

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDES MANIZALES Y MEDELLIN

EVALUACION HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA ALTA
DEL RÍO CHINCHINÁ

Manizales, 2001

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDES MANIZALES Y MEDELLIN

EVALUACION HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA ALTA
DEL RÍO CHINCHINÁ

ANA MARIA FRANCO VILLEGAS

Geóloga

Trabajo presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos

Manizales, 2001.

RESUMEN

La subcuenca alta del Río Chinchiná es una de las de mayor importancia en el Departamento de Caldas, por pertenecer a una región que se define como ecosistema estratégico productor de recursos naturales, como es el Parque Nacional Natural de Los Nevados, y además por contribuir a soportar la mayor población a escala regional establecida sobre la Cuenca del Río Chinchiná.

El presente estudio incluye un aporte al conocimiento de las características físicas territoriales de la región, y en detalle, el comportamiento hidrológico de la cuenca y del río para efectos de cuantificar, en términos probabilísticos, la posible ocurrencia de un evento de inundación que pudiera afectar a la población asentada en el Barrio La Playita.

SUMMARY

The high sub-basin of the Chinchiná River is one of those of more importance in the Department of Caldas, to belong to a region that is defined as strategic ecosystem producing of natural resources, like it is the Natural National Park Los Nevados, and also to contribute to support the biggest population to established regional scale on the basin of the Chinchiná River.

The present study includes a contribution to the knowledge of the territorial physical features of the region, and in detail, the hydrological behavior of the basin and of the river for effects of quantifying, in probabilistic terms, the possible occurrence of a flood event that could affect the population seated in the neighborhood of La Playita

TABLA DE CONTENIDO

[Resumen](#)

[Summary](#)

1 INTRODUCCIÓN

1. [Presentación](#)
2. [Antecedentes](#)
3. [Justificación](#)
4. [Objetivos](#)

[1.5 Metodología](#)

2. GENERALIDADES

[2.1 Localización Geográfica](#)

[2.2 Geología](#)

[2.3 Clima](#)

[2.4 Uso del suelo](#)

3. HIDROLOGIA

[3.1 Aspectos hidrológicos de la subcuenca](#)

[3.1.1 Distribución espacial de las lluvias](#)

[3.1.2 Análisis probabilístico de registros de lluvias](#)

[3.1.3 Períodos de retorno](#)

[3.2 Caracterización Morfométrica](#)

[3.2.1 Patrones y tipos de drenaje](#)

[3.2.1.1. Río Chinchiná](#)

2. [Parámetros morfométricos de la subcuenca](#)
 1. [Parámetro de Forma](#)

2. Parámetro de Relieve

3.2.2.3 Relativos a la red hidrográfica

3.2.3 Tiempo de concentración

3.3 Análisis estadístico de la Información

3.3.1 Presentación de la información

3.3.2 Análisis probabilístico de registros de caudal

3.3.2.1 Distribución Lognormal

3.3.2.2 Períodos de retorno

4. GEOMORFOLOGIA DETALLADA DEL TRANSECTO LUSITANIA – LA PLAYITA

4.1 Geometría del cauce

4.2 Infraestructura más importante presente en la zona

4.2.1 Sistema CHEC

4.2.2 Carretera Panamericana

4.2.3 Jardín Crematorio y Parque Cementerio La Esperanza

4. Barrio La Playita

3. Secciones transversales en el sector Lusitania – La Playita

1. Secciones Transversales
2. Pendiente media entre secciones
3. Coeficiente de rugosidad del cauce y orillas

4.3.4 Existencia o no de afluentes y efluentes

4.4 Modelamiento con HEC-RAS

5 CONCLUSIONES

6 RECOMENDACIONES

7 BIBLIOGRAFIA

LISTA DE FIGURAS

1. Mapa de localización de la subcuenca Alta del Río Chinchiná
2. Mapa geológico de la subcuenca Alta del Río Chinchiná

Realización de la serie de precipitaciones máximas mensuales

Estación La Nubia

1. Prueba de normalidad de la serie Estación La Nubia, ajustada con los logaritmos de los datos

2.

3.4 Mapa de patrones y tipos de drenaje

3.5 Curva hipsométrica de la subcuenca alta del Río Chinchiná

3.6 Realización de la serie de caudales máximos mensuales Estación

Sancancio

3.7 Realización de la serie de caudales máximos mensuales Estación Chupaderos

3.8 Ajuste de la serie de datos Estación Sancancio a la distribución

Lognormal

3.9 Prueba de normalidad de la serie Estación Sancancio ajustada con los logaritmos de los datos

1. Esquema de ubicación de estaciones
2. Sección transversal del Río Chinchiná correspondiente al perfil 2
3. Sección transversal del Río Chinchiná correspondiente al perfil 3
4. Sección transversal del Río Chinchiná correspondiente al perfil 4
5. Sección transversal del Río Chinchiná correspondiente al perfil 5
6. Sección transversal del Río Chinchiná correspondiente al perfil 6

LISTA DE TABLAS

3.1 Valores máximos de precipitación anual, estación La Nubia

2. Precipitación máxima en 24 horas (PT mm) asociada con su correspondiente período de retorno
3. Tiempo de concentración de la subcuenca alta del Río Chinchiná, obtenido por diferentes expresiones.
4. Presentación de las estaciones analizadas
5. Estadísticas descriptivas de las series de datos

Caudal máximo (Q_T m³/s) asociado con sus períodos de retorno correspondientes (T)

4.1 Resultados del modelamiento con HEC-RAS

1. INTRODUCCION

1.1 PRESENTACION

El trabajo de grado titulado "Evaluación del Comportamiento Hidrológico de las subcuencas alta y media del Río Chinchiná" se presenta como requisito para optar al título de Especialista en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, que ofrece la Universidad Nacional de Colombia en sus sedes Manizales y Medellín, bajo la dirección del Ingeniero FERNANDO MEJIA FERNANDEZ.

Este documento se obtiene gracias al auspicio de Corpocaldas y la Oficina Departamental de Prevención y Atención de Desastres, quienes han apoyado su realización y han aportado la información y los medios para la obtención de los resultados que aquí se presentan.

1.2 ANTECEDENTES

Estudios anteriores han identificado las amenazas que se presentan en los sectores del Barrio La Playita y aledaños, y que son de todo tipo: físico, social, económico, cultural.

La Corporación Autónoma Regional de Caldas Corpocaldas se ocupa de la utilización racional del recurso hídrico, y del óptimo uso del suelo con fines productivos y conservativos, realiza un adecuado ordenamiento ambiental, como parte del Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento, y formula estrategias de intervención en la cuenca hidrográfica como unidad territorial natural, en la cual se enmarcan las actividades humanas individuales y sociales que impactan altamente el medio a través de la extracción de los recursos naturales para satisfacción de sus necesidades.

En este gran objetivo se enmarca el Plan de Ordenamiento Ambiental de la Cuenca del Río Chinchiná, que se ha dividido en 9 subcuencas. Se prestará principal atención a las subcuencas alta y media, por ser de especial interés determinar el grado de riesgo en que se encuentra la población asentada en las cercanías a la ciudad de Manizales, con miras a tomar decisiones de carácter institucional en la solución definitiva de la aguda problemática que se presenta en el sector de La Playita.

1.3 JUSTIFICACION

Un segmento del Río Chinchiná atraviesa parte del sector urbano de Manizales. En su llanura de inundación se han asentado comunidades, sin tener en cuenta el

riesgo en que se encuentran, debido a la recurrencia en el tiempo de los eventos de inundación que tienen de manera natural todos los cauces.

Este es el caso del Barrio La Playita, y algunas viviendas en los alrededores hasta el sector de Los Cámbulos, donde se han construido barrios subnormales, de manera desordenada y sin observar el entorno natural que amenaza con destruirlos.

La comunidad del barrio y sectores adyacentes al río han entrado a afectar su dinámica natural a través de explotaciones de material de arrastre, vertimientos de desechos sólidos y líquidos, depositación de escombros y desprotección y erradicación del material vegetal de las riberas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Establecer el comportamiento hidrológico de las subcuencas alta y media del Río Chinchiná, con énfasis en la torrencialidad y sus efectos en el transecto Lusitania - La Playita, sector urbano de Manizales.

1.4.2 Objetivos Específicos

1.4.2.1 Analizar la cartografía geológica, geomorfológica y de uso del suelo en las subcuencas.

1.4.2.2 Establecer contornos inundables alrededor del cauce principal del Río Chinchiná, en el transecto mencionado.

1.4.2.3 Elaborar un análisis preliminar que explique la recurrencia de los períodos de inundación.

Evaluar la amenaza por inundación en el sector Lusitania – La Playita.

1.5 METODOLOGIA

Las inundaciones son una de las catástrofes naturales que mayor número de víctimas producen en el mundo, y representan un alto riesgo en amplias zonas del planeta.

Con el propósito de medir este riesgo, las inundaciones deben evaluarse desde el punto de vista probabilístico, asociando los eventos con su período de recurrencia.

Para tal efecto, los datos que se consideran en el estudio son las crecientes máximas obtenidas de las estaciones limnigráficas existentes, y los máximos de

lluvias en 24 horas (picos diarios) de las estaciones pluviográficas situadas en el área de influencia de la cuenca vertiente.

A continuación se relacionan las estaciones consideradas en el estudio:

Estación	Entidad	Tipo	Ubicación		Años de Registros
			Latitud	Longitud	
Chupaderos	IDEAM	LG	0503 N	7531 W	10
La Nubia	IDEAM	SP	0502 N	7528 W	30
6 – 939	CHEC	LG			3
Sancancio	CHEC	LM			21

Una vez conseguidos los datos hidrométricos de la cuenca, se procede a realizar un ajuste de la serie de valores máximos anuales a una distribución teórica de probabilidad; las distribuciones Gumbel y Lognormal, son las que típicamente se utilizan en eventos máximos y sus períodos de retorno.

En el método de Gumbel se parte de la hipótesis de que los valores de los caudales máximos anuales se pueden representar estadísticamente con una función de distribución de probabilidades de la forma:

$$F_G(q) = \exp \left\{ - \exp \left(\frac{q - a}{c} \right) \right\}$$

donde

q Variable que representa a los caudales máximos anuales

$F_G(q)$ Función de distribución de probabilidades de los caudales máximos anuales

a, c Parámetros de la función. Se estiman a partir de los caudales máximos registrados.

exp Base de los logaritmos naturales.

La relación con el período de recurrencia se da de la siguiente manera: Al tomar dos veces logaritmos naturales en la anterior ecuación, se tendrá que:

$$\text{LnLn}\left(\frac{1}{F_g(q)}\right) = \frac{q-a}{c}$$

O bien,

$$\text{LnLn}\frac{T_m}{T_m-1} = \frac{q-a}{c}$$

Donde:

T_m Período de retorno en años, asociado al caudal q , cuyo recíproco es la probabilidad de que en un año cualquiera ocurra este caudal o uno mayor.

De igual manera, se elaborará una distribución Lognormal de la forma

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

$$x > 0; \quad \mu_y = y; \quad \sigma_y = S_y$$

Donde $y = \log x$.

Tanto el modelo obtenido con la distribución Lognormal como el de la distribución Gumbel, serán sometidos a una prueba estadística de bondad del ajuste, con el fin de contar con un criterio matemático de elección del modelo más probable.

Conociendo los niveles a los que se sitúa el Barrio La Playita y sectores aledaños de interés, pueden conocerse los niveles de inundación, y las crecientes máximas que puedan generarlo.

Con estos resultados se asume obtenida la amenaza, es decir, la probabilidad de que ocurra un evento máximo para escenarios probables de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Procedimiento:

Análisis de la cartografía geológica, geomorfológica y de uso del suelo, con el fin de establecer las características físicas de la cuenca y su respuesta al desagüe.

Análisis estadístico de la información suministrada por las diferentes estaciones; con ésta se elaborará la distribución Gumbel de valores máximos, para establecer la amenaza por inundación en el transecto Lusitania - La Playita; y una distribución Lognormal con el objeto de establecer una comparación entre ellas.

Trabajo de campo. Visualización y ubicación de niveles de terrazas aluviales, con el fin de establecer inundaciones o niveles antiguos del río, y así obtener una aproximación a la evolución de la dinámica fluvial. De igual manera, se elaborarán las secciones transversales que sean necesarias en el Río Chinchiná, transecto Lusitania – La Playita, para obtener los parámetros físicos del cauce. (Rugosidad, pendiente media, niveles).

Con la información recolectada se elabora el mapa de amenazas por inundación, ubicando los contornos inundables y las diferentes zonas urbanas y suburbanas con el fin de mostrar gráficamente los períodos de retorno de las crecientes.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La subcuenca alta del Río Chinchiná se sitúa en el sector centro – sur del Departamento de Caldas, sobre el flanco occidental de la Cordillera Central; cuenta con 207.67 Km² de área, y su colector principal, el Río Chinchiná, drena sus aguas hacia el Río Cauca.

Se enmarca en las coordenadas

$$X = 1'175.000 \text{ m E}$$

$$Y = 1'052.000 \text{ m N}$$

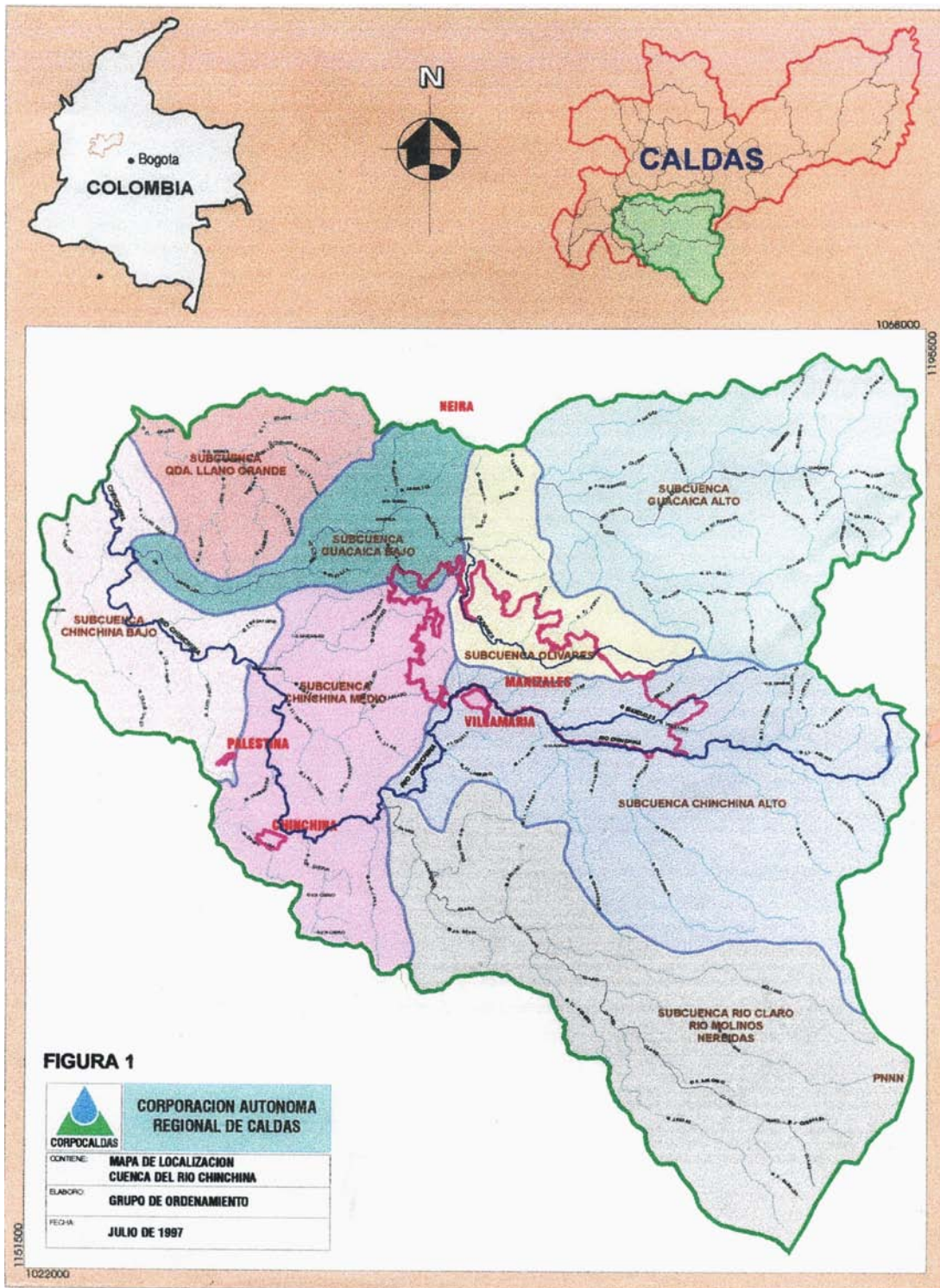
$$X = 1'195.000 \text{ m E}$$

$$Y = 1'037.500 \text{ m N}$$

Con origen en Bogotá, según planchas 206 III B, 206 III D, 206 IV A, 206 IV C del IGAC.

Dentro del territorio de estudio se encuentra parte de las áreas urbanas de Manizales y Villamaría

La subcuenca limita al norte con los sistemas hídricos de Guacaica Alto y Olivares, al sur con la subcuenca del Río Claro, al este con la cuenca del Río Gualí y al oeste con la subcuenca del Chinchiná Medio. (Ver figura 2.1).



2.2 GEOLOGÍA

La subcuenca alta del Río Chinchiná presenta seis unidades litológicas, (Ver figura 2.2), que muestran principalmente el basamento de la Cordillera Central y su historia volcánica reciente y subreciente.

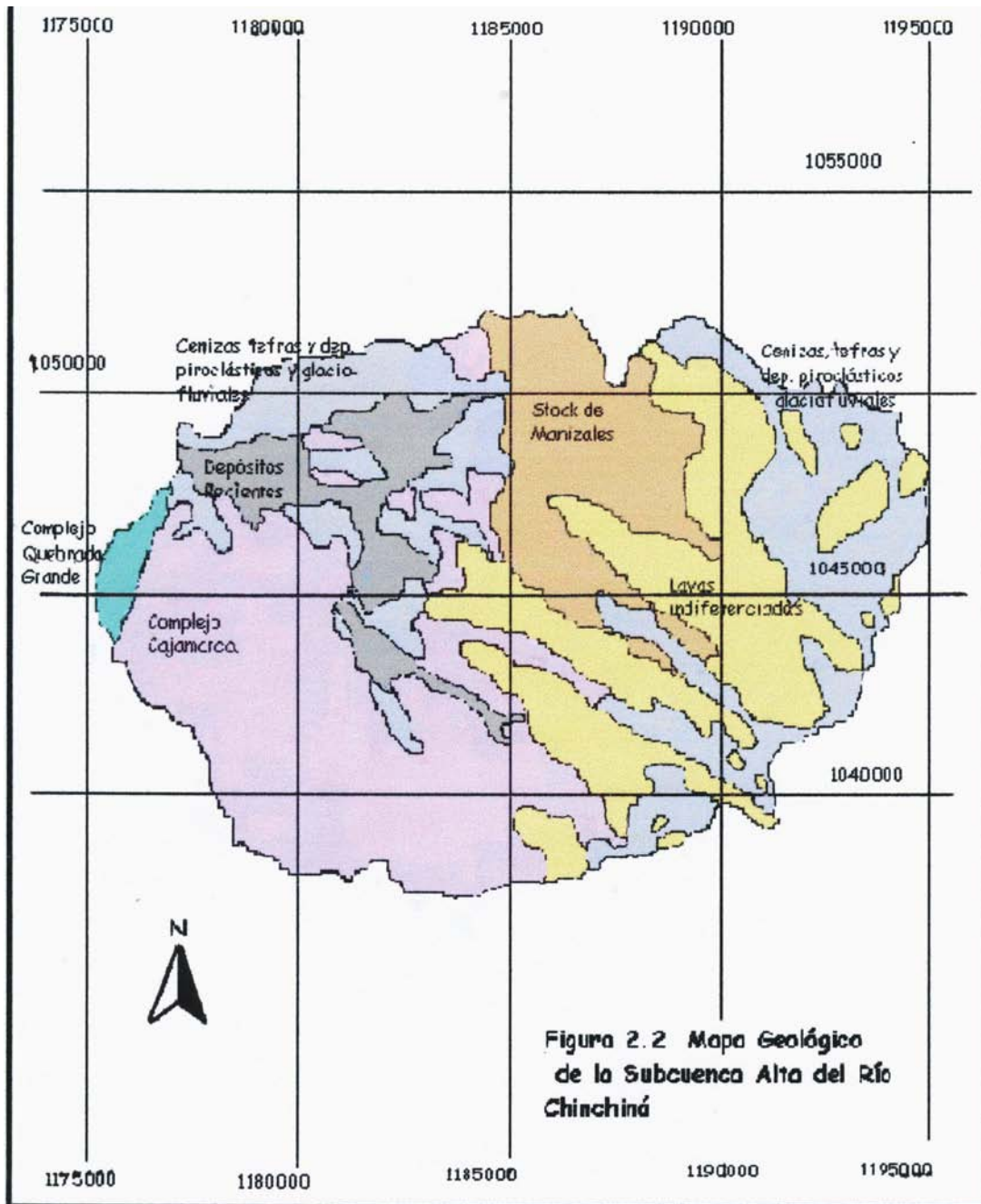
2.2.1 PALEOZOICO

2.2.1.1 Complejo Cajamarca

Este nombre se utiliza para describir el conjunto de rocas metamórficas que constituyen el núcleo de la Cordillera Central y que corresponde a una secuencia incompleta, pues no se conoce el techo ni la base, ni es posible estimar, con cierta precisión el espesor debido al plegamiento complejo y ausencia de capas guías. Así como en extensión, varían ampliamente en composición y son el resultado de varios episodios metamórficos regionales o de contacto de intensidad variable. (INGEOMINAS, 1993)

En el área sur y parte del centro y norte de la subcuenca aflora la Unidad de Esquistos Sericíticos denominada Pes en la literatura geológica. Son rocas de color grisáceo a negro, localmente con bandeamiento composicional, de grano fino a muy fino, bien foliadas, generalmente replegadas, con venas de cuarzo lechoso de segregación metamórfica que se acomodan a la forma de los plegamientos.

Los esquistos se han originado a partir de una secuencia sedimentaria pelítica con intercalaciones de arenitas cuarzosas en un ambiente de plataforma continental con condiciones reductoras que permiten la preservación de la materia orgánica.



2.2.2 MESOZOICO

2.2.2.1 Complejo Quebradagrande

Conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias que afloran en el flanco oeste de la Cordillera Central al occidente de la Falla de San Jerónimo y al este de la Falla de Silvia – Pijao, y hasta el Río Cauca.

El complejo caracterizado por intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias, presenta variaciones litoestratigráficas tanto en la secuencia sedimentaria como en la relación de intercalaciones de derrames volcánicos y capas piroclásticas. Los derrames se prolongan por centenares a miles de metros para luego acuñarse. (INGEOMINAS, Op. cit.)

En el sector occidental del área de estudio aflora una pequeña porción de la unidad sedimentaria denominada Ksc y puede variar en características litológicas de un sector a otro, pero en conjunto puede considerarse constituida por una secuencia epiclástica con estratificación fina, de color gris verdoso a negro, con grauvacas silíceas, localmente con chert, calizas y bancos de conglomerado polimíctico. Es común encontrar venas y lentes concordantes y discordantes de cuarzo lechoso y por lo general, las rocas de esta unidad desarrollan un clivaje pizarroso y de fractura paralelo a la estratificación original; en los conglomerados se desarrolla un clivaje de fractura y los cantos son elipsoides y aplastados, definiendo una alineación elongada.

2.2.2.2 Stock de Manizales

Esta unidad aflora en el sector norte de la subcuenca y corresponde a un cuerpo rocoso de composición predominantemente tonalítica localizado sobre el flanco occidental de la Cordillera Central, denotado en el mapa geológico como KTcdm

La Unidad general aflora al norte del Nevado del Ruiz, constituyendo un cuerpo de forma ovalada con su dimensión mayor paralela al eje de la Cordillera. En gran parte está cubierto por rocas piroclásticas de la actividad volcánica reciente en el área. Intruye rocas metamórficas del Complejo Cajamarca con una aureola de contacto bien definida.

2.2.3 CENOZOICO

2.2.3.1 Lavas indiferenciadas

Se llama de esta manera a la unidad que aflora en el sector oriental de la subcuenca, con una dirección preferencial NW. Se denota con TQa y está compuesta por numerosos flujos de lava del Mioceno – Pleistoceno, producto de un volcanismo aparentemente asociado con fracturas tensionales que sirvieron de conducto al magma para su migración hasta superficie. (INGEOMINAS, Op. cit.)

Estos flujos son constituidos por coladas de lava andesítico – dacíticas, localmente basálticas, que forman una serie de mantos superpuestos que se extienden en forma de flujos descendentes hasta 30 Km de los centros de emisión. Las rocas son porfídicas con fenocristales de plagioclasa y máficos en una matriz vítrea. Las lavas no alteradas son de color gris y toman un color rojizo al alterarse por oxidación de los ferromagnesianos.

2.2.3.2 Depósitos Piroclásticos y Glaciofluviales

Esta unidad aflora en los sectores NE y NW de la subcuenca. Se asocia con la unidad de depósitos glaciares definido como Qg en el mapa geológico del Departamento de Caldas. (Ingeominas, 1993). En la zona del Volcán Nevado del Ruiz, por encima de los 4.500 m s.n.m., se encuentran las nieves perpetuas como testigos de la última glaciación. Hoy en día con la reactivación del volcán se observa un retroceso de estas capas y una cubierta de tefras, pero aún pueden reconocerse geofomas glaciares como circos, valles en "U", morrenas laterales y terminales y rocas estriadas en las paredes de las artesas. Existe evidencia de campo y dataciones que indican al menos, dos avances de los glaciares durante el Pleistoceno y uno durante el Holoceno. Los glaciares no diferenciados se encuentran en los alrededores del Nevado del Ruiz y corresponden a una cubierta de detritos glaciares "drift" compuesta por diversas clases de depósitos glaciares.

2.2.3.3 Depósitos Recientes

Estos depósitos se encuentran en la zona centro y NW de la subcuenca, superpuestos a la unidad de Depósitos Piroclásticos y Glaciofluviales, principalmente distribuida en los valles aluviales. Generalmente se trata de llanuras producidas por repetidas inundaciones y en algunos casos por flujos de lodo posiblemente relacionados a rápidos deshielos. Están constituidos por bloques, gravas, arenas y limos en diversas proporciones, embebidos en una matriz areno – arcillosa.

2.3 CLIMA

La ubicación topográfica y altitudinal de la subcuenca en estudio determina el comportamiento del clima en ella; los parámetros más utilizados para describir el clima en un área cualquiera son la lluvia y la temperatura, y su distribución espacial y temporal.

En general, la pluviosidad en el área corresponde a las condiciones tropicales, con una alternancia regular de períodos de lluvia y secos. Puede decirse que en la cordillera llueve todo el año en montos variables, dependiendo de la altitud y de las condiciones geográficas. Así, la distribución general será de dos períodos de máxima lluvia que corresponden a abril – mayo y octubre – noviembre, y dos períodos de mínima lluvia enero – febrero y julio – agosto.

El área de estudio cuenta con los pisos térmicos templado y frío, y la distribución espacial de las lluvias es ascendente hasta los 2300 m s. n. m., donde comienza a descender con el aumento de la altura; las zonas más altas del área de estudio son las menos lluviosas, proporcionalmente.

En general, la temperatura media anual varía desde los 16.3 ° C a una altura de 2000 m s. n. m. A los 4.6 ° C a una altura de 4150 m s. n. m. (Auditoría Ambiental Ltda, 1994).

2.4 USO DEL SUELO

Debido a las condiciones climáticas y físicas de la subcuenca alta del Río Chinchiná, ésta no presenta usos tan variados como se pueden dar en otros sitios de la cuenca general.

Las limitantes climáticas y físicas son en especial la temperatura, la velocidad del viento, la baja pluviosidad, los altos escarpes, y la poca disponibilidad de materia orgánica, que no favorecen el desarrollo de horizontes de suelo orgánico que sustenten la vegetación y por ende, los ecosistemas naturales completos. (Auditoría Ambiental Ltda. Op. cit.)

Las coberturas vegetales que se encuentran en la subcuenca son:

- Bosques naturales: Equivale al 34% de la superficie de la subcuenca, y en general cubre áreas de difícil intervención por la accidentalidad del terreno y por la falta de accesos.
- Bosques plantados: principalmente comerciales y para reforestación protectora – productora, cubre aproximadamente el 6.3% del área de estudio.
- Rastrojos, se distribuyen ampliamente en la subcuenca alternando con pastos, bosque natural y cultivos.
- Cultivos: en general frutales de clima frío y papa. Esta forma de utilización del suelo conlleva desequilibrios debidos a la gran cantidad de agroquímicos que requieren en su desarrollo vegetativo, ya que contaminan las aguas corrientes después del arrastre provocado por las lluvias; además de esto, los cultivos necesitan un suelo limpio para su crecimiento, y esto favorece su pérdida durante los períodos lluviosos, debido a la falta de cubierta vegetal protectora.

- Pastos naturales y cultivados: Es la cobertura más generalizada en el área de estudio, equivalente aproximadamente al 41% de la superficie. Las extensiones en este uso han sido extraídas de áreas con vocación predominantemente forestal o de zonas de páramo y subpáramo, lo cual introduce una situación crítica ya que estas zonas cumplen una importante función en la economía hídrica como retenedoras de humedad y son áreas de especial significado ambiental por su alta fragilidad y por ser un importante soporte de biodiversidad.
- Vegetación herbácea: Se encuentra por encima de los 3.200 m s.n.m. y pertenece a la zona amortiguadora del Parque Natural de Los Nevados. Se encuentra en zonas escarpadas cuyas características climáticas son severas con baja precipitación y temperatura, que no permiten el desarrollo de vegetación de alto porte.

Los usos a que se destina el territorio están principalmente en industrial, residencial, cultivos, ganadería y tierras eriales.

3. HIDROLOGIA

3.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS DE LA SUBCUENCA

3.1.1 Distribución espacial de las lluvias

El sistema de la subcuenca presenta las zonas de laderas montañosas como las más lluviosas; parece ser que la expresión de este fenómeno radica en una relación lluvia – altitud que consiste en el incremento de la lluvia con el aumento de la altura, hasta alcanzar el óptimo o pico pluviométrico, a partir del cual se presenta una disminución absoluta hacia grandes alturas.

El estudio de Auditoría Ambiental Ltda. Para CHEC, EPM y Corpocaldas, realizó un análisis de distribución espacial de las lluvias, basado en la información de 11 estaciones pluviométricas, tomando un período homogéneo de análisis de 10 años comprendidos de 1980 a 1989, cuyos resultados se recogen en el presente informe y se relacionan a continuación:

" El marco altitudinal para el área de estudio se extiende desde los 1800 a los 4600 m s. n. m. Se observa como tendencia general que los valores más altos de precipitación se encuentran hacia la parte baja entre los 1800 a 2200 m s. n. m., faja que puede distinguirse como un óptimo pluviométrico secundario, en el cual los valores de precipitación oscilan entre los 2000 y 3000 mm anuales.

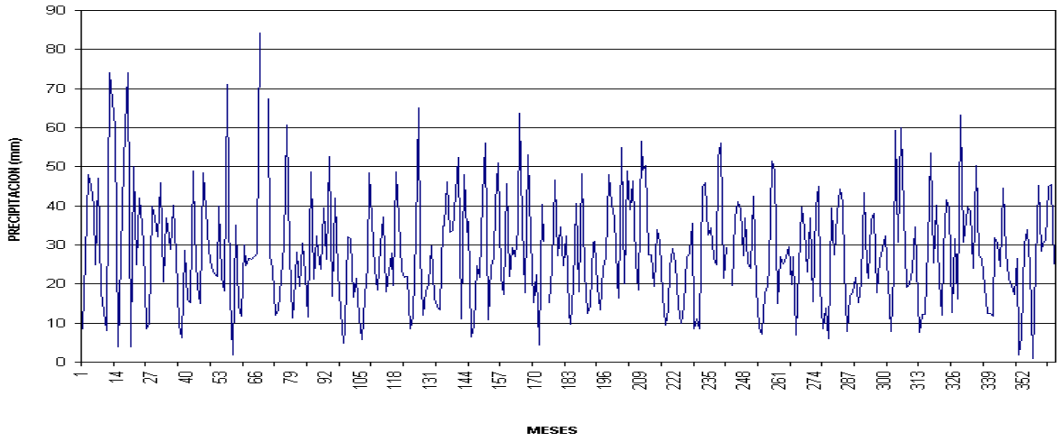
A partir de los 2200 m la cantidad de precipitación inicia su disminución hacia grandes alturas, hecho que explica el por qué la faja altitudinal anteriormente descrita puede considerarse como un óptimo secundario, ya que el máximo de lluvias corresponde con los 3000 mm a una altura aproximada de 1400 m.

Entre los 2200 a 3200 m se ubica una franja con valores pluviométricos anuales medios que oscilan entre los 2000 y los 1500 mm.

Las zonas menos lluviosas al interior del área de estudio se localizan entre la franja altitudinal de los 3200 a los 4600 m, en donde los valores máximos de lluvia al año no superan los 1500 mm. A esta franja corresponden las grandes alturas y el Parque de Los Nevados."

3.1.2 Análisis probabilístico de registros de lluvias

Como un complemento a la caracterización hidrológica de la subcuenca desde el punto de vista pluviométrico, se presenta el análisis realizado sobre los datos de lluvias máximas procedentes de la estación sinóptica principal del Aeropuerto La Nubia, que reporta los datos máximos mensuales en 24 horas, con cuatro datos faltantes. Se complementó la serie aplicando la técnica de interpolar la media de la serie mensual multianual en los espacios con ausencia de dato.



La

realización de la serie mensual se muestra en la figura 3.1

Figura 3.1 Realización de la serie de precipitaciones máximas mensuales. Estación La Nubia.

Se ensayó el ajuste de esta serie a una distribución Gumbel, pero se pudo concluir que éste no es satisfactorio. Por esta razón se ajustó la serie a una distribución Lognormal, que demostró ser la mejor de las distribuciones para este caso. Ver figura 3.2.

El análisis elaborado en el Paquete Minitab ® muestra los siguientes resultados:

Parámetro de localización: 3.95947

Parámetro de escala: 0.19129

La prueba gráfica de normalidad de la serie de Anderson-Darling para la serie de datos La Nubia se muestra en la figura 3.2.

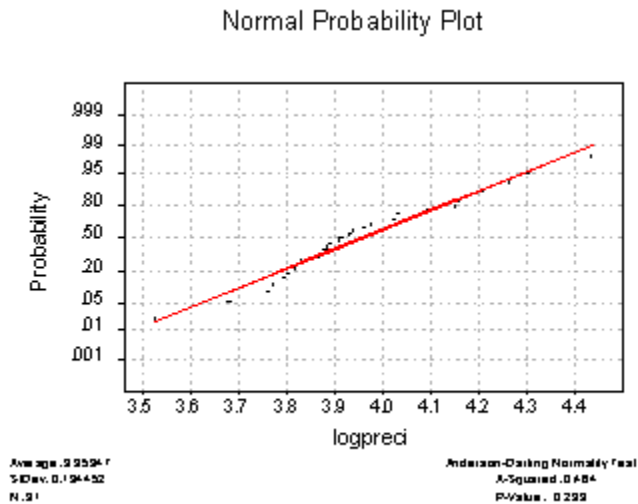


Figura 3.2 Prueba de normalidad de la serie Estación La Nubia, ajustada con los logaritmos de los datos.

De igual manera se realizó el análisis de estacionalidad de la serie, mediante el programa Statgraphics Ver. 5.0. La figura 3.3 muestra la media mensual multianual y la variación de cada dato con respecto a la media, empezando en enero y terminando en diciembre, de donde se confirma el comportamiento bimodal de las lluvias que se registran durante el año en este sector geográfico, con máximos en el valor de la media correspondiente a los meses de abril y octubre.

3.1.3 Períodos de retorno.

Para establecer los eventos máximos anuales de lluvia en los períodos de retorno indicados, se trabaja con la serie de máximos anuales de lluvias en 24 horas.

Se asume que

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T}$$

La serie de registros máximos anuales presenta 31 datos y se muestra en la tabla 3.1

Año	Precipitación (mm)	Año	Precipitación (mm)
1968	43.0	1984	48.0
1969	74.0	1985	56.5
1970	50.0	1986	34.0
1971	48.9	1987	46.0
1972	71.0	1988	56.0
1973	84.5	1989	51.5
1974	67.4	1990	39.7
1975	48.7	1991	45.0
1976	52.6	1992	43.5
1977	48.5	1993	60.0
1978	65.0	1994	53.5
1979	46.1	1995	63.0

1980	56.0	1996	50.2
1981	51.0	1997	44.5
1982	63.8	1998	45.5
1983	48.3		

Tabla 3.1 Valores máximos de precipitación anual, estación La Nubia.

La serie de valores máximos de precipitación anual presenta los siguientes descriptores:

$$n = 31$$

$$x = 53.571$$

$$\sigma = 10.7437$$

Las lluvias máximas en 24 horas asociadas a períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años se presentan en la tabla 3.2:

Período de Retorno	Probabilidad de no ocurrencia	Probabilidad de Ocurrencia		Precipitación máxima
T	P	1-P	Percentil	P _T (mm)
5	0.2	0.8	80	61.5879
10	0.1	0.9	90	66.9951
25	0.04	0.96	96	73.2853
50	0.02	0.98	98	77.6594
100	0.01	0.99	99	81.8165

Tabla 3.2 Precipitación máxima en 24 horas (P_T mm) asociada con su correspondiente período de retorno (T).

3.2 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

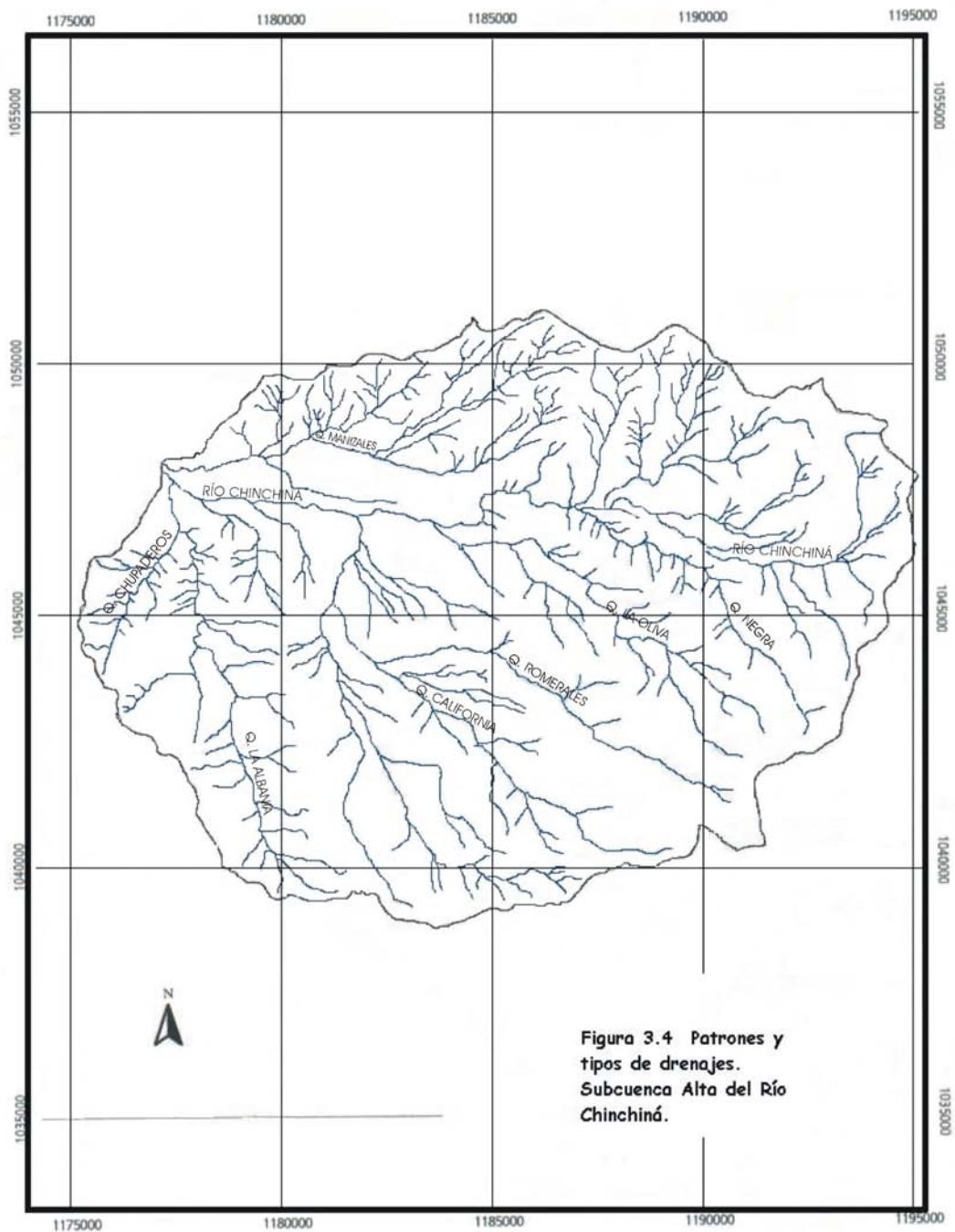
3.2.1 Patrones y tipos de drenaje

Para efectos de visualizar patrones de drenaje, la subcuenca se ha dividido en tres unidades, como puede apreciarse en la figura 3.4.

La unidad A situada al occidente de la subcuenca, exhibe un patrón típicamente dendrítico, que se desarrolla sin una dirección preferencial y está caracterizado por los ramales irregulares de las corrientes tributarias. Esta unidad muestra un patrón integrado de alta densidad, con muchas corrientes cortas de primer orden

que presentan longitudes aproximadamente iguales, que se unen a un colector secundario; estas son: Quebrada La Albania, Quebrada El Molino y Quebrada La Mina.

La unidad B se localiza al sur y al noreste de la subcuenca, muestra un patrón subparalelo, integrado, de mediana densidad. Este patrón es



intermedio entre el paralelo y el dendrítico, y se presenta en regiones de alto relieve, por lo cual se dice que está controlado por la pendiente. Este patrón se observa mejor en las Quebradas El Diamante, Las Mulas y Favorita.

La unidad C se localiza en el centro, occidente y noreste de la subcuenca, y ocupa el mayor porcentaje del territorio vertiente. Presenta un patrón paralelo, integrado, de densidad mediana a baja. La zona media y sur de la subcuenca presenta paralelismo entre corrientes y tributarios en una dirección preferencial noreste. En la zona norte de la subcuenca, el patrón se hace más denso y se observa paralelismo entre el colector secundario (Quebrada Manizales) y el principal (Río Chinchiná).

3.2.1.1 Río Chinchiná

El colector principal de la subcuenca tiene una longitud de 23.12 Km en el área de estudio, con una dirección preferencial de recorrido E – W, aunque presenta algunos ángulos que indican un control básicamente generado por la litología subyacente. Según la técnica de ordenación de corrientes de Horton (Chow, 1994), el río Chinchiná es de orden 5 en el transecto final del área considerada.

Es necesario analizar la incidencia que tiene la expresión morfológica de la subcuenca de drenaje sobre la capacidad de evacuación de las aguas que escurren desde zonas altas, ya que, siendo ríos de montaña, sus condiciones hidráulicas deben ajustarse a las características físicas de la cuenca, como son: alta pendiente, que se asume como alta velocidad de las aguas de escorrentía, condiciones geomecánicas de alta resistencia de las rocas constituyentes (principalmente rocas volcánicas) que se asocia con baja producción de sedimentos y construcción de valles estrechos y profundos, horizontes de suelo poco desarrollados debido principalmente a la lentitud de la meteorización en climas fríos, además de la alta intervención humana sobre el territorio que modifica la presencia y densidad de vegetación, por lo tanto, sus efectos reguladores en la hidrología.

3.2.2 Parámetros morfométricos de la subcuenca

Para evaluar las condiciones topográficas, morfológicas y reológicas de una cuenca de drenaje es necesario cuantificar sus características físicas, de tal manera que se disponga de una herramienta que permita conceptualizar en términos matemáticos los correspondientes parámetros descritos en la literatura de manera cualitativa.

Estos parámetros permiten también identificar posibles características que favorezcan o no a ciertos fenómenos que se estén analizando; así, puede identificarse si la cuenca presenta un tiempo de concentración que pueda

considerarse como factor de riesgo, si presenta o no modificaciones o controles originados en las estructuras geológicas, etc.

Las variables medidas para la subcuenca alta del Río Chinchiná son las siguientes:

Area	207.67 Km ²
Perímetro	61.94 Km
Longitud total de canales	410 Km
Longitud del canal principal	23.12 Km
Cotas extremas de la cuenca	1900 – 4100
Pendiente media de la cuenca	33.95 %
Pendiente media del canal principal	3.25%

Estos parámetros fueron obtenidos por el Sistema de Información Geográfica ArcView 3.1, que se encuentra instalado en Corpocaldas, en el cual se encuentran digitalizadas las planchas topográficas y los mapas temáticos que se requieren para la obtención de la información y cuyos datos, transformaciones y resultados son propiedad exclusiva de la Corporación.

3.2.2.1 Parámetro de forma

La forma de una cuenca influye sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación dada. Así, en una cuenca de forma alargada el agua discurre en general por un solo cauce principal, mientras que en otra de forma ovalada los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal, por lo que la duración del escurrimiento es superior. (Tragsa, 1994).

El índice que se emplea para representar esta característica es el Coeficiente de Gravelius, que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra teórica circular de la misma superficie. Su expresión es la siguiente:

$$C_g = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde:

C_g = Coeficiente de Gravelius

P = Perímetro de la cuenca en Km

A = Area de la cuenca en Km²

El valor que toma esta expresión es siempre mayor que la unidad y crece con la irregularidad de la forma de la cuenca, estableciéndose la siguiente clasificación:

C _g	Forma
1.00 – 1.25	Redonda
1.25 – 1.50	Ovalada
1.50 – 1.75	Oblonga

Para la cuenca alta del Río Chinchiná el coeficiente de Gravelius muestra un valor de:

$$C_g = \frac{61.94 Km}{2\sqrt{\pi(207.67 Km^2)}}$$

$$C_g = 1.2125$$

El coeficiente de Gravelius cercano a la unidad indica gran potencial torrencial debido a que disminuye el tiempo de concentración, dado que más puntos distantes de la cuenca tienen aproximadamente la misma distancia de recorrido de las aguas hasta el punto de desagüe.

3.2.2.2 Parámetro de relieve

La influencia del relieve sobre el hidrograma es aún más evidente. A mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del curso principal. Los parámetros más utilizados son los siguientes:

* Curva hipsométrica: Representa gráficamente cotas de terreno en función de las superficies correspondientes. Para realizarlo se lleva, a escalas convenientes, la altitud dada en las ordenadas y la superficie de la cuenca, para la cual cada punto tiene de cota al menos igual a esa altitud, en proyección horizontal en las abscisas. Esta última se obtiene planimetrando la superficie correspondiente al área definida en la cuenca entre la curva de nivel cuya cota se ha definido en las ordenadas y los límites de la cuenca por encima de la citada cota; verificándose esta operación para todos los intervalos seleccionados en las ordenadas.

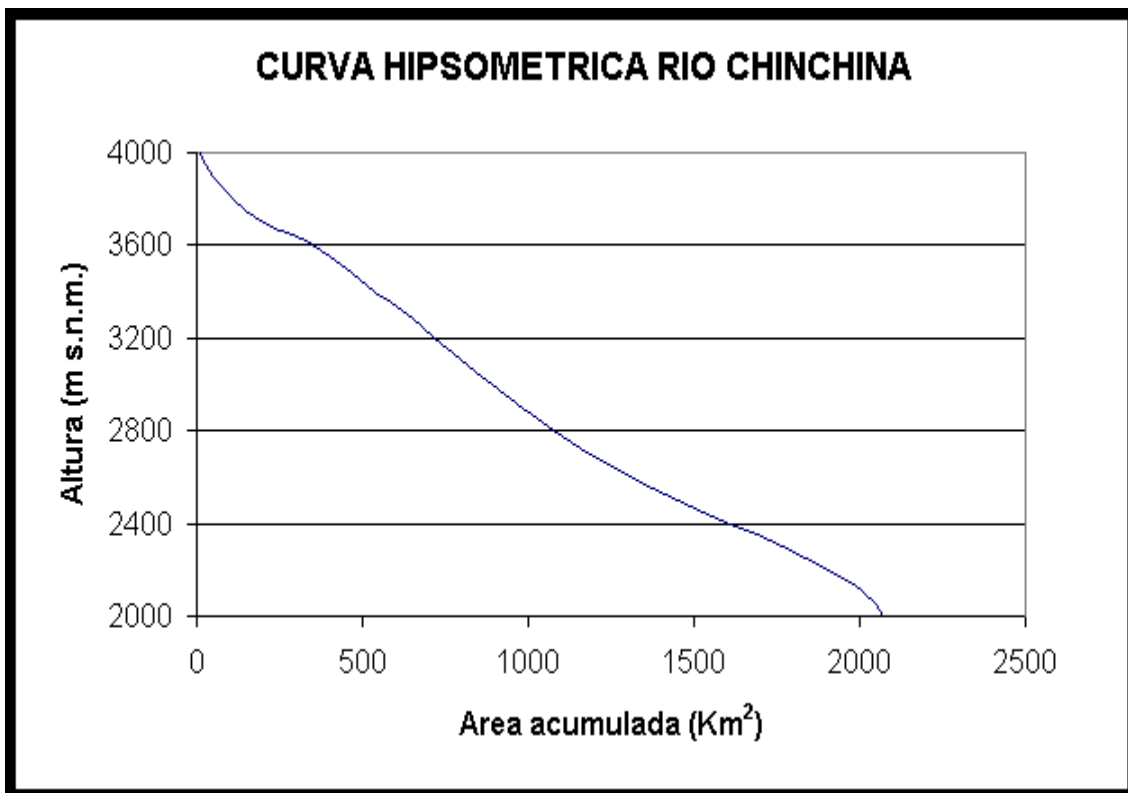
La curva hipsométrica mostrada en la figura 3.5, permite caracterizar el relieve. Una pendiente fuerte en el origen hacia cotas inferiores indica llanuras o penillanuras; si la pendiente es muy fuerte hay peligro de inundación. Una

pendiente muy débil en esa parte revela un valle encajonado. Una pendiente fuerte hacia la parte media indica una meseta. (Tragsa, 1994).

3.2.2.3 Parámetros relativos a la red hidrográfica

Se denomina red hidrográfica al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales y subterráneos de la cuenca.

Un patrón de drenaje es función de la relación infiltración – declive, la cual depende de las características de los materiales constituyentes. En general, un patrón de drenaje bien desarrollado implica relativamente baja pendiente y materiales relativamente impermeables.



Estos parámetros se definen con base en las siguientes expresiones:

Densidad de drenaje: Para una cuenca dada, se define como la longitud media de curso por unidad de superficie.

Se define mediante la expresión:

$$D = \frac{\sum L_i}{A}$$

Donde:

D = Densidad de drenaje (Km^{-1})

$\sum L_i$ = Suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (Km.)

A: Superficie de la cuenca. (Km^2)

Para la subcuenca alta del Río Chinchiná, la densidad de drenaje calculada con la expresión anterior es:

$$D = \frac{410\text{Km}}{207.67\text{Km}^2}$$

$$\mathbf{D = 1.97 \text{ Km}^{-1}}$$

En términos generales, cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo.

En efecto, al ser la densidad de drenaje alta, una gota deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor; por lo tanto, los hidrogramas en principio, tendrán un tiempo de concentración corto.

* Alejamiento Medio: Es un coeficiente que relaciona el curso de agua más largo con la superficie de la cuenca.

Su expresión es:

$$a = \frac{L}{\sqrt{A}}$$

Donde:

a = Alejamiento medio

L = Longitud del curso de agua mas largo (Km)

A = Superficie de la cuenca (Km^2)

El valor de este parámetro obtenido para la cuenca en estudio es el siguiente:

$$\alpha = \frac{23.12 Km}{\sqrt{207.67 Km^2}}$$

$$\mathbf{a = 1.60}$$

3.2.3 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda una gota de agua en llegar de las partes mas alejadas de la cuenca al sitio de interés. Este parámetro es muy importante en los modelos lluvia – escorrentía, pues la duración de la tormenta de diseño se calcula con base en él.

Puede deducirse la clara relación que tiene este parámetro con los variables morfométricas, tales como el área de la cuenca, el perímetro, la pendiente media, la longitud del cauce principal, y otras más.

Existen numerosas expresiones para determinar el tiempo de concentración. En el presente estudio se asumen las propuestas por Zuluaga, Valencia y Saldarriaga (Velez y Smith, 1997) con base en registros para 16 cuencas de Antioquia.

$$T_c = 0.718 \left(\frac{L}{S_0^{0.255}} \right)^{0.648} \quad (1)$$

$$T_c = 1.169 \left(\frac{A}{S_0^{0.238}} \right)^{0.365} \quad (2)$$

$$T_c = 0.658 \left(\frac{L}{S_0^{0.25}} \right)^{0.671} \quad (3)$$

$$T_c = 1.160 \left(\frac{A}{S_0^{0.25}} \right)^{0.362} \quad (4)$$

T_c : Tiempo de concentración en horas.

L : Longitud del canal principal

A : Area de la cuenca en kilómetros cuadrados.

S_0 : Pendiente del río en m/m.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la aplicación de las distintas expresiones:

Expresión	1	2	3	4
T_c	8.1079	10.0568	8.0343	9.9052
	8h 6m 29s	10h 3m 24s	8h 2m 3s	9h 54m 19s

Tabla 3.3 Tiempo de concentración de la subcuenca alta del Río Chinchiná, obtenido por diferentes expresiones.

3.3 ANALISIS ESTADISTICO DE LA INFORMACION

3.3.1 Presentación de la información

Los datos utilizados fueron obtenidos de las estaciones que se presentan a continuación:

Nombre	Código	Tipo	Entidad	Latitud	Longitud	Altitud	Período
Chupaderos	2615708	LG	IDEAM	0503 N	7531 W	2040	1988-1997
La Nubia	2615511	SP	IDEAM	0502 N	7528 W	2080	1968-1998
Sancancio	6-939	LM	CHEC			2125	1979-1999

Tabla 3.4 Presentación de las estaciones analizadas.

La estación limnigráfica de Chupaderos se encuentra sobre la corriente del Río Chinchiná, cerca de la desembocadura de la Quebrada Chupaderos.

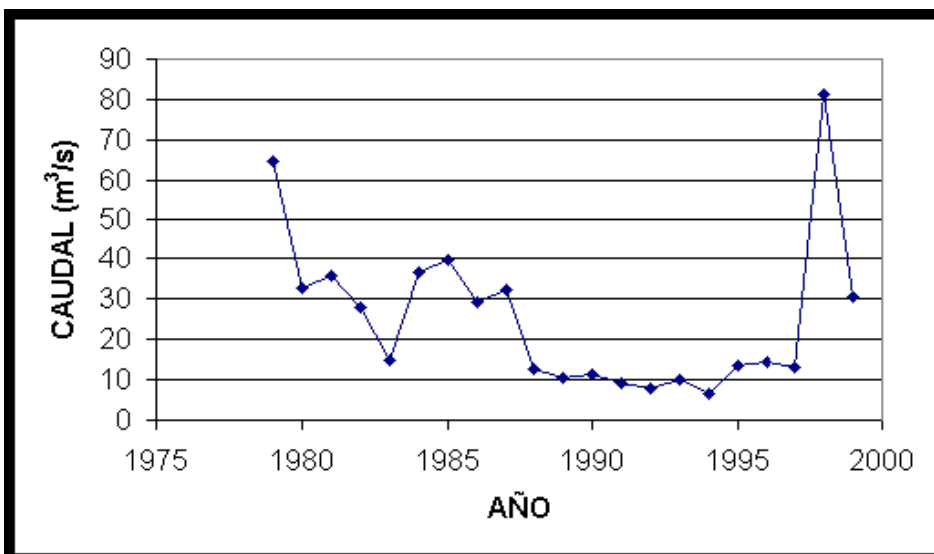
La estación sinóptica principal del Aeropuerto La Nubia es la de mayor cantidad de años de registro, y su análisis y resultados se presentaron en el aparte anterior.

La estación limnimétrica de Sancancio se encuentra en el transecto considerado en detalle, y recoge los datos de los caudales que llegan al Barrio La Playita, por lo cual se considerará como la base de cálculo para hallar los períodos de retorno de los escenarios probables de inundación.

En la tabla 3.5 se presentan las estadísticas descriptivas de las series de datos:

Estadísticas descriptivas	Estación Chupaderos	Estación La Nubia	Estación Sancancio
Tamaño de la muestra	10	31	21
Media	42.452	53.571	25.511
Mediana	37.94	50.2	15.06
Moda	35.25	48	14.58
Varianza	170.337	115.426	375.503
Desviación estándar	13.0513	10.7437	19.9944
Error estándar	4.12719	1.92962	4.2286
Mínimo	31	34	6.69
Máximo	73.5	84.5	81.21
Rango	42.5	50.5	74.52
Sesgo	1.63273	1.00231	1.55738
Sesgo estandarizado	2.10784	2.27828	2.9136
Curtosis	3.04531	1.19076	2.53563
Curtosis estandarizada	1.96574	1.35332	2.37187
Coeficiente de variación	30.7437	20.055	75.9591

Tabla 3.5 Estadísticas descriptivas de las series de datos.



Las realizaciones de las series anuales son las siguientes:

Figura 3.6 Realización de la serie de caudales máximos anuales. Estación Sancancio.

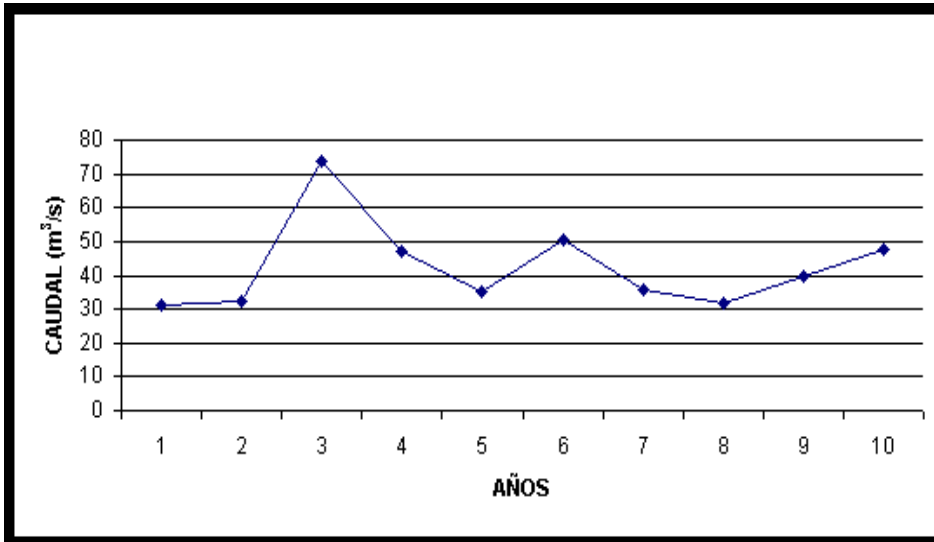


Figura 3.7 Realización de la serie de caudales máximos anuales. Estación Chupaderos.

Para la estación Chupaderos (Ver figura 3.7), la longitud de la serie es de 10 datos con mínimo $31.0 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año de 1988 y máximo $73.50 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1990, y se distribuyen con media $42.452 \text{ m}^3/\text{s}$ y dispersión $13.0513 \text{ m}^3/\text{s}$.

La estación Aeropuerto La Nubia (Ver figura 3.1) registra 31 datos que corresponden a máximos anuales de precipitación en 24 horas, con mínimo 34 mm en 1986 y máximo 84.5 mm en 1973, con media = 53.571 mm y dispersión = 10.7437 mm .

La figura 3.6 muestra la realización de la estación limnimétrica de Sancancio, y registra 21 datos que corresponden a valores de caudal medio máximo anual, obtenidos a partir de lecturas de mira. Registra un mínimo en 1994 con un valor de $6.69 \text{ m}^3/\text{s}$, y un máximo en 1998 con un valor de $81.21 \text{ m}^3/\text{s}$. Su media es $25.511 \text{ m}^3/\text{s}$ y su dispersión $19.3779 \text{ m}^3/\text{s}$.

Las estaciones Chupaderos y Aeropuerto La Nubia no se tendrán en cuenta en el análisis para calcular períodos de retorno; por un lado, la Estación Chupaderos se encuentra en un sitio donde aún el Río Chinchiná no ha recibido la Quebrada Manizales, que le aporta un caudal importante al sistema. Por lo tanto, un modelo caudal – caudal calculado con esta estación estaría subestimado. Por otro lado, la estación Aeropuerto La Nubia posee una serie de datos abundante y de buena calidad, y serían los llamados a utilizarse para obtener los períodos de retorno, si no se contara con los registros de caudal.

La estación Sancancio tiene la ventaja de tener una serie larga de registros (21 años), y se encuentra ubicada en un punto muy cercano al sitio de estudio, aguas abajo de la desembocadura de la Quebrada Manizales en el Río Chinchiná.

En adelante, se analizará la información de la Estación Sancancio desde el punto de vista probabilístico, con el fin de obtener la distribución teórica que mejor se ajuste, y así calcular los caudales asociados a los períodos de retorno de los escenarios probables considerados, en 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Los resultados se obtienen con los programas Statgraphics Versión 5.0, Minitab® y Excel 97.

3.3.2 Análisis Probabilístico de registros de caudal.

La serie de datos de caudal se sometió al análisis con las siguientes distribuciones teóricas de probabilidad:

- Lognormal
- Valor Extremo Tipo I (Distribución Gumbel)
- Exponencial

Se presenta solo el ajuste a la distribución Lognormal, elegida bajo el criterio de presentar mejores resultados en la prueba de bondad del ajuste de KOLMOGOROV - SMIRNOV.

3.3.2.1 Distribución Lognormal

Basados en el argumento de que la distribución de inundaciones es ilimitada, es decir, que no hay límite físico para la máxima inundación, se supone que la probabilidad P de ocurrencia de un valor igual o mayor que cualquier X debe ser expresada como:

$$P(X \geq x) = 1 - F(x)$$

$$F(x) = e \left(-e - \left(\frac{x - a}{b} \right) \right)$$

Donde:

$P(x)$ es la probabilidad de ocurrencia de un evento máximo

$F(X)$ es la función de distribución acumulativa.

a es el parámetro de localización

b es el parámetro de escala de la distribución.

La serie de datos se analizó sobre la base de que los logaritmos naturales de los datos se distribuyen normalmente, según la forma:

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

$$x > 0, \quad \mu_y = < \quad \sigma_y = S_y$$

Donde $y = \log x$

El ajuste gráfico se realizó con el programa Minitab®, que proporciona el siguiente esquema:

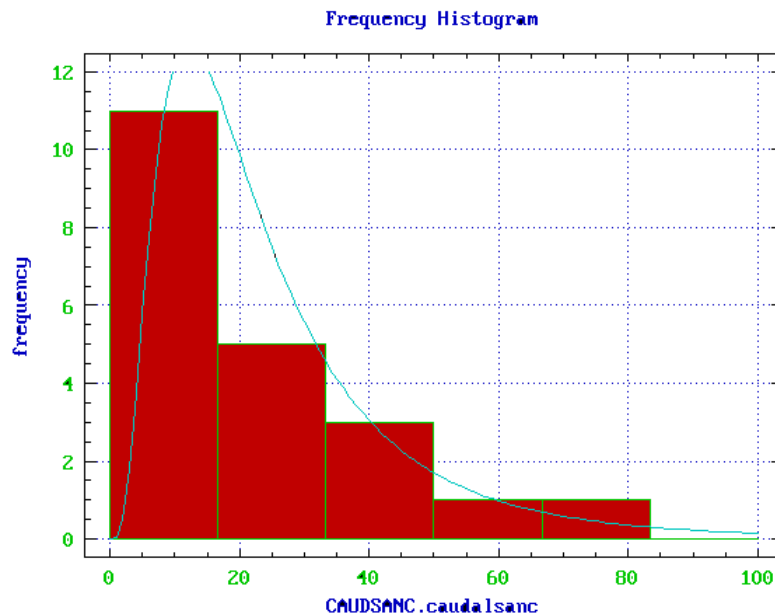


Figura 3.8 Ajuste de la serie de datos Estación Sancancio a la distribución Lognormal.

La prueba de bondad del ajuste se grafica en el siguiente cuadro:

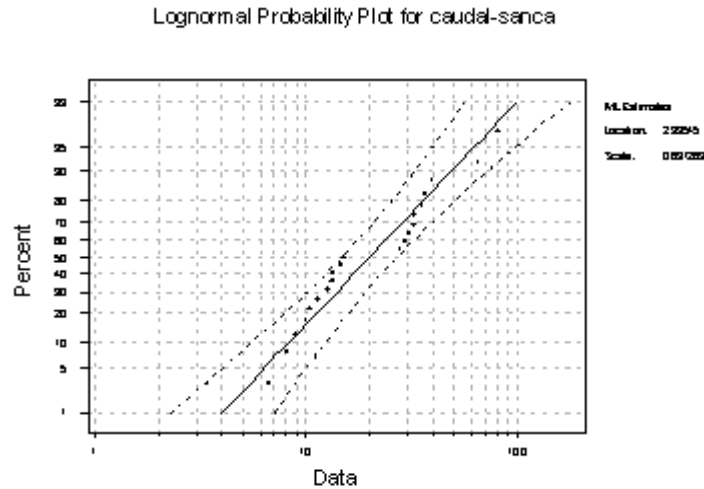


Figura 3.9 Prueba de normalidad de la serie Estación Sancancio, ajustada con los logaritmos de los datos.

En la figura 3.9 puede observarse que todos los datos entran dentro del intervalo de confianza.

Los resultados que proporciona el programa son los siguientes:

Prueba de Normalidad de Anderson – Darling:

A-cuadrado: 0.595

Valor P : 0.107

Prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov

D+ : 0.179 D- : 0.154 D: 0.179

Valor P aproximado: 0.078

Nivel de significancia aproximado: 0.509551

Parámetro de localización: 2.99545

Parámetro de escala: 0.691269

Dado que los resultados de las pruebas de bondad del ajuste son satisfactorios, se procede a aceptar el ajuste de la distribución real con la distribución teórica de probabilidad Lognormal.

3.3.2.2 Períodos de retorno

Para obtener los caudales máximos asociados a los períodos de retorno propuestos, se parte del postulado de que la probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación es el inverso de su período de retorno:

$$P(X \geq x_T) = \frac{1}{T}$$

Los resultados se obtuvieron mediante el cálculo de los percentiles aplicados a la distribución sobre la serie de datos anuales presentada en el ítem anterior, y se muestran en la siguiente tabla:

Período de Retorno	Probabilidad de no-ocurrencia	Probabilidad de Ocurrencia		Caudal máximo esperado
T_R	P	1-P	Percentil	Q_T (m ³ /s)
5	0.2	0.8	80	35.7746
10	0.1	0.9	90	48.4895
25	0.04	0.96	96	67.0639
50	0.02	0.98	98	82.6938
100	0.01	0.99	99	99.8414

Tabla 3.6 Caudal máximo (Q_T m³/s) asociado con sus períodos de retorno correspondientes (T).

4. GEOMORFOLOGIA DETALLADA DEL TRANSECTO

LUSITANIA – LA PLAYITA

1. GEOMETRIA DEL CAUCE

El transecto del Río Chinchiná comprendido entre los Barrios Lusitania y La Playita cuenta con 3800 metros lineales de cauce con orillas no paralelas, estrechamientos en sectores de litologías resistentes y ensanchamientos en sectores de la desembocadura de algunos afluentes que convergen a él.

El canal natural tiene una amplitud promedio de 23.30 m, que oscila entre 17.75 m y 30 m, y es controlado por la litología subyacente que le obliga a tomar un rumbo variado. Cabe anotar que en el transecto anterior desde su nacimiento, el Río Chinchiná tiene una dirección preferencial E – W, pero la presencia de los Cerros Tesorito y Sancancio inducen la desviación y curvatura de la trayectoria.

El valle fluvial tiene forma de "V", aunque escalonada en algunos sectores por la presencia de terrazas aluviales.

El lecho del río está conformado por cantos rodados de tamaño fino hasta muy grueso, llegando en algunos sitios hasta los 10 m de longitud mayor. La fuente probable de sedimentos es la región volcánica más próxima, conformada por los volcanes Ruiz, Cerro Bravo y Tesorito, con una actividad altamente productiva en materiales constituyentes de la cordillera.

La carga de fondo está constituida por sedimentos predominantemente de tamaño arena, lo cual es aprovechado por los pobladores del sector para extracción de materiales para la construcción. No se nota gradación ni selección de los sedimentos.

La llanura de inundación en la margen derecha del río en el transecto considerado, es estrecha y en ocasiones ausente; el barrio La Playita se encuentra en una de estas pocas extensiones que el río utiliza como llanura de inundación. Sobre la margen izquierda las llanuras existentes son de mayor extensión, y se encuentran urbanizadas.

Tiene dos niveles de terrazas aluviales no apareadas, que tampoco son típicas o fácilmente visibles. Se infiere su existencia tomando como base los niveles observados en campo.

2. INFRAESTRUCTURA MÁS IMPORTANTE PRESENTE EN LA ZONA

Se describen los elementos más importantes que modifican el paisaje natural, y que podrían ser afectados en caso de crecientes del río.

1. Sistema CHEC

Consta de: estructura de captación con capacidad para 3.40 m³/s, dentro del cauce del Río Chinchiná, dos tanques desarenadores, conducción del agua por canal abierto de sección rectangular, con una longitud de 2.100 m hasta la entrega a un tanque de carga que surte las turbinas de generación mediante tubería de alta presión.

2. Carretera Panamericana

Vía del orden nacional, que tiene una dirección aproximadamente paralela a la del río en el transecto considerado; solo lo atraviesa en un punto donde existe un puente, a la entrada del Barrio Lusitania.

3. Jardín Crematorio y Parque Cementerio "La Esperanza":

Para la ubicación de este parque cementerio se aprovecha una de las terrazas aluviales del río.

4. Barrio La Playita

Según estudio del INURBE (1991), el Barrio La Playita se identifica como un asentamiento subnormal, ya que en él se localizan viviendas en materiales transitorios o definitivos en mal estado. Está clasificado en la categoría "semiconsolidado", es decir, viviendas construidas o en proceso de construcción con materiales definitivos, con carencia de algunos elementos de estructura o equipamiento.

Este estudio cataloga al Barrio La Playita como zona de riesgo por inundación, pero no considera riesgo por fenómenos de remoción en masa.

En la escala de 1 a 10, siendo 1 la calificación de mayor deterioro y 10 es considerado como aceptable, el Barrio La Playita obtiene los siguientes puntajes:

Aspecto Físico:	4
Análisis de vivienda:	4.5
Aspecto socioeconómico:	5.5

Las viviendas del sector poseen servicios públicos domiciliarios, y la tenencia de la propiedad es en su mayoría legalizada.

En este barrio no existen obras civiles de protección contra inundaciones, y se encuentran numerosas explotaciones manuales de materiales de arrastre, realizadas en su mayoría por los pobladores del sector.

3. SECCIONES TRANSVERSALES EN EL SECTOR LUSITANIA – LA PLAYITA

1. Secciones transversales

Las secciones 2, 4, 5 y 6 se levantaron en el campo por medio de equipos topográficos y telemetría. La sección 3 se levantó desde la plancha topográfica utilizando planimetría. (Ver figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5)

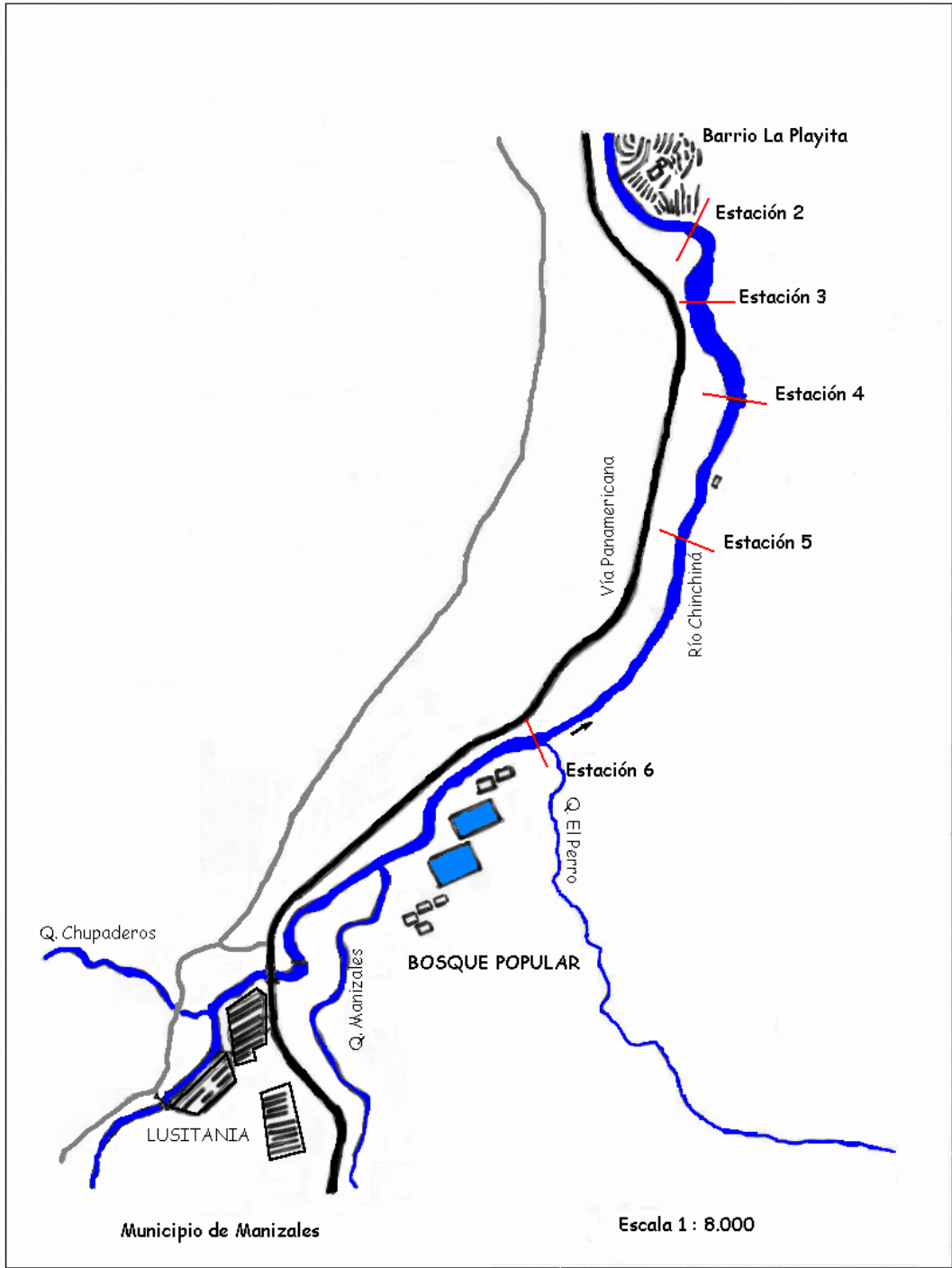
2. Pendiente media entre secciones:

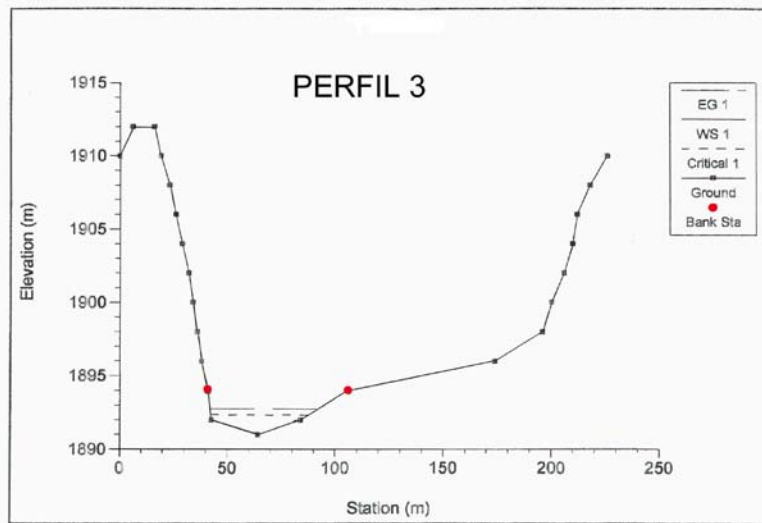
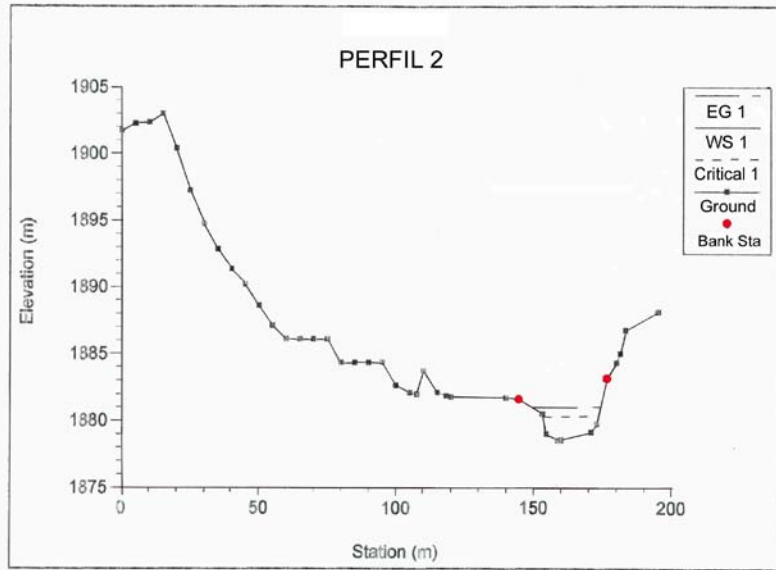
3. Coeficientes de rugosidad del cauce y orillas: Para el modelamiento con HEC – RAS se asumieron los coeficientes de rugosidad de Manning en cauce y orillas así:

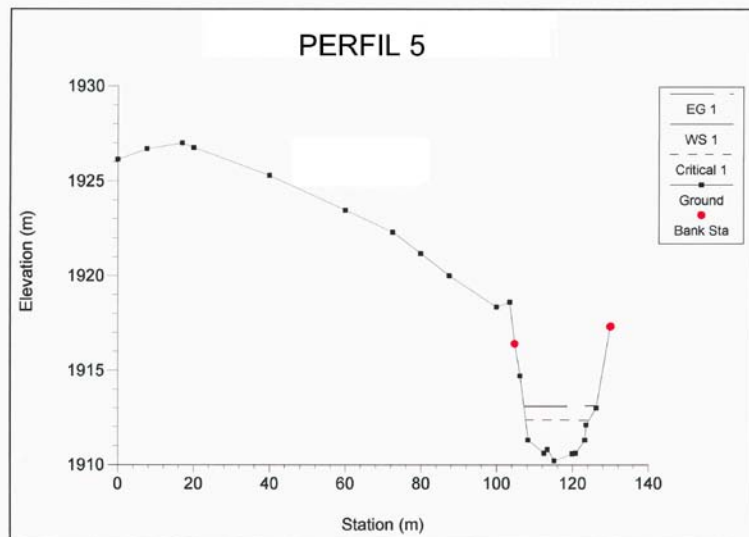
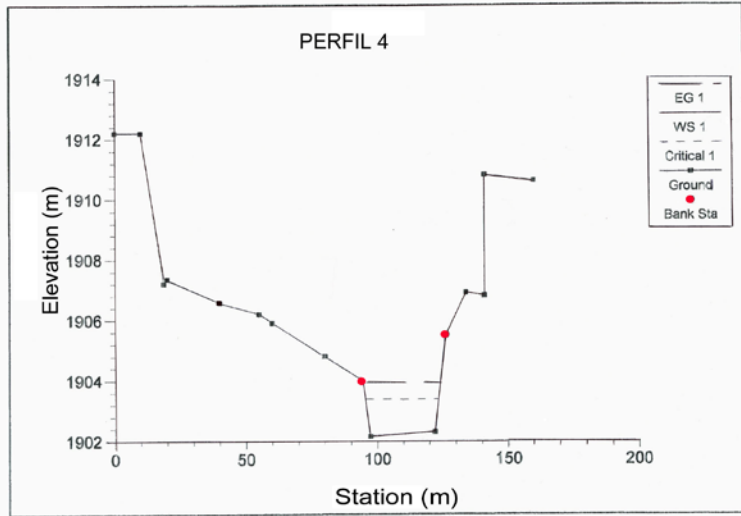
- Cauce principal: 0.025
- Orillas: 0.017

1. Existencia o no de afluentes o efluentes

En el transecto considerado no existen afluentes que aporten más caudal del medido. Existe un caudal efluente en la bocatoma de la CHEC, que es constante y medido permanentemente en $3.40 \text{ m}^3/\text{s}$.







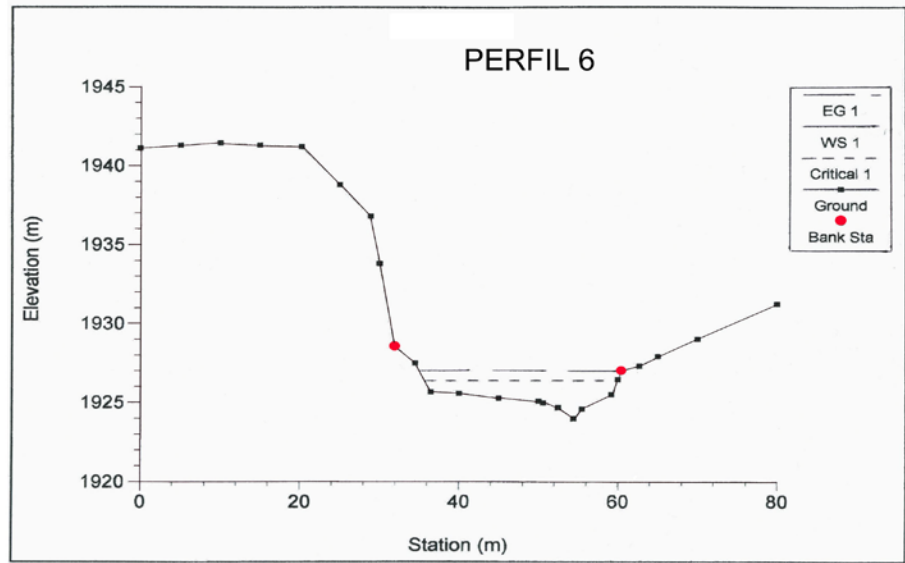


Tabla 4.1 Resultados del modelamiento con HEC – RAS.

Estación	Período de retorno	Caudal Total	Cota del Fondo	Cota superficie de agua	Cota Superficie de agua crítica	Nivel de energía	Pendiente Línea de Energía	Velocidad en el canal	Area de flujo	Ancho del canal	Número de Froude
	Años	m ³ /s	m	m	m	m	m/m	m/s	m ²	m	
6	100	99.84	1924.00	1926.39	1926.39	1927.01	0.00294	3.47	28.76	24.22	1.02
5	100	99.84	1910.20	1912.35	1912.35	1913.12	0.00275	3.89	25.70	16.70	1.00
4	100	99.84	1902.16	1903.38	1903.38	1903.93	0.00289	3.28	30.40	27.98	1.01
3	100	99.84	1891.00	1892.35	1892.35	1892.74	0.00307	2.77	36.00	45.61	1.00
2	100	99.84	1878.50	1880.30	1880.30	1880.99	0.00277	3.67	27.18	20.11	1.01
6	50	82.70	1924.00	1926.26	1926.26	1926.79	0.00295	3.24	25.52	23.96	1.00
5	50	82.70	1910.20	1912.14	1912.14	1912.84	0.00282	3.71	22.32	15.96	1.00
4	50	82.70	1902.16	1903.25	1903.25	1903.74	0.00299	3.10	26.69	27.61	1.01
3	50	82.70	1891.00	1892.25	1892.25	1892.60	0.00312	2.61	31.66	44.48	0.99
2	50	82.70	1878.50	1880.13	1880.13	1880.74	0.00284	3.46	23.89	19.80	1.01

Estación	Período de retorno	Caudal Total	Cota del Fondo	Cota superficie de agua	Cota Superficie de agua crítica	Nivel de energía	Pendiente Línea de Energía	Velocidad en el canal	Area de flujo	Ancho del canal	Número de Froude
	Años	m³/s	m	m	m	m	m/m	m/s	m²	m	
6	25	67.06	1924.00	1926.11	1926.11	1926.59	0.00307	3.04	22.07	23.68	1.00
5	25	67.06	1910.20	1911.95	1911.95	1912.57	0.00295	3.50	19.17	15.64	1.01
4	25	67.06	1902.16	1903.12	1903.12	1903.55	0.00314	2.91	23.04	27.23	1.01
3	25	67.06	1891.00	1892.14	1892.14	1892.46	0.00346	2.51	26.73	43.16	1.02
2	25	67.06	1878.50	1879.97	1879.97	1880.51	0.00291	3.23	20.74	19.49	1.00
6	10	48.50	1924.00	1925.92	1925.92	1926.31	0.00341	2.78	17.46	23.30	1.02
5	10	48.50	1910.20	1911.70	1911.70	1912.21	0.00310	3.16	15.34	15.40	1.01
4	10	48.50	1902.16	1902.95	1902.95	1903.30	0.00332	2.62	18.50	26.75	1.01
3	10	48.50	1891.00	1892.01	1892.01	1892.28	0.00370	2.28	21.25	41.64	1.02
2	10	48.50	1878.50	1879.75	1879.75	1880.19	0.00316	2.95	16.45	19.07	1.01

Estación	Período de retorno	Caudal Total	Cota del Fondo	Cota superficie de agua	Cota Superficie de agua crítica	Nivel de energía	Pendiente Línea de Energía	Velocidad en el canal	Area de flujo	Ancho del canal	Número de Froude
	Años	m³/s	m	m	m	m	m/m	m/s	m²	m	
6	5	35.77	1924.00	1925.78	1925.78	1926.10	0.00350	2.50	14.34	23.03	1.01
5	5	35.77	1910.20	1911.51	1911.51	1911.93	0.00326	2.87	12.46	15.21	1.01
4	5	35.77	1902.16	1902.82	1902.82	1903.11	0.00351	2.38	15.05	26.39	1.00
3	5	35.77	1891.00	1891.90	1891.90	1892.13	0.00381	2.13	16.80	37.34	1.01
2	5	35.77	1878.50	1879.58	1879.58	1879.95	0.00330	2.69	13.28	18.31	1.01

4.4 MODELAMIENTO CON HEC - RAS

HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) es un software que permite desarrollar cálculos y modelos analíticos en flujo estacionario unidimensional, flujo no estacionario y transporte de sedimentos, en redes de canales naturales o construidos.

Se utilizó este software con el fin de obtener resultados en el aspecto hidráulico del comportamiento del río, y por esta vía conocer los niveles que alcanza la superficie del agua en el transecto específico analizado, alimentado con los datos de caudal asociado con los períodos de retorno conocidos mediante el análisis probabilístico realizado sobre la estación Sancancio.

El Barrio La Playita se sitúa a una altura de 1880 m s.n.m, sobre la ladera del Cerro Sancancio. El modelamiento con el programa HEC - RAS sugiere que el caudal máximo asociado al período de retorno de 100 años, de aproximadamente $100 \text{ m}^3/\text{s}$, desbordaría el canal principal y entraría a los predios urbanizados. De igual manera, se tiene que para el caudal asociado al período de retorno de los 50 años también causaría la inundación. (Ver tabla 4.1). Es de anotar que se analiza el dato correspondiente a la estación 2 porque es la que se sitúa sobre los predios del Barrio La Playita.

El nivel en la creciente de los 25 años solo dista 3 cm del nivel del barrio; no se asume como nivel de inundación dada la distancia entre las orillas y el volumen que esto representa.

5. CONCLUSIONES

El análisis de la cartografía geológica, geomorfológica y de uso del suelo afirma que en el sector afloran rocas metamórficas, ígneas y volcanosedimentarias, que dan como resultado geoformas de gran altura y de pendientes suavizadas por la acumulación de depósitos. La dinámica fluvial ha modelado el paisaje creando disección mediana a densa, y una fertilidad en los suelos residuales que puede catalogarse como buena en los sectores donde estos horizontes alcanzan a formarse completos.

El territorio vertiente pertenece a los municipios de Manizales y Villamaría, separados por el Río Chinchiná. Este sector se destina principalmente a uso industrial, residencial, cultivos de clima frío, ganadería y tierras eriales.

La subcuenca alta del Río Chinchiná presenta características hidrológicas y geomorfológicas particulares; los valores más altos de precipitación se encuentran entre los 1800 a 2200 m SNM. A partir de los 2200 m SNM. la cantidad de precipitación inicia su disminución hacia grandes alturas.

La distribución temporal de las precipitaciones se obtuvo a partir de los registros de la estación Sinóptica Principal Aeropuerto La Nubia, con 31 años de datos. Ajustando estos datos a una distribución Lognormal pudieron establecerse los valores de precipitación máxima en 24 horas para los períodos de retorno considerados, como se muestra a continuación:

T (años)	P (mm)
5	61.59
10	66.99
25	73.28
50	77.66
100	81.82

La incidencia que tiene la expresión morfológica sobre la capacidad de evacuación de las aguas es alta; el territorio vertiente muestra altas pendientes, lo que se asume como alta velocidad de las aguas de escorrentía; las condiciones geomecánicas de las rocas son de alta resistencia a la erosión, lo que se traduce en baja producción de sedimentos y construcción de valles estrechos y profundos; horizontes de suelo poco desarrollados, lo cual limita la capacidad de producir y sostener vegetación de porte alto, además de la modificación antrópica que ha sobreexplotado la cuenca y ha modificado las condiciones naturales reguladoras de la hidrología.

El tiempo de concentración estimado para la cuenca en la estación Sancancio es de 8 horas, según fórmula de Zuluaga, Valencia y Saldarriaga.

La serie de datos para calcular los caudales asociados a los períodos de retorno considerados se obtuvo de los registros existentes en la CHEC, entidad propietaria y operadora de la Estación Limnométrica de Sancancio. La serie registra 21 años de datos obtenidos a partir de promediar 3 lecturas de mira diarias. Es de anotar que no se ha trabajado con registros de picos instantáneos, en cuyo caso los caudales de las crecientes calculadas serían mucho mayores, aunque con una duración del evento más pequeña.

Esta serie se ajustó a una distribución Lognormal, para lo cual se realizaron los correspondientes análisis y pruebas de bondad del ajuste; bajo este modelo se establecieron los caudales asociados a los períodos de retorno considerados, como se muestra a continuación:

Período de Retorno	Caudal asociado
T (Años)	Q_T (m³/s)
5	35.77
10	48.49
25	67.06
50	82.69
100	99.84

Con los anteriores resultados se procedió a modelar sobre el transecto específico Lusitania – La Playita para evaluar amenaza por inundación, entendida como el desbordamiento del Río Chinchiná sobre el nivel de referencia, establecido en 1880 m SNM, por ser el nivel en que se encuentra el Barrio La Playita.

Los resultados del modelamiento del transecto del Río Chinchiná bajo el programa HEC-RAS establece que el flujo supera el nivel de 1880 m SNM en las crecientes de los 50 y los 100 años. La creciente de los 25 años difiere en el nivel de referencia en 3 cm por debajo, lo cual no se considera como inundación.

6. RECOMENDACIONES

Se pudo concluir a través del estudio que existe una probabilidad considerable de ocurrir un evento de creciente del Río Chinchiná que pone en riesgo a gran cantidad de población e infraestructura. Las recomendaciones que se dan a continuación se proponen en aras de minimizar los posibles efectos de este evento.

Establecer un sistema de alarmas en el Barrio La Playita, con el fin de que la población pueda reaccionar oportunamente en caso de inundación. Conjunto con el establecimiento de las alarmas es necesario educar a la comunidad para el adecuado manejo de la información, qué hacer en caso de desastre y, de igual manera, para que puedan contribuir al cuidado y mantenimiento de los equipos instalados.

Instrumentar la estación Sancancio de manera que incluya el dispositivo de alerta temprana además de los registros de niveles y caudales.

Es necesario proteger la infraestructura de captación y conducción que alimenta la subestación de generación eléctrica de SANCANCIO, ya que a su vez genera riesgo para la población asentada en el Barrio La Playita.

Construir un muro de protección sobre la margen derecha del Río Chinchiná, para prevenir un desbordamiento y resguardar las viviendas asentadas por debajo de la cota de inundación de 1880 m s.n.m., cuya elevación dependerá del período de retorno que se adopte para su diseño.

Elaborar planes para el control de la contaminación y de la erosión y el manejo sostenible de la subcuenca, sobre todo en las partes más altas que son productoras y reguladoras de la hidrología de buena parte de la cuenca total del Río Chinchiná.

Este estudio deberá complementarse con uno similar que permita, cuando se posea la información suficiente, trabajar con los picos de las crecientes a partir de registros limnigráficos. Es decir, trabajar con caudales máximos anuales y no con caudales medios máximos anuales.

7. BIBLIOGRAFIA

- Auditoría Ambiental. CHEC. EPM. Corpocaldas. Estudio del Análisis de las cuencas superiores de los Ríos Chinchiná, Guacaica y Río Claro. Tomo 1: Diagnóstico. Tomo 3: Plan de Manejo. Manizales, noviembre de 1994.
- BETANCOURTH, et. al. Contribución a la evaluación hidrogeológica, susceptibilidad a fenómenos volcánicos, caracterización de áreas fuente de sedimentos y morfoestructura de las fallas probablemente activas en la cuenca del Río Chinchiná (Caldas). Corpocaldas, Universidad de Caldas. Manizales, 1996.
- CHOW, Ven Te. , et. al. Hidrología Aplicada. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. Bogotá, 1993.
- Comisión Federal de Electricidad. Manual de Diseño de Obras Civiles. Hidrotecnia – Avenida de Diseño. Méjico, 1980.
- DB Sig – Geólogos Consultores. Estudio Geológico, Geomorfológico y Geotécnico para la zonificación de amenazas naturales del Barrio Santa Ana, Municipio de Villamaría, Caldas. Manizales, 1996.
- ELIZAGA, Emilio. Prevención de inundaciones: los mapas de riesgos. En: Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1987.
- GONZALEZ, Fernando. Modelo Hidrológico Computarizado para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en la región del Eje Cafetero. Centro Regional de Estudios Cafeteros y Empresariales – CRECE. Manizales, 1995.
- LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A., y PAULHUS J.L. Hydrology for engineers. Edit. McGraw-Hill, 3ª edición, 1982.
- MAYS, Larry W. y TUNG, Yeou-Koung. Hydrosystems. Engineering & Management. Edit. McGraw-Hill. 1992.
- MONTERO, José Manuel. Ríos en el Valle del Cauca. Proagregados, Cali. 2ª ed., 1995.
- SODEIC Ltda. Estudio de la subcuenca del Río Chinchiná. Resumen del Diagnóstico. Disponibilidad y Demanda de Agua, Hidrología y Sedimentología. CRAMSA, Manizales, 1988.

SCANDIACONSULT, NATURA. Plan de Manejo del Río Chinchiná. Programa de Cooperación Técnica. Propuesta Técnica. Estocolmo, 1998

TEMEZ, José Ramón. Métodos estructurales y no estructurales de defensa contra las inundaciones. En: Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1987.

Tragsa – Tragsatec. Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Madrid, España, 1994.

VARNES, David J. Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice. Natural Hazards 3. Unesco. París, 1984.

VELEZ, M.V. y SMITH, R. Algunos Métodos de Regionalización de Caudales Máximos Instantáneos y su Aplicación en una Región de Colombia para el Diseño de vías. En: Memorias XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Oaxaca, México, 1998.