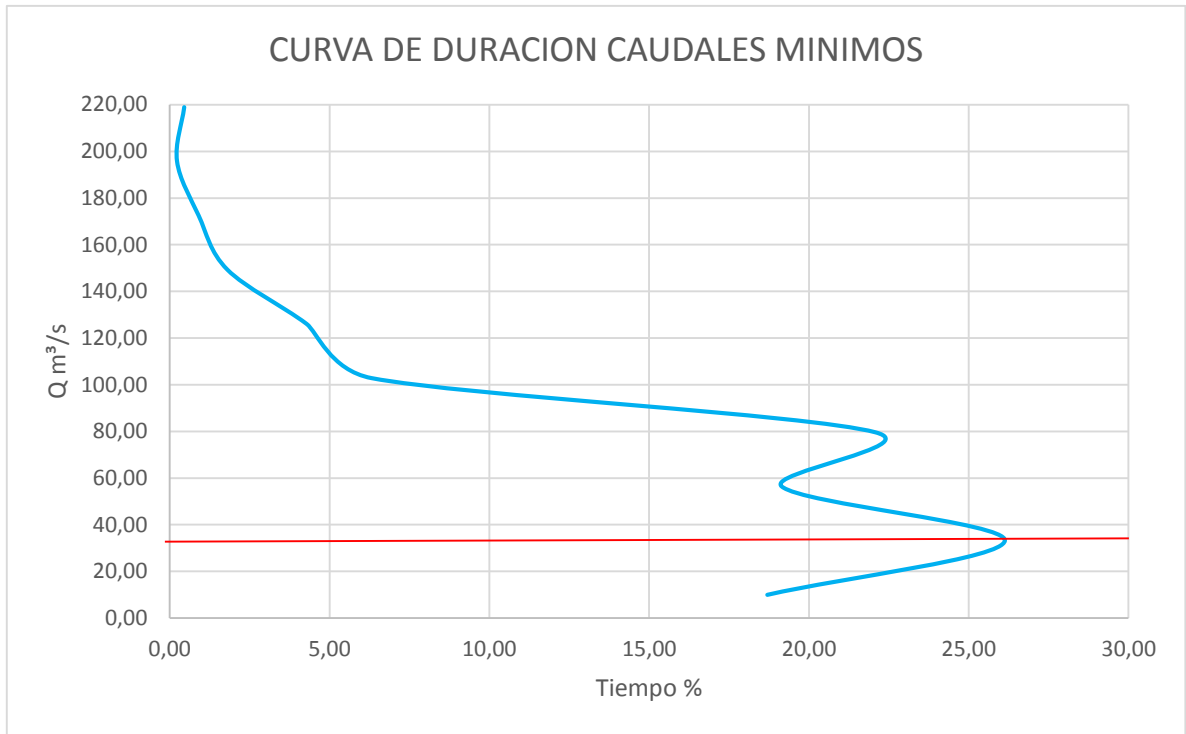
TABLA No. 26 DE DURACION CAUDALES MINIMOS

INTERVALOS CAUD MIN		FREC	FREC ACUM	FREC %
10.00	33.21	83	83	18.69
33.21	56.42	116	199	26.13
56.42	79.64	85	284	19.14
79.64	102.85	98	382	22.07
102.85	126.06	28	410	6.31
126.06	149.27	19	429	4.28
149.27	172.48	8	437	1.80
172.48	195.70	4	441	0.90
195.70	218.91	1	442	0.23
218.91	242.12	2	444	0.45
		444		100.00

Fuente: Datos De Estudio

En la curva de duración de caudal mínimo obtenida se observa que el caudal que más se presenta oscila entre 33 y 56m³/s con una frecuencia de 26%, lo cual implica que al menos 7 días de un mes cualquiera pueden presentar este caudal, debido a esto se sugiere que el diseño de la obra se haga a partir de estos resultados.

Imagen No. 20 Curva de Duración Caudales Mínimos



Fuente: Datos de Estudio

16.5. CAUDAL MEDIO MENSUAL

La evaluación del caudal medio mensual del área en estudio, se realizó teniendo en cuenta la medición de caudales medios de la estación Jordán desde enero de 1974 hasta diciembre de 2012. Para dicha evaluación se aplicó la metodología planteada por el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM de 2004, la cual sugiere la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

Donde:

Q= Caudal medio (m³/s)

Q_i =Caudal medido en el periodo de estudio

n = Número Total de datos (Suficientemente grande).

En la tabla se puede observar que los meses críticos corresponden a los meses de diciembre a marzo, ya que el aporte hídrico proveniente de las precipitaciones es muy bajo, a partir de abril el caudal medio sobrepasa el valor medio de permanencia de 117 m³/s además el caudal medio mensual 126m³/s, se encuentra entre el intervalo de caudales de permanencia 117.68-168.49m³/s, evaluados estadísticamente.

Tabla No. 27 Caudal Medio Mensual 1974-2012

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED
Caud Med	48.63	43.82	63.04	125.08	176.67	157.83	144.18	132.51	138.90	187.75	188.93	98.81	126.91

Fuente: IDEAM, Datos de Estudio.

16.5. CAUDAL MINIMO MENSUAL.

En la siguiente tabla se presentan los valores de caudal mínimo más bajos registrados desde 1974-2012 para cada uno de los meses del año y la variación del promedio mínimo mensual de los registros mínimos en la estación Jordán del Río Chicamocha en el área en estudio.

Tabla No. 28, Caudal Mínimo mensual 1974-2012

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Caud Min Registrado	11.4	10.0	10.6	20.4	32.7	30.0	33.3	33.7	33.5	33.7	26.7	13.8
Caud Med Min.	33.17	29.27	34.38	48.21	87.01	92.24	82.56	80.41	80.71	89.20	88.38	54.46

Fuente: IDEAM - Datos de Estudio.

A partir de los datos analizados y procesados estadísticamente, se identificaron tres registros de caudales importantes; el caudal mínimo registrado correspondiente a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de febrero de 1998, así mismo los caudales máximos registrados corresponden al mes de mayo y octubre, valores que al ser corroborados con la información de precipitaciones totales mensuales, y con la información de precipitaciones máximas mensuales, de los años en que estos valores fueron registrados se encontró que:

- Al verificar la información correspondiente a precipitación total mensual y precipitación máxima registrada en 24 horas, en las estaciones de Cepita y Mesa de los Santos, con el registro de caudal de $12.04 \text{ m}^3/\text{s}$, del día 16 de marzo de 1998, se observa que; marzo es un mes con un promedio de lluvias de $75.34\text{mm}/\text{mes}$ en la estación de Cepita y de $60.09\text{mm}/\text{mes}$ en la estación de Mesa de los Santos desde 1.974, en contraste con los registros promedio de lluvias del mes de abril de las estaciones mencionadas, las cuales presentan un valor medio mensual de $95\text{mm}/\text{mes}$ de lluvia, por lo anterior se puede inferir que los días de lluvia en el área de estudio en el mes de marzo se presentan en los primeros 15 días del mes, y en los últimos días del mes de abril.
- Dentro de los registros de caudal máximo, el mayor valor corresponde a $1.302 \text{ m}^3/\text{s}$ de noviembre de 1.989, no es un mes perteneciente al periodo de lluvias, es conveniente afirmar que este caudal fue generado por lluvias de alta intensidad, es decir los registros de lluvias máximas en 24 horas de las estaciones del área (Cepita y Mesa de los Santos), muestran lluvias máxima que varían desde $32\text{mm}/\text{día}$ a $50\text{mm}/\text{día}$ para el de noviembre en el que se presentó dicho caudal, precipitaciones que nos muy altas pero que si se presentan en periodo de tiempo muy corto, en estos casos de horas e incluso de minutos, pueden generar altos caudales instantáneos.

16.7 CAUDAL ECOLOGICO.

Algunos autores definen el caudal mínimo o caudal ecológico como el flujo de agua requerido para mantener las necesidades mínimas de los ecosistemas acuáticos existentes en un área de influencia antrópica que modificara los caudales naturales de un río o quebrada. Los caudales ecológicos son escurrimientos que se deben dejar fluir por el río para preservar la integridad ecológica.

Ormazábal lo define como: Caudal mínimo necesario en una fuente o curso fluvial, para preservar la conservación de los ecosistemas fluviales actuales, en atención a los usos de agua comprometidos, a los requerimientos físicos de la corriente fluvial, para mantener su estabilidad y cumplir sus funciones tales como: dilución de contaminantes, conducción de sólidos, recargar de acuíferos y mantenimiento de las características paisajísticas del medio.

Existen numerosos métodos para determinar el caudal ecológico, entre ellos los métodos cuantitativos, de los cuales hay más de 30, agrupados en cuatro tipos de enfoques metodológicos de acuerdo a los intereses que se pretendan entre estos están, Hidrológico, hidráulico, Simulación de hábitat y Holístico.

La evaluación del método hidrológico para determinar el caudal ecológico se realizó mediante el método del Instituto Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM de 2004, establece que el caudal ecológico corresponde al 25% de los volúmenes anuales en condiciones de oferta media.

En la tabla No. 29 se puede apreciar el cálculo para la determinación del caudal ecológico en el área de estudio, para ello, se tomaron los caudales mínimos multianuales desde 1.974-2.011, evaluando mediante el planteamiento de diversos escenarios en los cuales se definen porcentajes del caudal ecológico para cada año, así:

Tabla No. 29 Calculo Caudal Ecológico Multianual

CAUDAL ECOLOGICO MULTIANUAL										
AÑO	CAUDAL	DEFICIENTE		MODERADO		BUENO		MUY BUENO		CAUD ECOL
		0.05	0.14	0.15	0.24	0.25	0.39	0.40	0.80	0.50
1974	69.54	3.48	9.74	10.43	16.69	17.39	27.12	27.82	55.63	34.77
1975	74.85	3.74	10.48	11.23	17.96	18.71	29.19	29.94	59.88	37.43
1976	76.64	3.83	10.73	11.50	18.39	19.16	29.89	30.66	61.31	38.32
1977	53.09	2.65	7.43	7.96	12.74	13.27	20.71	21.24	42.47	26.55
1978	82.73	4.14	11.58	12.41	19.85	20.68	32.26	33.09	66.18	41.36
1979	86.75	4.34	12.15	13.01	20.82	21.69	33.83	34.70	69.40	43.38
1980	57.00	2.85	7.98	8.55	13.68	14.25	22.23	22.80	45.60	28.50
1981	83.08	4.15	11.63	12.46	19.94	20.77	32.40	33.23	66.46	41.54
1982	85.96	4.30	12.03	12.89	20.63	21.49	33.53	34.39	68.77	42.98
1983	65.13	3.26	9.12	9.77	15.63	16.28	25.40	26.05	52.10	32.56
1984	93.83	4.69	13.14	14.07	22.52	23.46	36.59	37.53	75.06	46.92
1985	58.27	2.91	8.16	8.74	13.99	14.57	22.73	23.31	46.62	29.14
1986	69.14	3.46	9.68	10.37	16.59	17.29	26.96	27.66	55.31	34.57
1987	38.09	1.90	5.33	5.71	9.14	9.52	14.86	15.24	30.47	19.05
1988	62.05	3.10	8.69	9.31	14.89	15.51	24.20	24.82	49.64	31.03

1989	26.40	1.32	3.70	3.96	6.34	6.60	10.30	10.56	21.12	13.20
1990	19.46	0.97	2.72	2.92	4.67	4.87	7.59	7.79	15.57	9.73
1991	30.88	1.54	4.32	4.63	7.41	7.72	12.04	12.35	24.70	15.44
1992	46.77	2.34	6.55	7.02	11.22	11.69	18.24	18.71	37.41	23.38
1993	62.50	3.13	8.75	9.38	15.00	15.63	24.38	25.00	50.00	31.25
1994	63.34	3.17	8.87	9.50	15.20	15.84	24.70	25.34	50.67	31.67
1995	68.75	3.44	9.62	10.31	16.50	17.19	26.81	27.50	55.00	34.37
1996	64.40	3.22	9.02	9.66	15.46	16.10	25.12	25.76	51.52	32.20
1997	46.25	2.31	6.48	6.94	11.10	11.56	18.04	18.50	37.00	23.13
1998	69.26	3.46	9.70	10.39	16.62	17.31	27.01	27.70	55.41	34.63
1999	83.98	4.20	11.76	12.60	20.15	20.99	32.75	33.59	67.18	41.99
2000	55.63	2.78	7.79	8.35	13.35	13.91	21.70	22.25	44.51	27.82
2001	43.43	2.17	6.08	6.51	10.42	10.86	16.94	17.37	34.74	21.71
2002	56.64	2.83	7.93	8.50	13.59	14.16	22.09	22.66	45.31	28.32
2003	64.13	3.21	8.98	9.62	15.39	16.03	25.01	25.65	51.30	32.06
2004	64.62	3.23	9.05	9.69	15.51	16.15	25.20	25.85	51.69	32.31
2005	55.35	2.77	7.75	8.30	13.28	13.84	21.59	22.14	44.28	27.68
2006	79.22	3.96	11.09	11.88	19.01	19.81	30.90	31.69	63.38	39.61
2007	64.65	3.23	9.05	9.70	15.52	16.16	25.21	25.86	51.72	32.32
2008	66.44	3.32	9.30	9.97	15.94	16.61	25.91	26.57	53.15	33.22

2009	56.13	2.81	7.86	8.42	13.47	14.03	21.89	22.45	44.91	28.07
2010	85.99	4.30	12.04	12.90	20.64	21.50	33.54	34.40	68.79	43.00
2011	94.38	4.72	13.21	14.16	22.65	23.60	36.81	37.75	75.51	47.19
2012	70.62	3.53	9.89	10.59	16.95	17.66	27.54	28.25	56.50	35.31
PROMEDIO		3.28	9.19	9.85	15.76	16.42	25.61	26.27	52.53	32.83

Fuente: Datos de Estudio.

A partir de los resultados obtenidos en el cálculo de balance hídrico de la cuenca se ha decidido, determinar el caudal ecológico a partir del 50% del caudal mínimo anual, es decir para los meses entre abril y noviembre se sugiere que el caudal ecológico que debe mantenerse en el área de estudio sea de 32.83 m³/s. Y Para condiciones secas del 25% para los meses entre diciembre y marzo; un caudal de 16.42 m³/s garantizando de esta manera el aprovechamiento de los recursos hídricos destinados para los diferentes usos, tales como: industria y turismo.

16.8 CÁLCULO CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO, CONSIDERANDO PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS.

En el diseño de obras de infraestructura hidráulica es de vital importancia conocer las precipitaciones que pueden generar una avenida torrencial, estas corresponden a la altura máxima de lluvia que se puede presentar en un periodo corto, es decir a la mayor precipitación que ocurre en un día o en una hora.

En el presente estudio se analizaron los datos de precipitaciones máximas diarias registradas desde 1.974 a 2.014, aplicando la metodología de Gumbell para determinar el valor máximo de precipitación diaria que se pueda repetir en un periodo de retorno T, (2, 5, 10,25, 50,100) años.

Metodología de Gumbell:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

$$\mu = X_m - (0.5772 * \alpha)$$

$$X = \mu + (\alpha * Y_i)$$

$$Y_i = - \ln (- \ln F(X))$$

$$F(X) = e^{-e^{Y_i}}$$

Donde:

X = Valor máximo de Precipitación.

X_m = Media de la serie dada de valores máximos.

S = Desviación respecto a la media.

α = Variable Estadística

μ = Variable Estadística

Y_i = Variable Reducida

$F(X)$ = Probabilidad que X ocurra.

A partir de las formulas expuestas anteriormente se obtiene la siguiente tabla de resultados,

Tabla 30. Precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno.

PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS PARA DIF PERIODOS DE RETORNO				
Periodo Retorno Años	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de Ocurrencia	Corrección intervalo fijo
	Y_i	$X(\text{mm})$	$F(xT)$	$X(\text{mm})$
2	0.36651292	45.7532621	0.5	51.70118617
5	1.49993999	59.8804329	0.8	67.66488914
10	2.25036733	69.2338492	0.9	78.23424954
25	3.19853426	81.0519154	0.96	91.58866444
50	3.90193866	89.8192321	0.98	101.4957323
100	4.60014923	98.5218123	0.99	111.3296479

Fuente: Datos de Estudio.

De acuerdo con los registros de precipitación analizados se determina que la precipitación máxima para un periodo de 24 horas que podría retornar en un lapso de 2 años seria de 51.7 mm/día, de la misma manera se pueden interpretar los datos consecutivos de las columna 1 y 4 de la tabla No. 30, además se puede observar

que la probabilidad que alguna de estas precipitaciones se presente aumenta con respecto al periodo de retorno analizado.

En la tabla 31 se presenta la evolución de las precipitaciones correspondientes a cada periodo de retorno en el transcurso de las 24 horas.

Tabla No. 31 Precipitación de Retorno en el Transcurso de 24 horas.

Tiempo Duracion hrs.	PERIODOS DE RETORNO (años)					
	2	5	10	25	50	100
24	51.7	67.6648891	78.2342495	91.5886644	101.495732	111.3296479
18	47.05	61.5750491	71.1931671	83.3456846	92.3611164	101.3099796
12	41.36	54.1319113	62.5873996	73.2709316	81.1965858	89.06371832
8	35.16	46.0121246	53.1992897	62.2802918	69.017098	75.70416058
6	31.54	41.2755824	47.7228922	55.8690853	61.9123967	67.91108522
5	29.47	38.5689868	44.5935222	52.2055387	57.8525674	63.45789931
4	26.88	35.1857424	40.6818098	47.6261055	52.7777808	57.89141691
3	23.78	31.125849	35.9877548	42.1307856	46.6880369	51.21163804
2	20.16	26.3893068	30.5113573	35.7195791	39.5833356	43.41856268
1	15.51	20.2994667	23.4702749	27.4765993	30.4487197	33.39889437

Fuente: Datos de Estudio.

Como se puede observar la máxima precipitación que podría presentarse en un periodo de 24 horas, en el área de estudio excede los 100mm/día, por esta razón es necesario conocer el caudal que esta podría generar en el caso de que se vuelva a presentar, para ello se aplicó la metodología de Témez y el Método Racional.

Metodología de Temez:

$$Q = \frac{CIA}{3,6} Kt$$

$$C = \frac{(P'd - P'o)x(P'd + 23P'o)}{(P'd + 11P'o)^2}$$

$$Kt = 1 + \frac{Tc^{1.25}}{Tc^{1.25} + 14}$$

Método Racional:

$$Q = \frac{CIA}{3.6} K, \quad C = \frac{\left(\frac{Pd}{P'o} - 1\right)x\left(\frac{P'd}{P'o} + 23\right)}{\left(\frac{P'd}{P'o} + 11\right)^2}$$

Donde:

Coef. β = Coeficiente de Escorrentía.

C = Coeficiente de Escorrentía corregido

Po= Umbral de Escorrentía

Pd= Precipitación diaria máxima.

I=Intensidad de la precipitación máxima en 24 Horas.

A=Área de la Cuenca

Kt = Coeficiente de Uniformidad según Temez.

K= Coeficiente de Uniformidad.

En las siguientes tablas se presentan los datos morfológicos e hidrogeológicos del área de estudio en general, los valores que se tienen en cuenta de pendiente y longitud corresponden al cauce principal del área, en este caso el Rio Chicamocha; con respecto a los valores hidrogeológicos, se determina el umbral de escorrentía Po=2 de acuerdo a la tabla de clasificación de umbrales de escorrentía para rocas no permeables, debido a que la litología predominante en el área de estudio corresponde a esquistos con baja o nula permeabilidad.

DATOS HIDROGEOLÓGICOS	
$P_d =$	150 mm
$P_0 =$	2mm
Coef. $\beta =$	0.60449497

Fuente: Datos de Estudio.

DATOS MORFOLÓGICOS		
Área =	87.44	km ²
Longitud =	15.91	km
Pendiente =	7.66	m/m

Fuente: Datos de Estudio.

A continuación se encuentran los cálculos de caudal generado por una precipitación de 111.32mm/día, aplicando las dos metodologías a anteriormente mencionadas.

Tabla No. 34 Caudal máximo de Precipitación 150mm/día

CAUDAL MAXIMO POR PRECIPITACION 150mm/día				
METODO	C	K	I	Q máx.
RACIONAL	0.94398522	4.61361593	4.61361593	45.9113386
TEMEZ	0.94398522	1.30648938	4.1522437	44.5140313

Fuente: Datos de Estudio.

Como se puede observar el caudal instantáneo incrementaría aproximadamente en 45m³/s, en caso de presentarse una lluvia de 100mm/día en un periodo de 24 horas, que tendría una intensidad de 45 mm/hora.

16.9 CÁLCULO CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO, CONSIDERANDO LOS REGISTROS DE CAUDALES MÁXIMOS, EN LA ESTACIÓN LIMNIMETRICA DE JORDÁN.

Se aplica la metodología de Gumbel para cálculo de caudales máximos y probabilidad de retorno en un tiempo T (, 5, 10, 25, 50, 100). En la tabla siguiente tabla

Tabla No. 35 Cálculo de Caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

Retorno	Reducida	(m³/s.)	ocurrencia	intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (m3/s.)
2	0.3665	580.6570	0.5000	656.1424
5	1.4999	799.9377	0.8000	903.9296
10	2.2504	945.1206	0.9000	1067.9863
25	3.1985	1128.5596	0.9600	1275.2723
50	3.9019	1264.6451	0.9800	1429.0490
100	4.6001	1399.7258	0.9900	1581.6901
500	6.2136	1711.8766	0.9980	1934.4206

Fuente: Datos de Estudio.

Como se observa el caudal máximo que se podría volver a presentar en el área de estudio en un periodo de 2 años es de 656.12 m³/s, valor que presenta al menos el 20% del tiempo el Rio Chicamocha en el área en estudio, por esta razón se recomienda que estos valores sean tenidos en cuenta en los parámetros de diseño, de la obra.

17. ÍNDICE DE ESCASEZ PARA CONDICIONES HIDROLÓGICAS MEDIAS Y SECAS.

El índice de escasez refleja la relación entre la oferta y la demanda de agua incluyendo las condiciones necesarias para mantener las condiciones mínimas de la fuente de agua principal de la cuenca, que para el caso de estudio, corresponde al rio Chicamocha, parámetro definido por la siguiente ecuación:

$$Ie = \frac{Dh}{On} * 100\%$$

Donde:

Ie= Índice de escasez (%)

Dh

= Demanda de agua (m³)

O_n = Oferta Hídrica superficial neta. (m^3).

Para el cálculo de la Demanda Hídrica se aplicó la fórmula que plantea la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM de 2004.

$$DT=DUD+DUI+DUS$$

DT= Demanda Total de Agua

DUD= demanda de Agua para Uso Doméstico

DUI= Demanda de Agua para uso Industrial.

DUS= Demanda de Agua para el Sector Servicios.

- DEMANDA DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL:

En el área de estudio la actividad industrial más importante corresponde a la extracción de mineral de arrastre (arena, especialmente, y gravas) en las minas ubicadas en el costado Oriental del Rio Chicamocha, en el sector de Umpala, municipio de Aratoca, se aplicó la siguiente formula con el fin de evaluar este parámetro:

$$DUI = \sum_{i=1}^n V_{pi} * F_{ci}$$

Donde:

DUI: Demanda de Agua para uso industrial.

V_{pi} : Volumen de producción según sector económico

F_{ci} = Factor de Consumo según sector económico

Debido a que en la tabla de indicadores de consumo de agua para la industria de Water for Industrial, New York, USA 1963, Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible, no se encuentra el índice de consumo para la explotación de material de arrastre, se aplicó el factor de consumo correspondiente a Otras Industrias Manufactureras diversas, código: 3909, que para este caso es de:

$$F_{ci}=4.2m^3/Ton$$

El Volumen de explotación de arena que se tuvo en cuenta para el cálculo fue el correspondiente a los contratos de Concesión de la arenera Chicamocha LTDA No. L 685 IHH-10391, L 685 FA7-081, L 685 FA7-082 para la extracción de material de arrastre, presenta un volumen de producción media anual de 8.712 m3.

Tabla 36. Producción Media Anual Arenera Chicamocha Ltda. – Aratoca Santander

Fuente: Nacional DUI= 78704.64m3 /mes.	PRODUCCION PROMEDIO MENSUAL ARENERA CHICAMOCHA LTDA.		Agencia de Minería	
	TITULO	PRODUCCION		
		m ³		Ton
	IHH-10391	8.712m ³		13.939,2 Ton
	FA7-081 -082	3.000m ³		4.800 Ton

- **DUS = DEMANDA DE AGUA PARA EL SECTOR SERVICIOS.**

Este parámetro se evalúa teniendo en cuenta que el servicio de mayor demanda hídrica en el área de estudio corresponde al servicio de recreación brindado por el Parque Nacional del Chicamocha, el cual tuvo un total de visitantes de 340.000 para el año 2.014.

$$DUS = \sum_{i=1}^n Ni * Fsi$$

Donde:

DUS= Demanda de agua para el sector de servicios

Ni= Número de establecimientos por tipo de servicio

Fcsi= factor de consumo por tipo de servicio

Fcsi=1m³/ Visitante

DUS= 340.000m³/año = 28.333m³/año.

Demanda de Agua total en el área de estudio para un mes cualquiera sería de:
81065.75111 m³/mes, ó **0.031275367 m³/s**

OFERTA HIDRICA SUPERFICIAL NETA: On

La oferta hídrica neta superficial se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$On = Ot * Reducciones;$$

Factor de Reducción por calidad del agua y por caudal ecológico, definido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM de 2004, así:

$$Fr = Ra + Rce$$

Ra = Reducción por calidad del agua = 25%

Rce = Reducción por caudal Ecológico = 25%

Tabla No.37 Evaluación entre la Oferta Hídrica y la Demanda Hídrica

EVALUACION OFERTA HIDRICA – DEMANDA HIDRICA		
CATEGORIA	RANGO (%)	DESCRIPCION
Alto	> 50	Demanda Alta
Medio Alto	21-50	Demanda Apreciable
Medio	11-20	Demanda Baja
Mínimo	1-10	Demanda muy Baja
No Significativo	< 1	Demanda no Significativa

Fuente: IDEAM.

Para la determinación del índice de escasez por tiempos hidrológicos secos, se tuvo en cuenta el valor correspondiente al caudal mínimo de permanencia es decir 30 m³/s, el caudal ecológico correspondiente al 25% es decir 16.42 m³/s. y el factor de reducción por calidad de agua de 25%.

La evaluación del índice de escasez en tiempos hidrológicos medios, se hace a partir del valor del caudal medio permanente es decir a partir de 110 m³/s

En base a lo anterior se tiene que:

Tabla No. 38 Índice de escasez

INDICE DE ESCASEZ			
CONDICIONES	Dh	Oh m ³ /s	le
MEDIAS	0.03	43.95	0.07
SECAS	0.03	8.33	0.38

Fuente: Datos de Estudio.

El índice de escasez evaluado en el área de estudio varía de 0.07% a 0.4 % dependiendo de las condiciones en la que se encuentre el sistema hídrico; en condiciones medias presenta una demanda de carácter poco significativo, en periodos de sequía, este índice aumenta, pero no considerablemente, indicando que aun en condiciones de sequía, el sistema continua en equilibrio.

CAUDAL DE DISEÑO.

A partir del análisis estadístico de caudal mínimo mensual se excluyen caudal ecológico y demanda hídrica, el valor que se obtiene es aquel que se sugiere para realizar el diseño de la obra, se recomienda tener en cuenta que enero, febrero y marzo pertenecen al periodo seco del año.

Tabla No. 39. Caudal de diseño.

TABLA CAUDAL DE DISEÑO												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAUD MIN	33.17	29.27	34.38	48.21	87.01	92.24	82.56	80.41	80.71	89.2	88.38	54.46
CAUD ECOL	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42	16.42
DEMANDA	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
CAUD DISEÑO	16.78	12.88	17.99	31.82	70.62	75.85	66.17	64.02	64.32	72.81	71.99	38.07

Fuente: Datos de Estudio.

CONCLUSIONES

- La litología predominante en la zona de estudio corresponde a rocas metamórficas de diferentes grados pertenecientes a la Formación Silgara, con intrusiones recurrentes de rocas ígneas del Granito de pescadero.
- El paisaje imponente del área de estudio es el resultado tanto del proceso de evolución geológica, la influencia de las fallas, como del proceso de meteorización desarrollado
- En el área de estudio se evidencian 4 fallas Locales de tipo Normal las cuales fueron referenciadas en el mapa geológico, y denominadas por los autores del presente estudio.
- La mayoría de los esquistos encontrados en el área de estudio son silíceos, y están relativamente sanos, por lo cual no presentan problemas especiales en túneles, los frentes regularmente son estables, las excavaciones a realizarse se pueden efectuar mecánicamente o por métodos de explosivos, y se pueden utilizar mecanismos de sostenimiento medios, dado a que los empujes no tienden a aumentar con el tiempo
- La evaluación Hidrogeológica del área de estudio permite establecer los parámetros ambientales que se deben tener en cuenta en el diseño de la obra, tales como el estado hídrico en el que se encuentra el sistema, es decir que para más del 50% de los años evaluados presenta superávit hídrico, lo cual implica que la implementación de una obra hidráulica de esta magnitud deberá efectuarse de tal forma que el equilibrio hídrico de la cuenca no se altere, por esta razón se recomienda mantener el caudal ecológico en $87.89\text{m}^3/\text{s}$, para hacer uso responsable de los recursos hídricos.

- El comportamiento de lluvias del área de estudio es de carácter bimodal, el primer periodo corresponde a los meses de abril – mayo, el segundo a septiembre – octubre, aunque en algunos años en el mes de diciembre se presentan fluctuaciones bastante importantes en el comportamiento de lluvias, en la estación de La Mesa de los Santos, es decir en la cuenca Oeste, como es el caso de diciembre de 2.014 que registro una precipitación de 615mm/mes, o en el año 2.000 donde registra una precipitación de 817mm/mes, siendo este último, un nivel muy alto de lluvias para un mes, ya que este valor se encuentra dentro de rango de precipitación que registra el área en un año.
- Los mayores caudales registrados en el área de estudio no se presentaron en temporadas de lluvia del área, ni en meses con precipitaciones altas, sin embargo estos se debieron generar por la presencia de una lluvia de alta intensidad que incremento el caudal instantáneo en más del 45% del valor medio.
- El caudal medio mensual del Rio Chicamocha en el área en estudio se encuentra entre 117.68m³/s. y 168.49 m³/s. lo cual garantiza que el rio cuenta con el caudal necesario para la generación de energía.
- A partir de la evaluación matemática y gráfica de balance hídrico del área en estudio, el sistema no refleja condiciones críticas en general, por lo cual se hace viable el desarrollo del proyecto de implementación de la central hidroeléctrica.

RECOMENDACIONES

En el reconocimiento de campo y la elaboración del mapa geológico y perfil geológico por el trayecto del túnel de carga se identificó una falla de tipo normal, de Rumbo ENE, que podría afectar las condiciones de diseño del túnel, la falla se denominó Falla los Cacaos, por esta razón se recomienda tener en cuenta este aspecto geológico en la perforación del túnel piloto, para que se identifique y de esta manera evaluar qué nivel de riesgo representa para la obra.

Se recomienda hacer perforaciones para establecer el espesor de las rocas presentes en el área de estudio, ya que su variabilidad es alta y por esto es complicado realizar un estimativo en superficie

Realizar ensayos de propiedades mecánicas de laboratorio para evaluar la resistencia de las rocas en el área donde está proyectado el túnel.

Realizar la evaluación de permeabilidad secundaria del macizo donde se realizaría el túnel de carga, ya que este se encuentra conformados por esquistos altamente fracturados.

Se recomienda hacer una captación de 26 a 30 m³/s y en los periodos secos de 12 a 16 m³/s basados en el caudal de diseño sugerido.

BIBLIOGRAFIA.

Análisis Morfométrico de una Cuenca tomado de: Pedro Pablo Villegas, Análisis Morfométrico de una Cuenca, Ingeniero Civil. Págs.: 1-5
www.aguasysig.com

ANLA Agencia Nacional de Licencias Ambientales, Volumen de explotación de material de arrastre contrato de concesión L 685 FA7-81 y L 685 FA7-82, Resolución número (1769) 28 de septiembre de 2007. Pág. 2.
http://www.anla.gov.co/documentos/res_1769_280907.pdf

ANM Agencia Nacional Minera, Volumen de Explotación de las minas de material de arrastre en el área de estudio, Contrato de concesión L 685 IHH-10391,
http://www.anm.gov.co/sites/default/files/atencion_minero/estado_no_40_par_buca_ramanga.pdf.

Araque Manuel E. y Navarrete H. Oscar. Estudio geológico-geotécnico del perfil de meteorización desarrollado en los esquistos de La formación las brisas. Octubre 2.010. Pág. 52

Hettner A., 1892 – Die Kordillere Von Bogotá: Gotha, Paternans Mitteil, Bd.22, Ergänzungsheft 104, 131 p.

IGAC. Instituto Agustín Codazzi, Santander, Aspectos Geográficos. Bogotá, 1984. Pag.32, 34 y 39.

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales. Sistema de Información Nacional Ambiental. Reporte de Estaciones (CEPITA, MOLAGAVITA, LA MESA, LA FUENTE Y PIEDECUESTA).

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales. Metodología para el cálculo del Índice de Escasez para aguas superficiales, pag, 12-32.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO-MINERAS,
BOLETIN GEOLOGICO, VOL XXI, 1973, GEOLGIA CUADRANGULOS H-12

BUCARAMANGA Y H13 PAMAPLONA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER, Dwight E. Ward Y Richard Goldsmith, Jaime Cruz B, Hernán Restrepo A. 1973. Págs. 12 - 36, 53 - 65, 99 - 101,

Luis I. González de Vallejo Ingeniería Geológica. 1990. Pág. 521

Instituto de Hidrología de España, Guía Internacional de la investigación y métodos, Métodos de Cálculo del balance Hídrico. 1.981. Pág.28

Ministerio de Minas y Energía, INGEOMINAS. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear. MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO DEPARTAMENTO DE SANTANDER, MEMORIA EXPLICATIVA, José María Royero Gutiérrez, Jairo Clavijo, 2001. Págs.: 15-16, 17-18, 21, 23-26, 41-42, 47-50.

UIS, Universidad Industrial de Santander, Grupo de Investigación sobre Desarrollo Regional Y Ordenamiento Territorial – GIDROT. Diagnóstico Dimensión Biofísico - Ambiental Territorial De Santander, 2011. Págs... 19,34.

UIS, Universidad Industrial de Santander, resultados de laboratorio, análisis de agua 2015

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. Zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa. Estandarización de geoformas de ambiente fluvial y lagunar. 2013. Págs.2, 5, 7, 9,15.

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. Zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa. Estandarización de geoformas de ambiente denudacional 2013. Págs.2 – 4, 18, 25, 32.

Sociedad Geográfica de Lima, Metodología para el cálculo de caudal de escorrentía, Balance Hídrico Superficial, Cartilla Técnica, 2011, pag: 34-35

http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Balance_Hidrico.pdf

Tablas Meteorológicas, Radiación Solar Extraterrestre, número de horas de sol, FAO;

<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex%202.%20meteorological%20tables>

Trumpy, D., 1934. - Pre Cretaceous of Colombia: Geol. Soc. America Bull., v54, p1281-1304.

ANEXOS

Anexo A.
Mapas mensuales de Temperatura

Anexo B.
Mapas mensuales de Precipitación

Anexo C.
Mapas mensuales de
Evapotranspiración

Anexo D.
Mapas mensuales de Balance Hídrico