

**VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR EL IDEAM PARA
DETERMINAR LA VULNERABILIDAD DE LAS FUENTES
ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS (CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL
RIO GUATIQUE MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO-META)**

YARLEIDY MOSQUERAMOSQUERA

COD 2012260117

ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERA INDUSTRIALES

INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ

2014

**VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR EL IDEAM PARA
DETERMINAR LA VULNERABILIDAD DE LAS FUENTES
ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS (CASO DE ESTUDIO: CUENCA
DEL RIO GUATIQUEA MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO-META)**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERA
AMBIENTAL**

**YARLEIDY MOSQUERAMOSQUERA
COD 2012260117**

Proyecto de Investigación

DIRECTOR:

**ALBERTO GARCÍA BOLÍVAR
GEÓLOGO**

CODIRECTOR EXTERNO:

**NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ
GEÓLOGO**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
INGENIERÍA AMBIENTAL**

BOGOTÁ

2014

AGRADECIMIENTO

Con este logro primeramente le agradezco a Dios por bendecirme durante el transcurso de este proyecto y por hacer realidad este sueño tan anhelado.

A la UNIVERSIDAD ECCI Escuela Colombina de Carreras Industriales por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mis directores de tesis, Nelson Omar Vargas Martínez y Alberto García Bolívar por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación lograron en mí, que pueda terminar mis estudios con éxito.

Agradezco a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

De igual manera agradecer a mi esposo por su apoyo durante todo este proceso y a mi hija Isabella Ramírez mosquetera que es mi motor para seguir superándome cada día mas

Y por último a mis padres María Nelcy Mosquera Mosquera y Bernardo Mosquera Moreno y a todas aquellas personas que con sus consejos y ánimos me dieron fuerza para lograr esta meta muchas gracias a todos.

.....
.....
.....
.....
.....

TABLAS DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1. OBJETIVOS.....	11
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....	12
3. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
3.1. DEFINICIONES DE VULNERABILIDAD.....	13
3.2. TIPOS DE VULNERABILIDAD.....	15
4. MARCO NORMATIVO.....	20
5. CONSIDERACIONES METODOLOGICAS PARA LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD.....	23
5.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	23
5.2 EVALUACIÓN DE LAS VARIALES DE VULNERABILIDAD DE FUENTES ABASTECEDORAS.....	28
5.2.1 VARIABLES ASOCIADAS A EVENTOS DE CAUDALES MÁXIMOS.....	29
5.2.2 VARIABLES ASOCIADAS A EVENTOS DE CAUDALES MÍNIMOS.....	35
5.3 GENERACION DE INDICADORES.....	42
5.4 FUENTES DE INFORMACION.....	43
6. CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE ESTUDIO.....	44
6.1. DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	45

6.2.	CARACTERISTICAS FISICAS DEL AREA DE ESTUDIO.....	45
6.2.1.	GEOLOGÍA.....	45
6.2.2.	GEOMORFOLOGÍA.....	48
6.2.3.	HIDROGRAFÍA.....	50
6.3.	EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIOS PUBLICOS EN EL AREA DE ESTUDIO.....	51
6.3.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE VILLAVICENCIO.....	53
6.3.2.	DEMANDA DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO DE VILLAVICENCIO PARA EL AÑO 2013.....	56
7.	RESULTADOS.....	59
7.1.	SELECCIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS.....	59
7.2.	CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS DE LA CUENCA.....	61
7.3.	ANALISIS CLIMATICO DE LA CUENCA.....	64
7.4.	ANÁLISIS DE CAUDALES.....	74
7.5.	DEMANDA DE AGUA POR SECTORES.....	75
7.6.	ESTIMACION DE INDICADORES DE VULNERABILIDAD.....	72
	CONCLUSIONES.....	97
	BIBLIOGRAFIA.....	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Elementos que conforman un sistema de abastecimiento.....	15
Tabla 2. Rangos y categorías del IUA.....	36
Tabla 3. Relaciones para categorizar el IVH.....	37
Tabla 4. Relaciones para categorizar el IFM.....	38
Tabla 5. Relaciones entre variables para el IFM.....	39
Tabla 6. Clasificación del índice de variabilidad.....	41
Tabla 7. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales.....	41
Tabla 8. Empresas de prestadoras del servicio públicos.....	52
Tabla 9. Plantas de tratamiento.....	54
Tabla 10. Fuentes Superficiales V/cio.....	55
Tabla 11. Fuentes abastecimiento por pozos profundos.....	55
Tabla 12. Infraestructura del Acueducto.....	56
Tabla 13. Suscriptores de acueducto para el año 2013.....	57
Tabla 14. Cobertura del servicio de acueducto.....	58
Tabla 15. Estaciones Hidrometeorológicas.....	59
Tabla 16. Características Morfométrica de las subcuenca del río Guatiquia.....	62
Tabla 17. Temperatura media mensual multianual.....	64
Tabla 18. Precipitación total media mensual (mm.) de estaciones en la cuenca del río Guatiquia.....	66
Tabla 19. Precipitación anual multianual – mm.....	68
Tabla 20. Valores medios mensuales (m ³ /s).....	73
Tabla 21. población y demanda para uso doméstico en municipios ubicados a la largo del río guatiquia– DUD.....	76

Tabla 22. Porcentaje fuentes de suministro para la ciudad de Villavicencio.....	77
Tabla 23. Variables utilizadas para estimar los indicadores de vulnerabilidad.....	81
Tabla 24. Métodos de ajuste de probabilidad de excedencia de caudales.....	83
Tabla 25. Valores característicos de la curva de duración de caudales en la estación puente Abadía.....	85
Tabla 26. Estimación de indicadores de vulnerabilidad por torrencialidad en la cuenca del río Guatiquia - Estación: Puente Abadía.....	86
Tabla 27. Estimación de indicadores de vulnerabilidad por estiaje en la cuenca del río Guatiquia - Estación: Puente Abadía.....	89
Tabla 28. Consolidado de Indicadores de Vulnerabilidad.....	90
Tabla 29. Estimación de Indicadores de vulnerabilidad según el ENA (2010).....	91
Tabla 30. Eventos de torrencialidad y temporada seca.....	92
Tabla 31. Puntos de captación o bocatomas de la EAAV-ESP.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Eventos de caudales Máximos.....	19
Figura 2. Eventos de caudales mínimos.....	19
Figura 3. Esquema metodológico para evaluar la vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de acueductos.....	26
Figura 4. Esquema del marco lógico para evaluación de la vulnerabilidad en fuentes abastecedoras superficiales.....	27
Figura 5. Análisis de vulnerabilidad para eventos hidrológicos extremos de la fuente abastecedora (IDEAM, 2011).....	29
Figura 6. Variables a tener en cuenta en el análisis para eventos torrenciales (IDEAM, 2011).....	30
Figura 7. Variables a tener en cuenta en el análisis para eventos de caudales mínimos (IDEAM, 2011).....	33
Figura 8. Localización geográfica de la cuenca del río Guatiquía en Colombia y el departamento del Meta.....	43
Figura 9. Delimitación del área de estudio en la cuenca del río Guatiquía.....	44
Figura 10. Geología del área de estudio.....	46
Figura 11. Cuenca del río Guatiquía.....	51
Figura 12. Estructura orgánica.....	54
Figura 13. Evolución de las clientes.....	56
Figura 14. Continuidad del servicio año 2013.....	58
Figura 15. Localización estación hidrometeorológicas.....	60
Figura 16. Subcuencas del río Guatiquía.....	61

Figura 17. Mapa de pendientes de las subcuenca del río Guatiquia.....	62
Figura 18. Perfil topográfico del río Guatiquia dentro del área de estudio.....	63
Figura 19. Temperaturas medias mínimas y máximas de la estación Vanguardia.....	65
Figura 20. Temperaturas medias mínimas y máximas de la estación Upin...	65
Figura 21. Temperaturas medias mínimas y máximas de la estación Unillanos.....	65
Figura 22. Valores medios mensuales de precipitación (mm.).....	67
Figura 23. Precipitación media anual cuenca del río Guatiquia.....	69
Figura 24. Variación multianual de cada estación seleccionada en relación con el promedio multianual.....	70
Figura 25 distribución espacial de la precipitación.....	72
Figura 26. Valores máximos, medios y mínimos mensuales de caudales de la estación de Puente Abadia.....	74
Figura 27. Curva de duración de caudales Estación de Puente Abadia.....	84
ANEXO MATERIAL FOTOGRÁFICO PUNTOS DE CAPTACION O BOCATOMAS DE LA EAAV-ESP.....	93

INTRODUCCIÓN

Este documento corresponde al trabajo de grado de la carrera de Ingeniería Ambiental de la facultad de Ingeniería, que debe presentarse a la Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI, como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental.

El trabajo tiene como propósito validar la metodología generada por el IDEAM en el año 2011 que permite la evaluación de las fuentes abastecedoras de acueductos. Para tal efecto se ha seleccionado la cuenca del río Guatiquía que abastece el acueducto de Villavicencio; en esta cuenca se han presentado situaciones que afectan el Sistema de Acueducto, entre estas el crecimiento poblacional, los eventos climáticos que disminuyen la oferta hídrica, en épocas secas y crecientes súbitas en temporada de lluvias. Por tal motivo es necesario implementar mecanismos de vigilancia para la evaluación del estado de las cuencas.

La metodología interpone variables asociadas a eventos de caudales máximos como el coeficiente de compacidad, densidad de drenaje, pendiente media de la cuenca, área de drenaje; para los caudales mínimos se consideran la curva de duración de caudal, el volumen bajo la curva de duración de caudal, el volumen bajo la línea de caudales medios, la cantidad de agua de demanda en la cuenca. Estas variables se derivan de las series históricas del IDEAM, para generar los índices que definen la vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras.

El trabajo consta de 7 capítulos en los cuales se presentan los objetivos, el alcance; marco normativo, marco institucional, la metodología, marco contextual, resultados, discusión de resultados y finalmente las conclusiones.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Validar la metodología propuesta por el IDEAM en el año 2011 para determinar la vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de acueductos y evaluar la magnitud de los riesgos asociados a eventos torrenciales y desabastecimiento, tomando como área de estudio la cuenca del río Guatiquia (Municipio de Villavicencio-Meta).

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar las características físicas de la cuenca del Río Guatiquia, abastecedora del acueducto del municipio de Villavicencio

- ❖ Realizar un análisis hidrológico de la cuenca del Río Guatiquia, abastecedora del acueducto del municipio de Villavicencio

- ❖ Determinar los índices de vulnerabilidad de la cuenca abastecedora de la cabecera municipal.

2. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

El municipio de Villavicencio tiene como principales fuentes de abastecimiento Quebrada Honda, Caño Maizaro, Caño Buque, Caño Blanco, Caño Parrado y Rio Guatiquia que es la cuenca de estudio.

Para validar la metodología del IDEAM, se ha seleccionado la cuenca del Rio Guatiquia en razón a su vulnerabilidad, tal como se evidencia en el periodo de diciembre a abril de 2014, época seca en la región de la Orinoquia (departamento de Casanare) en la cual se presentó una emergencia ambiental, afectando la población urbana, los agricultores y causando la muerte a cientos de animales. (www.semana.com. Consultada en febrero de 2014).

Se realiza el trabajo de acuerdo con la información disponible en el IDEAM puesto que las entidades territoriales no cuentan con una red hidrometeorológica, para el seguimiento histórico de las variables requeridas para aplicar la metodología

3. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La vulnerabilidad existe siempre y cuando exista una amenaza y la misma afecte de alguna manera población o infraestructura por la fragilidad de las fuentes con respecto a las condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas. Para los sistemas de abastecimiento existen varios tipos de vulnerabilidad de acuerdo con los elementos que conforman dicho sistema.

En Colombia a nivel nacional se presenta una metodología en el marco de Estudio Nacional del Agua 2010 (IDEAM. 2010) para la evaluación de la vulnerabilidad de las fuentes a partir de dos índices, que se pretenden validar para replicar en el resto del país.

3.1. DEFINICIONES DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad tiene varias definiciones; de acuerdo con UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura 1979), la vulnerabilidad “Es el grado de resistencia, exposición o susceptibilidad (física, social, cultural, política, económica, etc.) de un elemento o conjunto de elementos que se encuentran en riesgo (vidas humanas, patrimonio, servicios vitales, infraestructura, áreas agrícolas, etc.) como resultado de la ocurrencia de un peligro”. Conceptualmente, es la facilidad con que un elemento expuesto a un fenómeno peligroso sufre daño. De esto se desprende que existen dos tipos de vulnerabilidad: Una por constitución o vulnerabilidad estructural y otra por exposición.

La vulnerabilidad estructural es el grado de incapacidad que presenta una estructura, población o entidad, para poder reaccionar frente a algún tipo de evento físico o amenaza (Morales et. al., 2001). Una estructura es vulnerable a un efecto físico, si la misma no presenta características tales que puedan hacer

que se reacomode sin dificultades, para cuyo caso presentaría una vulnerabilidad alta. En el caso que la estructura pueda sobreponerse ante dicho fenómeno de forma fácil, se dice que la vulnerabilidad de ésta es baja.

También, la vulnerabilidad aunque no tiene un significado científico único (Downing and Downing and Pathwardhan, 2005; O'Brian et al., 2004), es definida como el grado al cual una unidad de exposición es susceptible a daños debido a su exposición, a disturbios o a presiones junto con su capacidad (o falla de ella) para enfrentarlos, recuperarse o adaptarse (convertirse en un sistema nuevo o extinguirse) (Kasperson et. al. 2003). Desde el cambio climático (IPCC, WGII, 2007), la vulnerabilidad es el grado al cual un sistema es susceptible, o es incapaz de hacerle frente a los efectos adversos del cambio climático, que incluyen la variabilidad y los extremos climáticos. La vulnerabilidad es una función del carácter, la magnitud y rapidez de la variación del clima a la cual está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (www.ipcc.ch/pub/shrgloss.pdf).

La vulnerabilidad en los sistemas de abastecimiento de agua, por los impactos ocasionados por eventos adversos de origen natural o antrópico, generalmente es analizado a partir de la ubicación de la estructura, la condición actual y las características de los diseños técnicamente adecuados a ser incorporados en etapa del diseño del proyecto.

Por tal motivo es necesario identificar el tipo de amenaza y el impacto al cual estaría sometido la estructura o la unidad del sistema para luego proponer las medidas de mitigación o de reducción de vulnerabilidad. Este criterio generalmente es el principal a ser tenido en cuenta en las etapas de diseño,

construcción, operación, mantenimiento, administración y gestión del riesgo en el sector de agua potable y saneamiento.

El análisis de un determinado sistema de agua o alcantarillado requiere información confiable sobre la intensidad y frecuencia de las diversas amenazas naturales que pueden afectar la zona donde se encuentra ubicado el sistema. En la tabla 1 se pueden identificar los tipos de vulnerabilidad para una cuenca abastecedora.

Tabla 1: Elementos que conforman un sistema de abastecimiento

Elemento		Tipo de vulnerabilidad
Fuente abastecedora	Cuenca abastecedora	Frente a eventos de sequía
		Frente a aumentos no planificados y considerables de la población
	Estructura de captación (bocatoma, estación de bombeo)	Frente a eventos torrenciales (destrucción de la estructura, colmatación por altas cargas de sedimentos, pérdida de captación por cambios en el cauce, cierre del sistema de captación por alta turbiedad, entre otros)
Sistema de tratamiento	Planta de tratamiento	Entrada de altas cargas de sedimentos asociados a eventos torrenciales
Sistema de transporte	Línea de conducción	Frente a eventos sísmicos, eventos antrópicos, entre otros.
	Sistema de distribución	Frente a eventos sísmicos, eventos antrópicos, entre otros.

Fuente: Proyecto vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de acueductos. IDEAM 2011

Un sistema de abastecimiento presenta como elemento principal y de mayor importancia, la fuente abastecedora dado que esta es finalmente la que provee al sistema el caudal de agua requerido para una determinada población.

- ✓ Para las fuentes de abastecimiento la vulnerabilidad se puede presentar frente a eventos climatológicos extremos tales como lluvias intensas que

producen avenidas torrenciales. Así mismo, la vulnerabilidad se puede ver asociada a eventos extremos como inundaciones. Para el caso de eventos de lluvias intensas que generan avenidas torrenciales, el sistema tiende a ser vulnerable en la medida que éste reciba una avenida torrencial o una creciente que lo deje fuera de servicio tanto por el exceso de caudal como por la turbiedad. En el primer caso se dan afectaciones estructurales en las captaciones y en el segundo caso cierres temporales del sistema de captación.

- ✓ Para el caso de sequía, es posible que se presente para el sistema un desabastecimiento de agua por reducción en la oferta hídrica.
- ✓ El problema también se puede ver evidenciado, en la medida en que se presenten inundaciones que puedan dejar por fuera de funcionamiento los sistemas de abastecimiento.

3.2. TIPOS DE VULNERABILIDAD

En términos generales, cuando se realiza la evaluación de la vulnerabilidad, desde la teoría de riesgo se definen tres tipos de vulnerabilidad, asociadas al funcionamiento de un determinado sistema ya sea por sus características propias (vulnerabilidad física), a su funcionalidad o servicio, o a la capacidad u organización del prestador del servicio. Wilches - Chaux (1989) establece diferentes tipos de vulnerabilidad, rescatando las siguientes:

- Vulnerabilidad Física:

En este caso se refiere a la identificación de las amenazas, las características del terreno y el tipo de construcción. La valoración de estos elementos permite estimar el nivel de vulnerabilidad de los sistemas. Está asociada a las técnicas

inadecuadas de construcción de edificios e infraestructura básica utilizadas en áreas de amenaza (incapacidad de control y manejo de las tecnologías frente a las amenazas).

Desde el punto de vista social, esta se refiere a la localización de una población, la cual presenta condiciones de amenaza frente a un evento natural o artificial, con una condición provocada por la pobreza y la falta de oportunidades para una ubicación con mejores condiciones ambientales.

- **Vulnerabilidad del Servicio:**

Se refiere al uso que tiene el servicio prestado, y se enfoca a las diferentes debilidades y fortalezas que puede tener un determinado sistema a dejar de funcionar en caso de presentarse una amenaza al mismo.

Este tipo de vulnerabilidad se expresa en buena medida hacia aquellos elementos que dentro de un determinado sistema pueden ser vulnerables a un evento natural.

- **Vulnerabilidad Funcional:**

En este caso se refiere a la capacidad organizativa de las entidades prestadora del servicio. Ésta se enfoca a la rigidez de las instituciones, en cuanto a la toma de decisiones de tipo político, el dominio de criterios o posiciones personales, que impiden dar respuestas adecuadas y ágiles a la realidad existente.

La vulnerabilidad desde lo funcional se analiza desde la perspectiva de cinco componentes:

- Los ambientales, como lo resultante entre el uso y las relaciones de espacio en las que el hombre realiza sus actividades, considerando como atributo funcional, la fluidez en el espacio utilizado.
- Las instalaciones y equipamiento, resultante de la disponibilidad y el funcionamiento de lo instrumental y la seguridad de las líneas vitales que los alimentan.
- Los suministros como insumos y todo su proceso logístico para asegurar la provisión de elementos vitales.
- Los recursos humanos, siendo primordial la disponibilidad de personal y la operatividad para enfrentar alguna situación adversa o de contingencia.
- La organización, resultante de aspectos normativos, presupuestales y de medidas de protección en momentos de contingencia, relacionados con la eficiencia en la gestión.

De acuerdo con las anteriores definiciones el IDEAM establece una metodología con variables para determinar la vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras para eventos extremos, tal como se muestran en las siguientes figuras:

La figura 1 muestra el caso de lluvias intensas que generan avenidas torrenciales, el sistema tiende a ser vulnerable en la medida en que aumenta su caudal, dejando lo fuera de servicio; por lo tanto se dan afectaciones estructurales en las captaciones y cierres temporales del sistema de captación.

Figura 1. Eventos de caudales Máximos



Fuente: Proyecto vulnerabilidad en fuentes abastecedoras IDEAM 2011

En la figura 2 para el caso de temporadas secas, se presenta un desabastecimiento de agua por la reducción en la oferta hídrica.

Figura 2. Eventos de caudales mínimos.



Fuente: Proyecto vulnerabilidad en fuentes abastecedoras IDEAM 2011

4. MARCO NORMATIVO E INSTITUCIONAL

El aporte más significativo para la gestión del agua que se deriva del contenido del Código Nacional de los Recursos Naturales expedido en 1974, corresponde al capítulo relacionado con el manejo de las cuencas hidrográficas como áreas de manejo especial. El interés se centraba en fortalecer las políticas y programas que ya se venían desarrollando en el país y para ello se establecieron las bases para los planes de ordenación de cuencas hidrográficas, precisando los criterios para su implementación desde los alcances de la finalidad, las condiciones para la priorización de la ordenación, la competencia de su declaración, llegando finalmente a desarrollar los elementos del contenido y las definiciones para su ejecución y administración.

Esta intención normativa es conservada a lo largo de la evolución legislativa ambiental y se expresa en las normas que se relacionan a continuación, que permiten inferir la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de cuencas abastecedoras:

Decreto 1277 de 1974. Corresponde al Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente expedido con base en las facultades extraordinarias concedidas en la Ley 23 de 1973. Tales recursos son: la atmósfera y el espacio aéreo Nacional; las aguas; la tierra; el suelo y el subsuelo; la flora; la fauna; las fuentes primarias de energía no agotables; las pendientes topográficas con potencial energético; los recursos geotérmicos; los recursos biológicos de las aguas y del suelo y el subsuelo del mar territorial y de la zona económica de dominio continental e insular de la República; los recursos del paisaje; la defensa del ambiente y de los recursos naturales renovables contra la acción nociva de fenómenos naturales; y los

demás elementos y factores que conforman el ambiente o influyan en él denominados en este Código elementos ambientales (residuos, basuras, desechos y desperdicios; el ruido; las condiciones de vida resultantes de asentamiento humano urbano o rural; y los bienes producidos por el hombre, o cuya producción sea inducida o cultivada por él, en cuanto incidan o puedan incidir sensiblemente en el deterioro ambiental).

Es reglamentado parcialmente por los Decretos Nacionales 1608 de 1978, 1715 de 1978, 704 de 1986, 305 de 1988 y 4688 de 2005.

Decreto 1449 de 1977, mediante el cual se establecen obligaciones a los propietarios de predios sobre conservación, protección y aprovechamiento de las aguas.

Decreto 2857 de 1981, reglamentación de cuencas hidrográficas.

Ley 46 de 1988, por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

Más adelante, con la promulgación de la nueva Constitución Política Nacional en el año 1991, se reconoce el derecho al ambiente sano como un derecho colectivo, se dispone que su protección es deber de todos (Estado y particulares) y establece las responsabilidades a cargo del Estado en relación con el medio ambiente y los recursos naturales renovables, entre ellos el recurso hídrico.

Ley 99 de 1993, se crea el Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Decreto Ley 216 de 2003), se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA.

Ley 1523 de 2012, Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres; donde se establece que “los tres niveles de gobierno formularán e implementarán planes de gestión del riesgo para priorizar, programar y ejecutar acciones por parte de las entidades del sistema nacional, en el marco de los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo del desastre, como parte del ordenamiento territorial y del desarrollo, así como para realizar su seguimiento y evaluación”

Decreto 1640 de 2012, Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.

5. CONSIDERACIONES METODOLOGICAS PARA LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD

En este aparte se describirán los aspectos metodológicos que se deben considerar para lograr el objetivo del trabajo. En este sentido, se ilustra el procedimiento metodológico, variables, fuentes de información y formatos para presentación de resultados.

5.1. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El procedimiento seguido para determinar la vulnerabilidad de las cuencas abastecedoras corresponde a los pasos que a continuación se relacionan (Figuras 3 y 4):

- Identificación y caracterización de las fuentes de abastecimiento

Este proceso corresponde a la delimitación de las cuencas abastecedoras utilizando la cartografía disponible y Modelos de Elevación Digital. Para el caso de estudio se ha seleccionado la fuente de abastecimiento del municipio de Villavicencio en el piedemonte de la cordillera Oriental de Colombia.

Es necesario detallar la red hidrográfica y sus características geográficas asociadas. Esta actividad se complementa con reconocimiento de campo y recopilación de la memoria fotográfica.

- Caracterización Morfométrica de la Cuencas

Para cada una de las cuencas abastecedoras, se establecen los diferentes parámetros de mayor relevancia en el comportamiento hidrológico de las cuencas; entre los parámetros y variables morfométricas, es necesario estimar los siguientes:

- Área de drenaje de la cuenca
 - Perímetro de la cuenca
 - Elevación media
 - Pendiente Promedio
 - Factores de forma (Coeficiente de compacidad).
- **Recopilación de información de entrada**

Es necesario recopilar información secundaria de la cuenca de diferentes fuentes de información:

- **Información geológica y geomorfológica.**

Permite reconocer unidades roca sedimento presentes en el área de estudio para determinar las pérdidas por infiltración en la cuenca. Es útil cuando se deben correr modelos lluvia escorrentía por ausencia de información de caudales. Adicionalmente, podría utilizarse para determinar áreas potencialmente inestables por su condición geodinámica o geotécnica.

- **Información de usos del agua en la cuenca y empresas prestadoras del servicio**

Esta información se deriva de las empresas prestadoras de servicio y permite reconocer las características y condiciones técnicas de las captaciones y sistemas de almacenamiento. De igual manera permite determinar las condiciones de cobertura, usuarios beneficiados, volúmenes asignados y limitaciones técnicas para el abastecimiento.

- **Recopilación y procesamiento de Información hidrometeorológica:**

La información histórica corresponde a registros de estaciones hidrometeorológicas disponibles en el área de estudio que pueden ser convencionales o automáticas. Pueden corresponder a estaciones pluviométricas, pluviográficas, meteorológicas (climatólogicas, sinópticas,

agrometeorológicas) e hidrológicas. La información requerida es mensual y diaria media multianual y con extensión mayor a 20 años.

Con esta información se elaboran las gráficas que permiten reconocer la variación espacial y temporal de las variables hidrometeorológicas. A la vez las gráficas permiten reconocer las características de la variabilidad climática.

Las estaciones que registran precipitación, se les estima los valores de precipitación anual con el objeto de observar y establecer los periodos lluviosos y secos que se han presentado en el registro. Esto se hace graficando la lluvia anual contra el tiempo (años), en estos gráficos se pueden observar los años secos y los húmedos y estimar cada cuanto se repiten estos periodos (ciclos multianuales).

Así mismo, se estima la precipitación media mensual: la cual indica la distribución de las lluvias en el año, mostrando cuales son los meses más lluviosos y los menos lluviosos. De esta forma se puede comparar el régimen de lluvia en los diferentes puntos de la zona o región estudiada.

- **Análisis hidrológico**

Los registros diarios de limnímetros, limnigrafos, registradores automáticos de niveles RAN, ADCPs o radares hidrológicos permiten realizar análisis hidrológicos de valores máximos medios y mínimos para reconocer variaciones temporales de niveles y caudales que se representan en histogramas mensuales. En el caso de la cuenca de estudio solo se encuentran limnímetros y limnigrafos y se ha seleccionado el limnigrafo de la estación de Puente Abadía que representa el régimen hidrológico de toda el área.

Igualmente, es útil para la metodología de vulnerabilidad elaborar curvas de frecuencia de caudales o curvas de duración de caudales que determinan la probabilidad de ocurrencia de los caudales en el tiempo y permiten establecer valores característicos de interés hidrológico.

- Evaluación de indicadores

Con la información anterior y resultados se evaluarán de los indicadores que permitan establecer el grado de vulnerabilidad del área de estudio. De manera particular, se requieren el Índice de uso del Agua IUA, el Índice de Regulación Hídrica IRH y el Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento IVH que se explicarán más adelante.

En la figura 6 se presenta el flujograma de actividades y requerimientos de información para eventos de caudales mínimos y máximos. En la figura 7 se presenta un esquema de marco lógico en el cual se explicitan los resultados, actividades y productos asociados a los objetivos generales y específicos planteados en este documento.

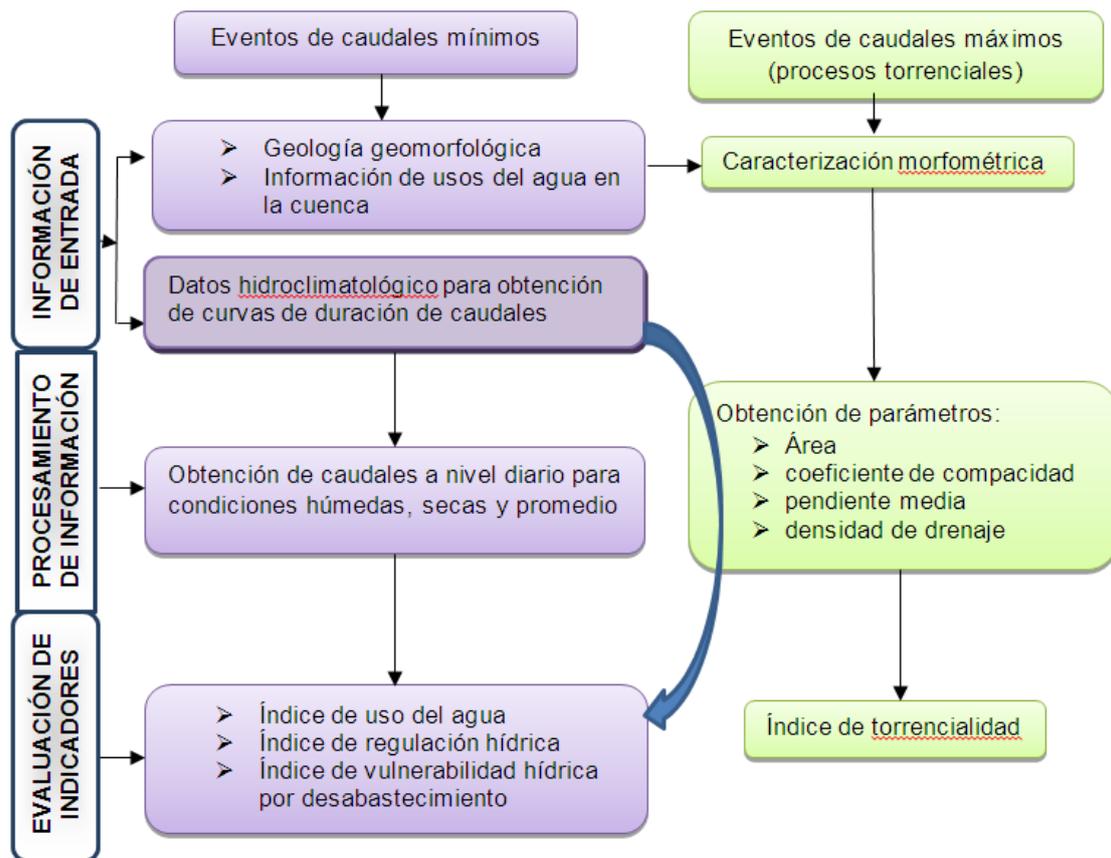


Figura 3. Esquema metodológico para evaluar la vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de acueductos.

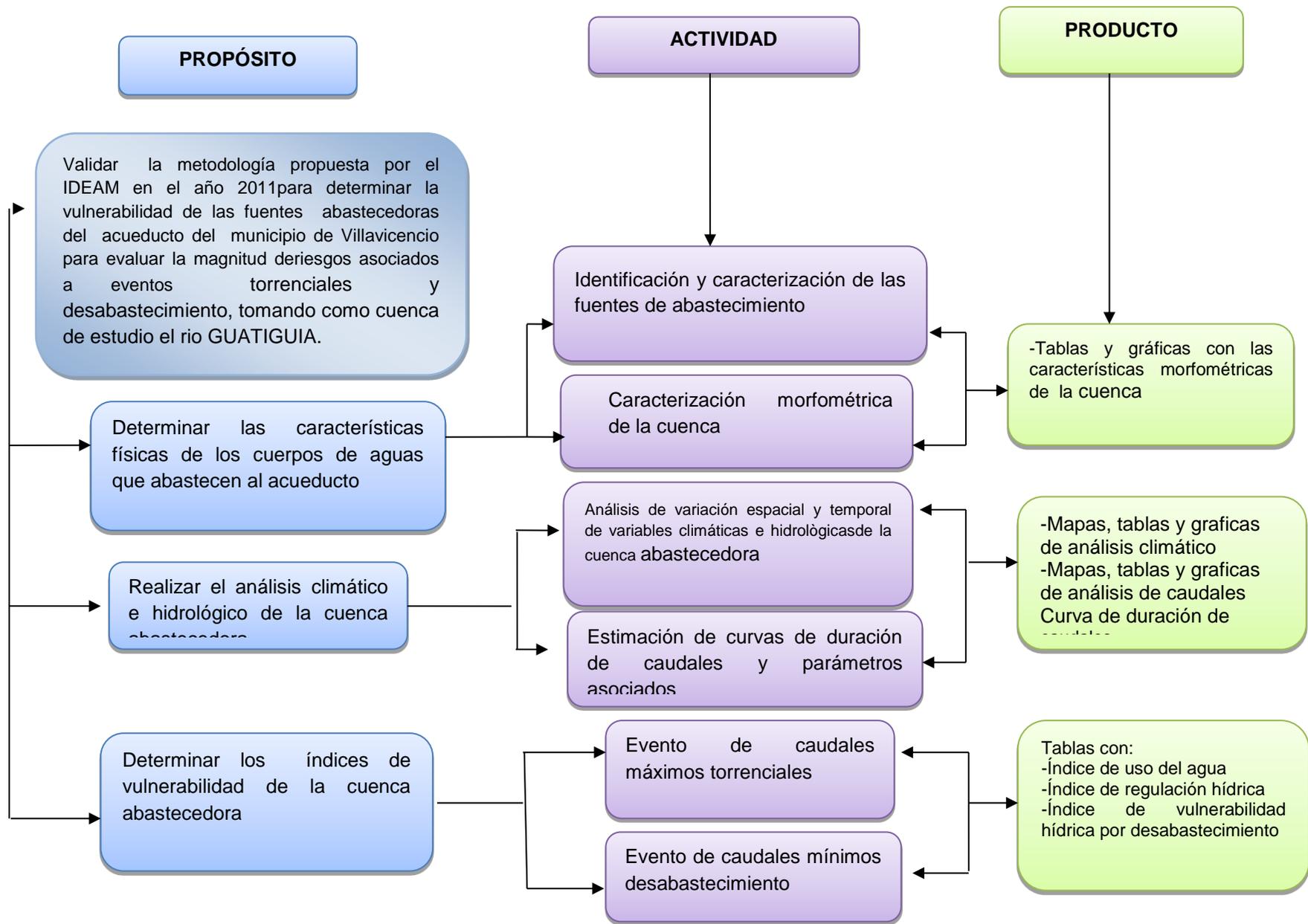


Figura 4. Esquema de marco lógico para evaluación de la vulnerabilidad en fuentes abastecedoras superficiales.

5.2. EVALUACIÓN DE LAS VARIALES DE VULNERABILIDAD DE FUENTES ABASTECEDORAS

El análisis de vulnerabilidad, se enfoca particularmente a las cuencas abastecedoras de los distintos centros poblados y zonas rurales o corregimientos y/o veredas, los cuales se abastecen de fuentes superficiales asociados a una cuenca. En este sentido, los sistemas de abastecimiento por medio de fuentes subterráneas no son tenidos en cuenta dentro de este análisis, dado que la complejidad de los mismos, hace necesario realizar otro tipo de evaluaciones asociadas a la vulnerabilidad del recurso.

Así mismo, se analizan las condiciones de vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras en relación con los eventos extremos que se pueden presentar en una cuenca, ya sea por presencia de caudales altos o caudales bajos. Para el primer caso, existe una alta probabilidad de presentarse eventos torrenciales de acuerdo con las características de las cuencas en las cuales se involucra las características de forma de la misma, la pendiente promedio, las características de los suelos, y los usos que se presentan en ella. Estos eventos, son causantes de fallas que en muchos casos generan la suspensión total del servicio de abastecimiento de agua por una alta carga de sedimentos que puedan ser transportados y que alteren el tratamiento del agua, y en algunos casos generen la destrucción de la infraestructura utilizada para la captación. El segundo caso, hace referencia a eventos relacionados con caudales bajos, los cuales generan un desabastecimiento del recurso, y en algunos casos, condiciones de sequía.

Por lo anterior, en la figura 5 se enfoca el análisis en mostrar cuales son las variables que presentan gran relevancia cuando se quiere conocer la vulnerabilidad física de una cuenca abastecedora, así como las metodología que se debe seguir para poder obtener dichas variable, las cuales permitirán determinar indicadores que caractericen la vulnerabilidad.



Figura 5. Análisis de vulnerabilidad para eventos hidrológicos extremos de la fuente abastecedora

(IDEAM, 2011)

5.2.1. VARIABLES ASOCIADAS A EVENTOS DE CAUDALES MÁXIMOS

En el caso de los eventos extremos asociados a caudales máximos, las variables asociadas están en función de las características de cada una de las cuencas como el área de la cuenca, la densidad de drenaje, el coeficiente de compacidad y la pendiente media de la cuenca, las cuales son la base para la definición del grado de torrencialidad de un cauce el elemento que sirve de indicador para el análisis de los eventos torrenciales se muestra en la figura 6.



Figura 6. Variables a tener en cuenta en el análisis para eventos torrenciales (IDEAM, 2011)

Las variables mencionadas se describen a continuación:

- **Área de la cuenca A_c :**

El área de drenaje de la cuenca es la superficie, en proyección horizontal, delimitada por la divisoria de aguas, siendo la divisoria una línea imaginaria que pasa por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de estudio de otras cuencas vecinas. Esta línea no siempre es el contorno real de la cuenca, ya que la influencia de la geología puede hacer que el contorno de aportación de aguas subterráneas y sub-superficiales sea distinto del superficial.

El área de la cuenca es importante debido a que generalmente, los caudales de escorrentía superficial, aumentan a medida que se aumenta la superficie de drenaje, además, mientras menor sea el área, es más común detectar eventos de creciente instantánea y de respuesta inmediata, a diferencia de una cuenca con un área mayor.

- **Coefficiente de Compacidad:**

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de igual área a la de la cuenca. El valor del coeficiente será mayor en cuanto la cuenca sea más irregular, indicando mayor tendencia a las crecientes en la medida en que este número sea próximo a la unidad, es decir que tienda a ser circular. Si por el contrario, el índice se aleja de la unidad, se muestra una tendencia de alargamiento en la forma de la cuenca: (Proyecto vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de acueductos. (IDEAM. 2011).

$$KC = 0.28 P (Ac)^{-1/2}$$

Donde Kc es el coeficiente de compacidad, Ac y P son el área y el perímetro de la cuenca respectivamente.

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

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

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

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

- Pendiente media de la cuenca S

La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce. En general, esta controla la velocidad del flujo y el tiempo de concentración. Para su cálculo se pueden aplicar diferentes criterios como el de Alvord, Horton y Nash.

Otra forma de estimar la pendiente del cauce, es a través del método de Taylor, el cual relaciona la longitud del cauce principal con la diferencia de elevaciones entre el lugar de nacimiento del cauce y el punto final del mismo por tramos donde se conozca la diferencia de elevación. Tal pendiente, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$S_T = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^n L_i / \sqrt{S_i}} \right]^2$$

Dónde:

S_T Es la pendiente calculada por el método de Taylor, L es la longitud total del cauce,

L_i la longitud de un tramo del cauce medida entre dos curvas de nivel a una altura determinada

S_i la pendiente dada por la relación entre la diferencia de cota de dos curvas de nivel y la longitud L_i .

- **Densidad de drenaje Dd:**

Horton (1945), define la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de los cauces que conforman el sistema fluvial de la cuenca, en kilómetros y el área total de la cuenca en kilómetros cuadrados (Ibid.):

$$Dd = Lc / Ac$$

Dónde:

Ac es el área de la cuenca, Lc la longitud total de las corrientes, y Dd la densidad de drenaje.

5.2.2. VARIABLES ASOCIADAS A EVENTOS DE CAUDALES MÍNIMOS

En términos generales los parámetros que se emplean para los eventos de caudales bajos asociados con sequías, de acuerdo con la figura 5 son tomados de los datos que suministra la curva de duración de caudales medios diarios, entre ellos, el volumen bajo la curva de duración, el volumen bajo la línea del caudal medios, la relación entre el caudal medio y el caudal mínimo (Q95%), y la pendiente de dicha curva.

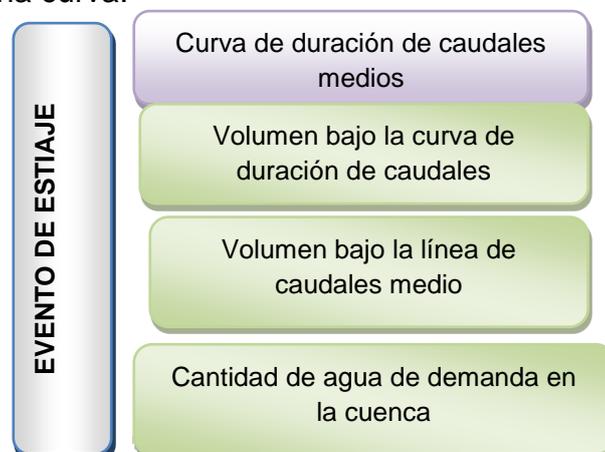


Figura 7. Variables a tener en cuenta en el análisis para eventos de caudales mínimos (IDEAM, 2011)

- **Curva de duración de caudales**

La curva de duración de caudales es un análisis de frecuencias de datos de caudales que representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. En esta gráfica se muestra el caudal Q como ordenada y el número de días del año expresados en porcentaje de tiempo en el que un caudal Q es excedido o igualado, como abscisa. La ordenada Q para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del caudal para un año promedio, que se espera sea excedido o igualado un porcentaje del tiempo (Ibid.).

Estas curvas pueden ser construidas a partir de datos de caudales medios anuales, medio mensuales o datos diarios. En el caso de una curva de duración de caudales diarios, la misma presenta una curva con pendiente más pronunciada en relación con una curva construida a partir de datos mensuales, dado que en la última, los valores picos son suavizados al realizar los promedios.

Al dibujar las curvas en papel logarítmico, se obtiene una línea recta, al menos en la parte central, línea de la cual se pueden obtener varios coeficientes que expresan la variabilidad del flujo en un río y que pueden usarse para describir y comparar diferentes corrientes.

En este caso, si se obtienen pendientes altas en la curva de duración, se indica que existe una alta variabilidad en los caudales, lo cual es un indicativo de mayor vulnerabilidad para una determinada cuenca. Pendientes bajas indican respuestas lentas a las lluvias y variaciones bajas o pequeñas al caudal.

5.3. GENERACION DE INDICADORES

De acuerdo con los resultados presentados en el ENA 2010, existen indicadores de gran importancia en el análisis de vulnerabilidad para fuentes abastecedoras como lo son:

- **Índice de retención y regulación hídrica (IRH)**

Evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción suelo-vegetación con las condiciones climáticas (ENA, 2010). El índice se mueve en un rango de 0 a 1, siendo los valores más bajos aquellos que presentan menos regulación. Como información de entrada se requiere de los caudales medios diarios con series históricas de más de 15 años.

El mismo es estimado a partir de la curva de duración de caudales, y se define como la relación existente entre el volumen bajo la línea del caudal medio (VP) y el volumen bajo la curva de duración de caudal (Vt).

$$\text{IRH} = \text{VP} / \text{Vt}$$

- **Índice de uso del agua (IUA)**

Este índice mide la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo determinado y unidad especial de análisis en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo (ENA, 2010). Matemáticamente el índice es la relación entre la demanda hídrica sectorial (Dh) y la oferta hídrica superficial disponible (Oh) que resulta de la oferta hídrica natural, menos el caudal ambiental.

$$IUA = Dh / Oh \times 100$$

Donde dh = σ (volumen de agua extraído para usos sectoriales en un periodo determinado)

Como parte del volumen de agua extraído, se considera el consumo humano doméstico, los consumos de los sectores agrícola, industrial, servicios, energía, acuícola, y el agua extraída no consumida.

La evaluación de este indicador requiere de series históricas de caudales diarios y mensuales con registros de más de 15 años, junto con los datos de demandas sectoriales. Los rangos para la categorización del índice de uso de agua se presentan a continuación, y los mismos son extensamente explicados en los capítulos 3 y 5 del Estudio Nacional del agua (ENA, 2010). En la tabla 2 se muestra el rango y categoría del IUA.

Tabla 2: Rangos y categorías del IUA

Rango IUA	Categoría	Significado
> 50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
< = 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: ENA Estudio Nacional del Agua 2010

- **Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH)**

Define el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante periodos largos de estiaje, podría generar riesgo por desabastecimiento (ENA, 2010).

Este índice es determinado a partir de una matriz que relaciona los rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso del agua (IUA) se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Relaciones para categorizar el IVH

IUA	IRH	Categoría de Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Moderado	Alto	Medio
Moderado	Moderado	Medio
Moderado	Bajo	Alto
Moderado	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: ENA Estudio Nacional del Agua 2010

- **Índice Morfométrico de Torrencialidad (IFM)**

El índice morfométrico se constituye en la relación entre las variables morfométricas como el coeficiente de Compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la

forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto, 2009).

Para dicho índice, se definen una serie de valores promedio de las variables indicadas, estableciendo seis categorías o rangos, en los cuales mientras mayor sean estos valores, hay una mayor tendencia para que en la cuenca se presenten procesos torrenciales, es decir, existe una mayor vulnerabilidad a este tipo de procesos.

La tabla 4 y 5 muestra los diferentes rangos para los cuales se realiza la clasificación de las variables mencionadas.

Tabla 4. Relaciones para categorizar el IFM

Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (Km ²)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2.00	2,01 – 2.50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2.00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2.00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 -1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga		Casi redonda a oval-redonda	

Fuente: Rivas y Soto 2009

Tabla 5. Relaciones entre variables para el IFM

		Pendiente media de la cuenca						
		1	2	3	4	5		
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1	Coeficiente de forma
		112	122	132	142	152	2	
		113	123	133	143	153	3	
		114	124	134	144	154	4	
		115	125	135	145	155	5	
	2	211	221	231	241	251	1	
		212	222	232	242	252	2	
		213	223	233	243	253	3	
		214	224	234	244	254	4	
		215	225	235	245	255	5	
	3	311	321	331	341	351	1	
		312	322	332	342	352	2	
		313	323	333	343	353	3	
		314	324	334	344	354	4	
		315	325	335	345	355	5	
	4	411	421	431	441	451	1	
		412	422	432	442	452	2	
		413	423	433	443	453	3	
		414	424	434	444	454	4	
		415	425	435	445	455	5	
	5	511	521	531	541	551	1	
		512	522	532	542	552	2	
		513	523	533	543	553	3	
		514	524	534	544	554	4	
		515	525	535	545	555	5	

Muy Alta
 Alta

Baja
 Moderada

Muy Baja

Fuente: Rivas y Soto 2009

Una condición muy alta para el índice morfométrico, corresponde a áreas que se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

La categoría alta muestra áreas con una respuesta hidrológica rápida con una cobertura de suelo que permite procesos torrenciales que se presentan frecuentemente en periodos lluviosos. La condición media, en cambio, presenta una respuesta a procesos hidrológicos de moderada a rápida y los eventos se presentan generalmente en las épocas de las mayores precipitaciones al año.

- Índice de variabilidad (IV)

El índice de variabilidad, que se obtiene de la curva de duración de caudales, muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca, siendo una cuenca torrencial, aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos. Cuencas con variabilidades pequeñas muestran que los caudales tienden a mantenerse y los cauces por los que existe flujo, generalmente tienen la capacidad para transportar estos caudales. El comportamiento con variabilidad pequeña es típico de cauces de llanura, los cuales generalmente no presentan procesos torrenciales.

Cuencas de área pequeñas con pendientes altas, por lo general presentan caudales de creciente que se presentan con poca frecuencia, alternado de caudales medios y bajos con magnitudes muy inferiores a las de los caudales máximos, que hacen que la curva de duración de caudales muestre una gran variabilidad.

La curva de duración de caudales al ser graficada en escala logarítmica, muestra una tendencia lineal, de la cual se puede obtener el índice de variabilidad que se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\text{-Índice de variabilidad} = (\text{Log } (Q_i) - \text{Log } (Q_f)) / (\text{Log } (X_i) - \text{Log } (X_f))$$

Donde, Q_i y Q_f representan dos caudales tomados de la curva de duración de caudales, y X_i y X_f los porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Q_i y Q_f respectivamente. La tabla 6 muestra los rangos en los cuales se mueve el índice de variabilidad.

Tabla 6. Clasificación del índice de variabilidad

ÍNDICE DE VARIABILIDAD	VULNERABILIDAD
< 10°	Muy baja
10.1° - 37°	Baja
37.1° - 47°	Media
47.1°-55°	Alta
> 55°	Muy alta

Fuente: ENA Estudio Nacional del Agua 2010

- Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca. Esto es, la vulnerabilidad se expresa en relación con los índices morfométrico y de variabilidad, los cuales se pueden relacionar entre sí, para estimar una sola vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, teniendo en cuenta los rangos y las clasificaciones de cada uno de ellos. La tabla 7 muestra como se clasificaría la vulnerabilidad frente a eventos torrenciales una vez se estiman cada uno de los índices mencionados (IDEAM. 2010).

Tabla 7. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales

ÍNDICE DE VARIABILIDAD	ÍNDICE MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: ENA Estudio Nacional del Agua 2010

5.4 FUENTES DE INFORMACION

Para delimitar la cuenca se requiere la información cartográfica del IGAC a escalas 1:50000 a 1:25000 o modelos digitales de terreno DEM 30*30 para integrar la red hidrográfica y estimar los parámetros morfométricos con modelamiento espacial en SIG.

Se requiere información hidrometeorológica del IDEAM con más de 20 años de registro correspondiente a la red hidrometeorológica del área de estudio.

Adicionalmente, se utilizan los distintos estudios elaborados de la cuenca del río Guatiquía, por parte del Ministerio de Ambiente, Superintendencia de Servicios Público información correspondiente a la red de acueducto municipal de Villavicencio. CORMACARENA suministro la información referente a él plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hídrica del río Guatiquia POMCH. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio EAAV brindo información sobre las características generales del sistema de abastecimiento de agua potable, Informes sobre algunos estudios realizados anteriormente en la cuenca del río Guatiquía y referencias para consulta en forma escrita, digital y virtual. Complementariamente, se realizan visitas a la cuenca para el reconocimiento y georreferenciación de los puntos de captación y la realización del registro fotográfico.

6. CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

La cuenca de estudio se encuentra bajo la jurisdicción de la Unidad Administrativa de Parques Nacionales Naturales “UAESPNN” y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena “CORMACARENA” abarcando una extensión de extensión de 180.641 hectáreas POMCH 2009.

Está ubicada en el centro de Colombia al sur - este de los departamentos de Cundinamarca y al nor - occidente del departamento de la Meta. La parte norte de la cuenca se localiza en la región andina y la parte sur de la región de la Orinoquia (Figura 8).

Presenta alturas sobre el nivel del mar que varía de los 175 msnm en la región de los llanos, hasta los 4000 msnm en la cordillera.

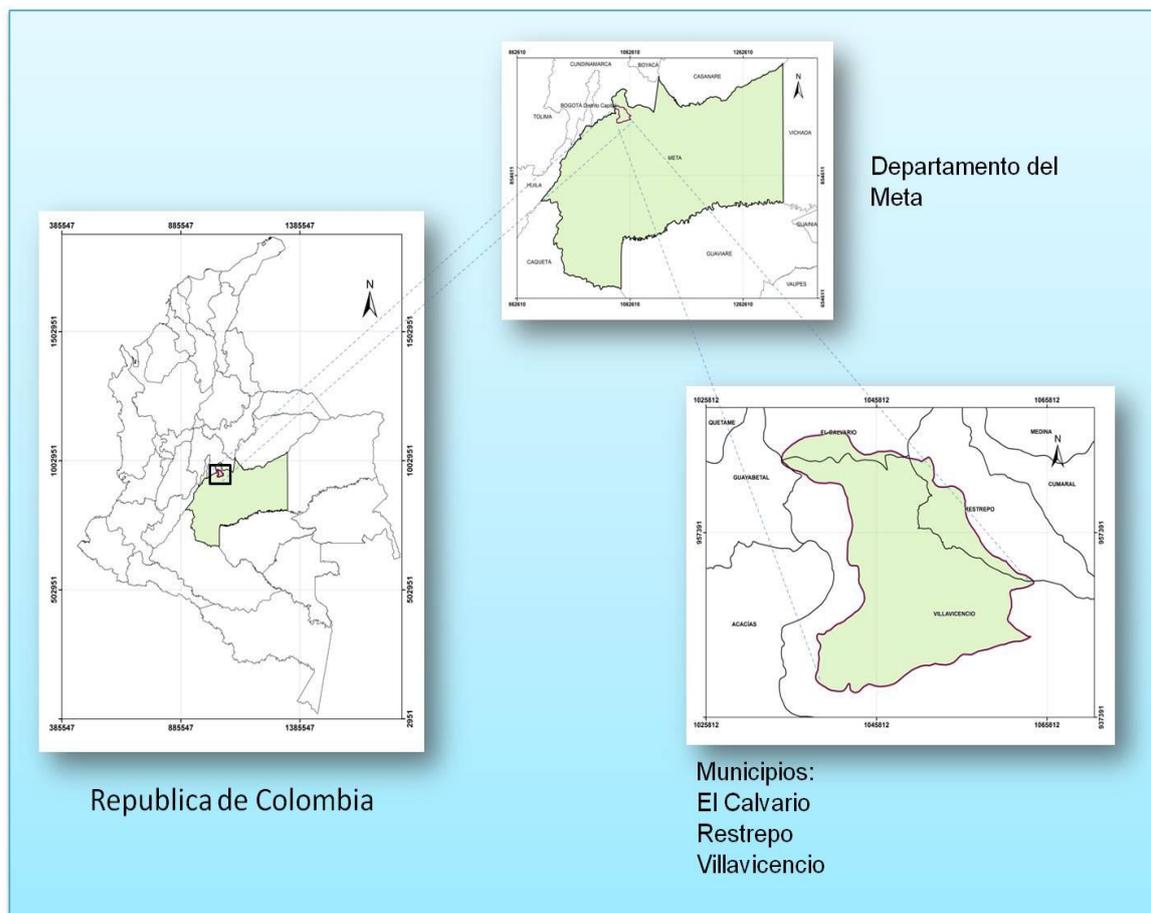


Figura 8. Localización geográfica de la cuenca del río Guatiquía en Colombia y el departamento del Meta

6.1. DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de interés para la determinación de la vulnerabilidad corresponde a la Cuenca del Río Guatiquía la cual abastece el municipio de Villavicencio.

La cuenca limita por el norte con los municipios Choachi, la Calera, Junín y Gachala, al oriente con Medina y Cumaral, por el sur con Puerto López y Villavicencio y por el occidente con Villavicencio, Guayabetal, Quetame y Fomeque (Figura 9). Se encuentra localizada entre los $4^{\circ}41' 19''$ y $4^{\circ}24' 2''$ de latitud norte y $73^{\circ}3' 54''$ y $73^{\circ}49' 27''$ de longitud oeste

El territorio se une por carretera que va desde Bogotá hasta Puerto López. En la cuenca se encuentra la capital del departamento del Meta, Villavicencio y las cabeceras municipales de los Municipios de San Juanito, El Calvario, Restrepo y parte de Cumaral (POMCH 2009).

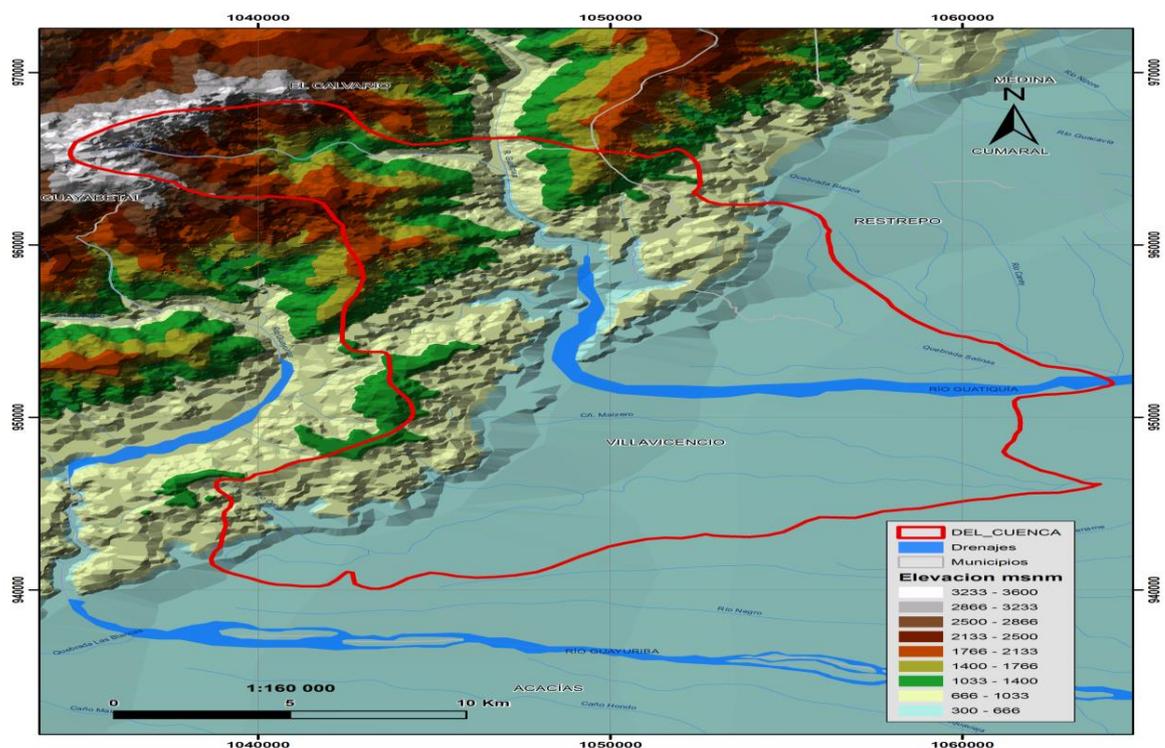


Figura 9. Delimitación del área de estudio en la cuenca del río Guatiquía

6.2. CARACTERISTICAS FISICAS DEL AREA DE ESTUDIO

6.2.1. GEOLOGÍA

La vertiente este de la cordillera Oriental corresponde a las Plancha 226 Villavicencio del Ingeominas. Esta región está constituida por esquistos metamórficos paleozoicas suprayacidos por secuencias de lutitas y areniscas cretácicas. En la parte baja estas secuencias están cubiertas por depósitos terciarios y cuaternarios aluviales. Las rocas sedimentarias próximas a la ciudad de Villavicencio se encuentran fuertemente plegadas y falladas a partir del levantamiento de la cordillera Oriental durante el Mio-plioceno. (P.O.T. Municipio de Villavicencio 2000 – 2007).

El área de las colinas próximas a Villavicencio que se localizan en la parte media y alta de las microcuencas de los caños Parrado, Gramalote, Maizaro y Buque, se encuentran sumamente fracturadas debido a dos fallas principales del sistema de falla del Piedemonte Llanero: La falla de Servitá-Restrepo y la falla Mirador-Restrepo con actividad neotectónica. (*Ibid.*)

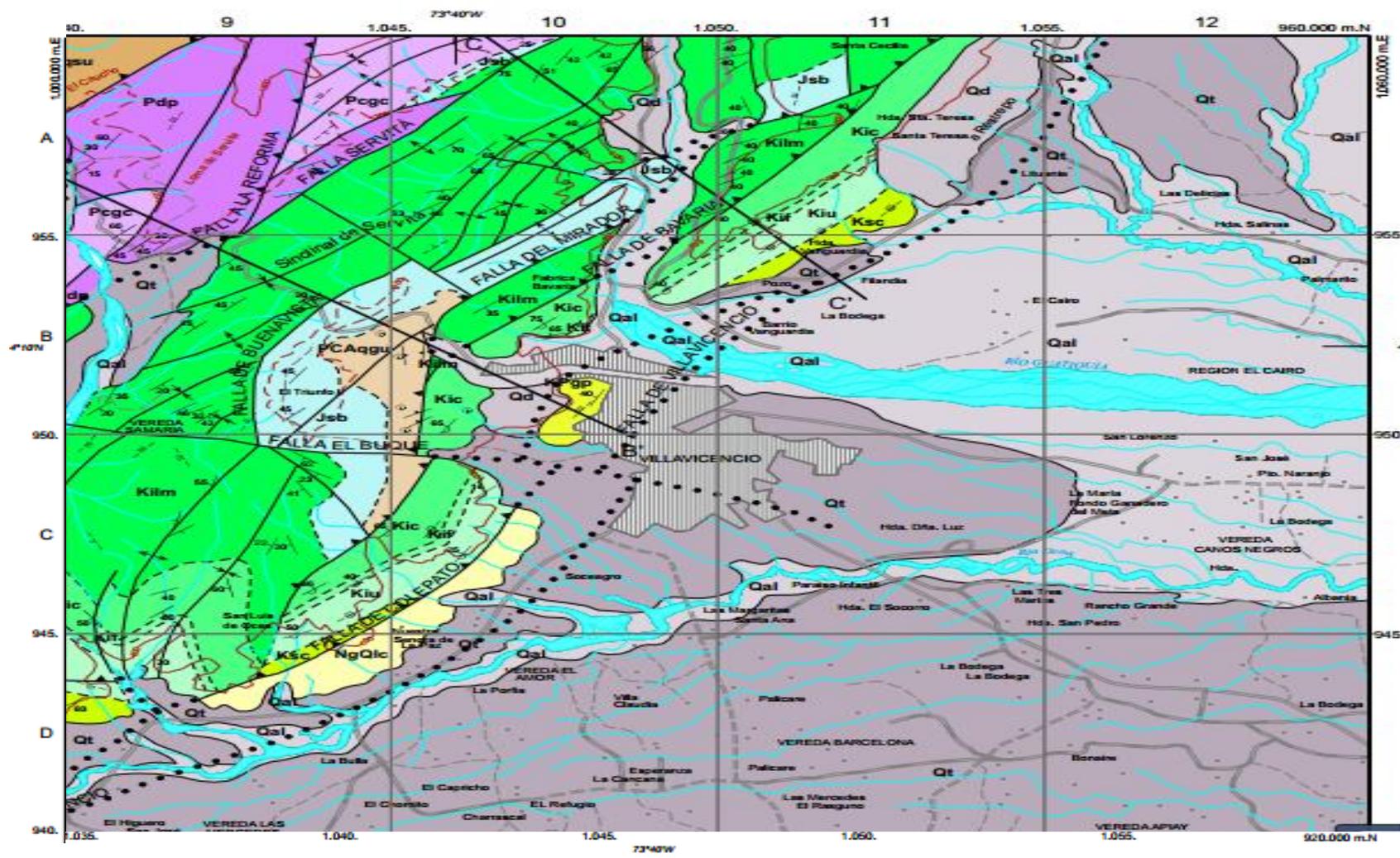


Figura 10: Geología del área de estudio

En la plancha 266 se muestra nuestra área de estudio del municipio de Villavicencio según su estratificación se reconocen rocas metamórficas de edad pre devónica y secuencias sedimentarias que corresponden a él devónico – carbonífero a él jurasico superior, al cretácico, al terciario, igualmente se reconoce depósitos cuaternarios. Se adopto la nomenclatura empleado por INGEOMINAS en la región de la sabana de Bogotá como la de los farallones de medina y del borde llanero

A continuación se menciona las formaciones evidenciadas en el área de estudio en la figura 10

- **QT - QAL – QD: Depósitos Cuaternarios**
- **JSB: Formación Brechas de Buenaventura**
- **KSC: Formación Chipaque**
- **KIC: Formación Arenisca de Caqueza**
- **KILM: Formación Lutitas de Macanal**
- **PDP y PCGC: Formación Capas Rojas del Quatiquia**

En cuanto a la estructura geológica las Fallas presentes en el área de estudio son la siguiente según la figura 10.

Falla Susumuco el Buque: afecta terrenos de donde se proyecta el desarrollo de los futuros desarrollo vial entre Bogotá y Villavicencio

Falla Villavicencio- Cola de Pato: se considera que esta forma parte del gran sistema de fallas frontal de la cordillera oriental

Falla del Mirador: en las épocas de invierno se forman deslizamiento y alteraciones en la banca de la carretera que conduce a bogota en el túnel que comunica a Villavicencio

Falla Servita: por efectos de gravedad produce continuos deslizamiento en masa rocosas como ocurre en el borde del rio Upin que al ser transportado por las aguas en las épocas de lluvia a ocasionado una elevación de su nivel a las

cercanías de la población de Restrepo con un alto riesgo de inundación en la parte urbana. (Geología de la plancha 266 Villavicencio 2001 INGEOMINAS).

6.2.2. GEOMORFOLOGÍA

Fisiográficamente el municipio de Villavicencio presenta dos grandes unidades: la parte plana o llana y la vertiente de cordillera que incluye el Piedemonte. Dentro de la primera se puede identificar planicies aluviales y terrazas aluviales con diferentes elevaciones y valles. La vertiente de la cordillera se puede dividir en pie de vertiente con los abanicos fluvioterrenciales, laderas irregulares muy disectadas y colinas. (P.O.T. Municipio de Villavicencio 2000 – 2007).

Los procesos morfodinámicos en el municipio de Villavicencio pueden agruparse en dos grandes unidades: procesos erosivos y procesos de sedimentación. Los primeros se presentan en las vertientes de la cordillera (parte alta de los ríos Guatiquía y Guayuriba, y parte alta de las microcuencas del piedemonte) y los segundos en la zona de la llanura. (*Ibid.*)

Los eventos más frecuentes de remoción en masa en la vertiente de la cordillera son los deslizamientos asociados con carcavamientos y en menor escala con respecto a los anteriores está la erosión laminar. A partir de los estudios adelantados en el río Guatiquía, dentro de la parte alta de la cuenca, en el municipio de Villavicencio se contabilizaron en 1993 más de 70 deslizamientos con superficies entre 0,3 y 20 hectáreas, lo que hace inferir que dentro del municipio seguramente se duplique la cifra anterior en razón a la cobertura del (*Ibid.*). De otra parte existen flujos en estado plástico debido a la acción conjugada de la gravedad y la saturación de agua sobre una gran extensión de pasturas localizadas en laderas algo empinadas (25-50%).

Generalmente este fenómeno recibe el nombre de terracetas lo cual da inicio en la mayoría de casos a problemas mayores de erosión (*Ibid.*).

El proceso más activo lo constituye la erosión acelerada en la parte alta de las microcuencas de los caños Parrado, Buque, Maizaro, La Palma, Grande, Susumuco, Blanca, Argentina y en la parte baja de la microcuenca de la quebrada Honda, esta última abastecedora del Acueducto por Gravedad de la ciudad de Villavicencio. Se presenta con especial intensidad cárcavamiento con deslizamientos asociados (*Ibid.*).

La parte alta de las microcuencas que conforman el primer grupo ocupan un área aproximada de 2.104 hectáreas, de las cuales en el año de 1989, un total de 1048 hectáreas (50%) estaban afectadas por la erosión, y de estas 114 hectáreas correspondían a procesos de erosión críticos, tales como la remoción en masa y el cárcavamiento. La colina estructural del cerro de Cristo Rey y su área circundante presentan procesos de solifluxión y deslizamientos activos afectando barrios subnormales ubicados en el sector de "las colinas". (*Ibid.*)

Al norte de Villavicencio en límites con el municipio del Calvario se localiza la microcuenca de Quebrada Honda. Allí se construyeron las estructuras de captación de agua y se adelanta la construcción de la línea de conducción del acueducto por gravedad. La parte baja de la microcuenca, unas 86 hectáreas (alrededor del 2,0% del área total), está afectada por la presencia de deslizamientos y cárcavamientos activos de gran magnitud. (*Ibid.*)

En la llanura, el principal fenómeno encontrado es la erosión fluvial y en menor proporción la erosión laminar. El proceso morfodinámico más activo en esta zona es la sedimentación de los cauces de los ríos, producto, por una parte de la carga de sedimentos que aportan las vertientes por los procesos erosivos que ocurren en sus laderas, y por otra parte el cambio brusco de pendiente que sufren las corrientes principales al entrar en la llanura. (*Ibid.*)

Este proceso de sedimentación, muy activo especialmente en la parte media de la cuenca del río Guatiquía, tiene graves implicaciones sobre un gran sector de la ciudad de Villavicencio en sus márgenes izquierda y derecha, pero

particularmente en esta última, donde la combinación que produce la elevación del nivel del cauce del río por la sedimentación, más la presencia de fuertes crecientes, dan lugar a que el cauce desborde sus aguas y se inunde periódicamente un gran número de viviendas de barrios subnormales localizadas en los bajos del río Guatiquía. (*Ibid.*)

6.2.3. HIDROGRAFÍA.

A partir de la concentración de lluvias en el Piedemonte llanero y la zona de cordillera se ha producido una intensa red hidrográfica. Sobre las laderas y colinas se observa un patrón dendrítico a subdendrítico con muestras locales de control estructural, marcadamente radial sobre los abanicos Honda, Buque, Maizaro y Parrado, y una dinámica de ríos trenzados y meándricos en la zona de llanura. (*Ibid.*)

Básicamente Villavicencio es limitado en tres costados por los ríos Guatiquía y Guayuriba en aproximadamente 130 km. Otras quebradas como Honda, el Guadual, Negra y Salinas sirven igualmente de límite en longitud aproximadamente 40 km. La cuenca del río Meta es la receptora de los afluentes del Municipio de Villavicencio, y ella a la vez vierte sus aguas a la gran cuenca del Orinoco.

La cuenca del río Guatiquía nace en el Páramo de Chingaza en el Municipio de Fómeque (Cundinamarca). La distribución irregular del caudal, agravado por el inadecuado uso de los recursos naturales en la cuenca alta causa una serie de adversidades en el invierno (Figura 11).

Los principales afluentes como el río Upía, Ocoa, Upín y Caño Mayuga forman su sistema hídrico.

La erosión que se presenta en la cuenca alta del río Guatiquía genera grandes aportes de sedimentos que han colmatado el cauce del río en la parte baja (sector urbano de Villavicencio), trayendo como consecuencia el desbordamiento y las inundaciones periódicas de las márgenes, causando pérdidas humanas y cuantiosos daños materiales.

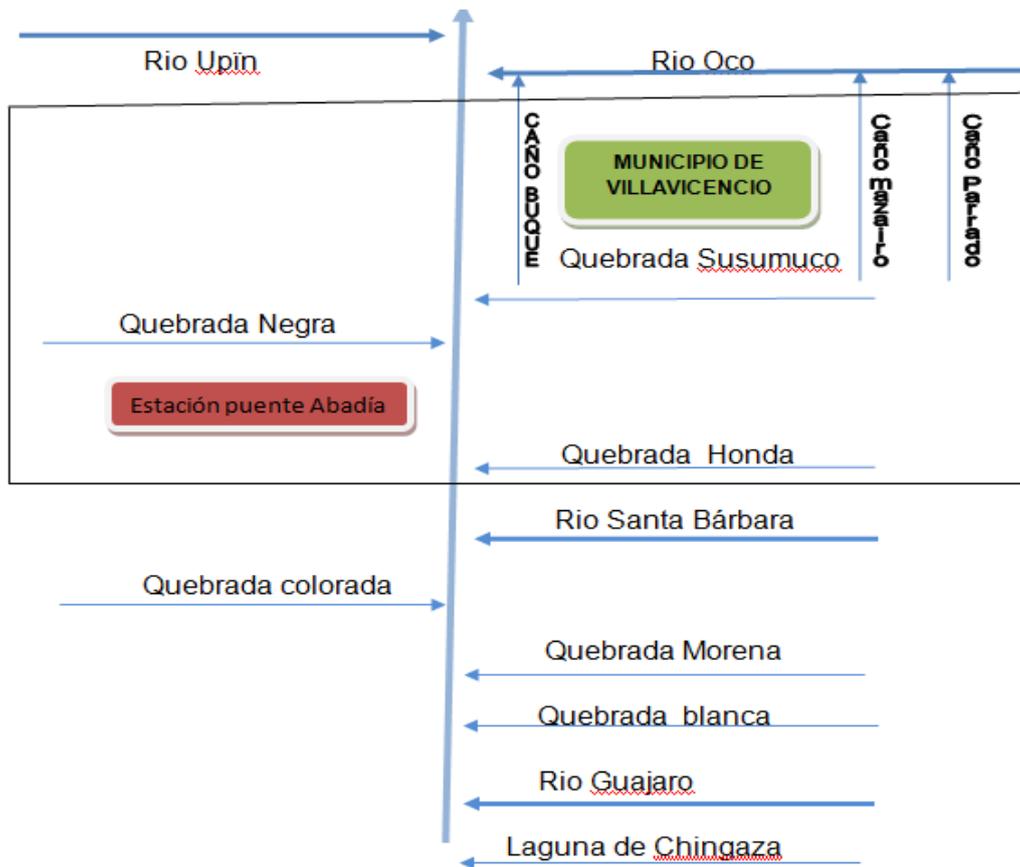


Figura 11. Cuenca del río Guatiquia

6.3. EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIOS PUBLICOS EN EL AREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Guatiquia abarca los municipios San Juanito, El Calvario, Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Puerto López del Departamento del Meta, y el municipio de Fómeque del Departamento de Cundinamarca. Por ende en estas zonas y a raíz del aumento de asentamientos humanos y la necesidad del abastecimiento de agua potable y alcantarillado, en estos municipios se han conformado prestadores de servicios públicos que se encargan de la captación, conducción, almacenamiento, tratamiento, comercialización y distribución del agua potable para consumo humano, y de la recolección y disposición final de las aguas negras provenientes del alcantarillado.

Estos prestadores tienen la obligación de inscribirse en el Registro Único de Prestadores de Servicios Públicos que administra la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y que a la fecha cuenta con más de 2000 prestadores de servicios públicos a nivel nacional.

Los prestadores de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado que se encuentran en la cuenca del Río Guatiquia y que están activos a 31 de Diciembre de 2009 son los siguientes (Tabla 8):

Tabla 8. Empresas de prestadoras de servicios públicos

MUNICIPIO	PRESTADOR DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO	SUBSCRITORES DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO	FUENTE ABASTECEDORA	CAUDALES TOTAL
FOMEQUE	Secretaria de Servicios Públicos	2340	Río Negro y la Quebrada San Vicente	16.5 (Lt/s).
SAN JUANITO	Municipio de San Juanito	108	Quebrada Blanca	252288 m3/año
	EDESA S.A E.S.P			10 (Lt/seg)
EL CALVARIO	Junta de Servicios Públicos del Municipio del Calvario	271	Caño Panela,	2,5 (Lt/seg)
CUMARAL	Empresa de servicios Públicos del Meta S.A. E.S.P.	2299	Río Guacavia,	92 (lt/seg).
	Junta Administradora de Acueducto de Guacavia	299		
	Junta de Acción Comunal Inspección de Veracruz	322		
	Asociación Empresa Comunitaria Servicio de Acueducto Inspección Canet Medio	363		
	Acueducto San Nicolás	121		
RESTREPO	Empresa de Servicios Públicos de Restrepo agua viva S.A. E.S.P.	2212	Río Caney,	2270592 m3/año
VILLAVICENCIO	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio	74271	Pozo Subterráneo	3(lt/s)
			Pozo Subterráneo	4(lt/s)
			Pozo Subterráneo	30(lt/s)
			Pozo Subterráneo	5(lt/s)
			Pozo Subterráneo	12(lt/s)
			Pozo Subterráneo	25(lt/s)
			Pozo Subterráneo	28(lt/s)
			Pozo Subterráneo	25(lt/s)
			Pozo Subterráneo	14(lt/s)
			Quebrada Honda	1600 (lt/s)
			Caño Buque	100 (lt/s)
			Caño Parrado	100 (lt/s)
			Río Guatiquia	900 (lt/s)
Caño Maizaro	21 (lt/s)			
PUERTO LÓPEZ	Empresa de Servicios Públicos de puerto López SA ESP es Puerto SA ESP	4042	Pozo Profundo	6 (lt/s).
	Junta VeredalPachaquiario	320		
	Junta veredal Puerto Porfia	58		
	Junta Veredal la Balsa	92		
	Junta veredalaltamira	50		
	Junta Veredal Puerto Quadalupe	215		

6.3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE VILLAVICENCIO

- Servicio de Acueducto.

La zona urbana es atendida por el acueducto principal, a cargo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV), que se surte de las bocatomas de Bavaria, Puente Abadía (rio Guatiquia), Quebrada Honda, Caño Parrado, así como de los pozos profundos de los barrios Dos Mil, Esperanza 1, Olímpico, La Rosita, Remanso, Estero, Parque La Llanura y El Jardín con una cobertura del 91.82%. (Diagnóstico Sectorial del Municipio de Villavicencio EAAV S.A. E.S.P. 2009).

El Departamento de Acueducto en la actualidad, es el responsable del tratamiento y la distribución del agua potable en la Ciudad de Villavicencio. Consecuentemente con lo anterior, tiene a su cargo el mantenimiento general de la red, que cuenta con más de 702.355 mts lineales de tuberías, en varios materiales y diámetros así como también las más de 2.000 válvulas, 120 hidrantes, ventosas y descargues que alivian el sistema. (*Ibid.*).

La principal planta se encuentra ubicada en el barrio La Esmeralda, es una planta convencional con los procesos de aducción, dosificación de químicos, mezcla rápida y coagulación, floculación, sedimentación, filtración, cloración y almacenamiento. Se cuenta también con una planta alterna en el sector de fuentes altas, cuyo tratamiento se realiza mediante desinfección. (*Ibid.*).

Además existen tres plantas satélites de pequeña capacidad en sectores aislados de la red principal y alimentada con pozos subterráneos en Samán de la Rivera, Bosques de Abajam y Darién. El tratamiento consiste en aireación, corrección de PH, desinfección, filtración y almacenamiento. (*Ibid.*)

Para cumplir con el servicio de acueducto, se cuenta con una estructura orgánica, procesos y responsabilidades ilustrados en la figura 12.



Figura 12 .Estructura orgánica

- Fuentes de Abastecimiento Acueducto de Villavicencio

La Empresa dispone de seis fuentes superficiales y de quince fuentes subterráneas en total, que trabajan por medio de pozos profundos. Adicional a esto, cuenta con la Estación de Bombeo Virrey, que se encuentra ubicada en la Planta de Potabilización La Esmeralda, la cual suministra agua al 70% de los barrios del sector alto de la ciudad, perteneciente a la comuna uno.

Tabla 9 .Plantas de tratamiento

PLANTAS DE TRATAMIENTO	CAUDAL (L/SEG)
Planta la Esmeralda	160.000,00
Planta de Fuentes altas	200,00
Planta de Saman de la Rivera	20,00
Planta del Busque de Abajam	27,00
Planta del Darién	6,00
Planta Charrascal	27,00

Fuente: EAAV S.A. E.S.P 2009

Las tablas 10 y 11 ilustran de fuentes de abastecimiento de agua en Villavicencio:

Tabla 10.Fuentes Superficiales V/cio.

FUENTE SUPERFICIAL	CAUDAL	UBICACIÓN
Caño Maizaro	21 l/seg	Vereda el Carmen
Buque	100 l/seg	Vereda el Carmen
Caño Blanco	46 l/seg	Vereda las mercedes
Quebrada la Honda	1600 l/seg	Cordillera. vereda quebrada honda, palmar,santa helena, santa teresa y monfort
Caño Parrado	100 l/seg	-
Río Guatiquia	900 l/seg	-

Fuente: EAAV S.A. E.S.P. 2009

Tabla 11. Fuentes abastecimiento por pozos profundos

POZOS PROFUNDOS	CAUDAL L/SEG	UBICACIÓN
1 El Darien	Pend. legal Concesión	Barrio el Darien
2 La Rosita	5	La rosita
3 Torres de SanJuan	3	Torres de san Juan
4 Dos Mil	12	Dos mil
5 Olímpico	25	Olímpico
6 El Sikuani	25	Parque el Sikuani
7 El Estero	28	El Estero
8 Jardin	14	Jardin
9 Sama de la Rivera	4	Sama de la Rivera
10 Bosques de Abajam	19	Bosques de Abajam
11 Ciudadela San Antonio	12	Ciudadela San Antonio
12 La Reliquia	Pend. legal Concesión	La Reliquia
13 Remanso	Permiso de Clausula	Remanso
14 Villa Bolívar	5	Villa Bolívar
15 Esperanza IV	30	Esperanza IV

Fuente: EAAV S.A. E.S.P. 2009

La bocatoma de Quebrada la Honda fue construida en el año 1995 y actualmente tiene una concesión de aguas superficiales bajo la Resolución No. 2.6.05-155 del 14 de febrero de 2005 de 1600 L/s.

La infraestructura de abastecimiento y potabilización del sistema de acueducto de la Empresa, está dividida en dos zonas importantes y un sector aislado que se atiende por sistema de bombeo de pozo profundo (tabla 12). (*Ibid.*).

La primera zona, se abastece de la planta de potabilización La Esmeralda y sirve al 80% de los usuarios; con Quebrada Honda como fuente principal y Río Guatiquía y Caño Parrado como fuentes alternas. La segunda zona, se

abastece de la planta de potabilización Fuentes Altas y sirve el 15% aproximado de los usuarios restantes, con los caños Buque y Maizaro. (*Ibid.*).

El 5% restante, son tres sectores aislados, que se abastecen por medio de los pozos profundos ubicados en los barrios Samán de la Rivera, Darién y Bosques de Abajam.

Tabla 12. Infraestructura del Acueducto

INFRAESTRUCTURA	CANTIDAD
Bocatomas	7 Unidades
Estaciones de Bombeo	2 unidades
Estaciones de Re bombeo	1 Unidades
Líneas de Conducción	30.310 mts
Plantas de tratamiento	5 Unidades
Redes de Distribución	720 Unidades
Pozos Profundos	15 Unidades

Fuente: EAAV S.A. E.S.P 2009

6.3.2. DEMANDA DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO DE VILLAVICENCIO PARA EL AÑO 2013

En el primer trimestre del 2013, los usuarios del servicio público domiciliario de acueducto presentaron un incremento del 1.28%, finalizando el trimestre, con un total de 88.481% y en el servicio de alcantarillada un total de 86.865 que equivale a un incremento de 2.04% respecto a el 31 de diciembre del 2012. (Informe anual de Gestión 2013 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio EAAV ESP).

Figura 13. Evolucion de las clientes



Fuente: Informe anual de Gestión 2013 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio EAAV ESP.

El incremento de usuarios durante el primer trimestre del año, comparado con el año anterior hay una variación negativa del 19%, con un total de 1.240 nuevos usuarios en el año 2012, y un total de 1.010 nuevos usuarios en el año 2013

La composición de los suscriptores del servicio de acueducto, tabla 13 es del 84% que corresponde a 72.583 usuarios, que cuentan con sistema de micro medición; no obstante, el 19.392 presentan algún tipo de novedad al tomar la lectura

Por el tipo de uso, los usuarios residenciales corresponde al 92% y de estos el 85.5% se encuentran clasificados por planeación municipal en los estratos socioeconómicos 1.2 y 3

Tabla 13 .Suscriptores de acueducto para el año 2013

SUSCRIPTORES ACUEDUCTO 2013				
Tipo de uso		Micromedición	Sin Micromedición	Total
Residencial	Est 1	10.109	4.987	15.096
	Est 2	14.068	3.676	17.744
	Est 3	33.493	3.680	37.137
	Est 4	5.789	625	6.414
	Est 5	2.549	185	2.734
	Est 6	533	33	566
No Residencial	Subtotal	66.541	13.186	79.727
	Industrial	146	28	174
	Comercial	5.613	990	6.603
	Oficial	183	47	230
	Especial	54	16	70
	Provisional	46	15	61
	Subtotal	6.042	1.096	7.138
Total		72.583	14.282	86.865
Participación			84%	16%

- Cobertura del servicio

La Tabla 14 muestra los indicadores de cobertura del servicio para los años 2012 y 2013.

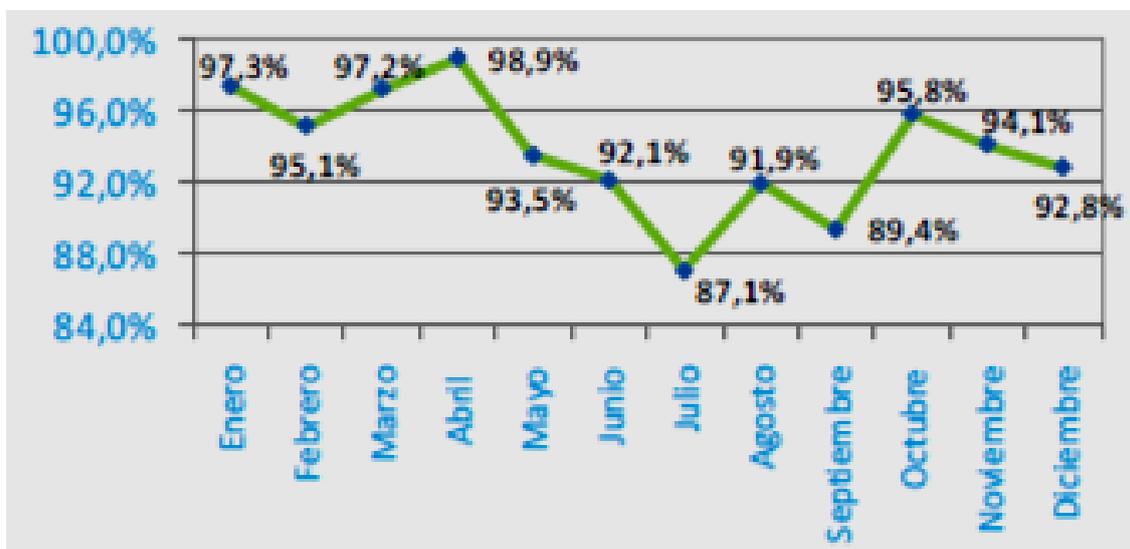
Tabla 14. Cobertura del servicio de acueducto

COBERTURA DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO		
	AÑO 2012	AÑO 2013
COBERTURA	79,00%	80,90%
SUSCRIPTORES	87,762	90,15

- **Continuidad en la prestación del servicio de acueducto.**

Para el año 2013 el Índice promedio de continuidad correspondió a 93,8% lo cual representa un incremento del 0,9% respecto al año 2012 donde se obtuvo un resultado medio de 92,9%. Esto se debe a las medidas tomadas en los sistemas de captación y aducción en épocas invernales, así como la rápida respuesta técnica y operativa a las eventualidades que se presentan en la bocatoma y demás componentes del sistema. (*Ibid.*).

Figura 14. Continuidad del servicio año 2013



Fuente: Informe anual de Gestión 2013 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio EAAV ESP.

7. RESULTADOS

7.1. SELECCIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

Para el análisis de datos del área de estudio se utilizaron estaciones hidrológicas y meteorológicas del IDEAM para satisfacer el análisis climático con variables de precipitación y temperatura y el análisis hidrológico con caudales medios, máximos y mínimos que requiere la metodología que se está validando.

Se identificaron en la cuenca del río Guatiquía doce estaciones de las cuales una es operados por la EAAB y once por el IDEAM, 4 de ellas son pluviografos PG, una sinóptica principal SP, dos climatológicas ordinarias CO, una climatológica principal CP, una meteorológica ME, una agrometeorológica AM, un limnigrafo en Puente Abadia LG y un limnometro LM (Tabla 15)

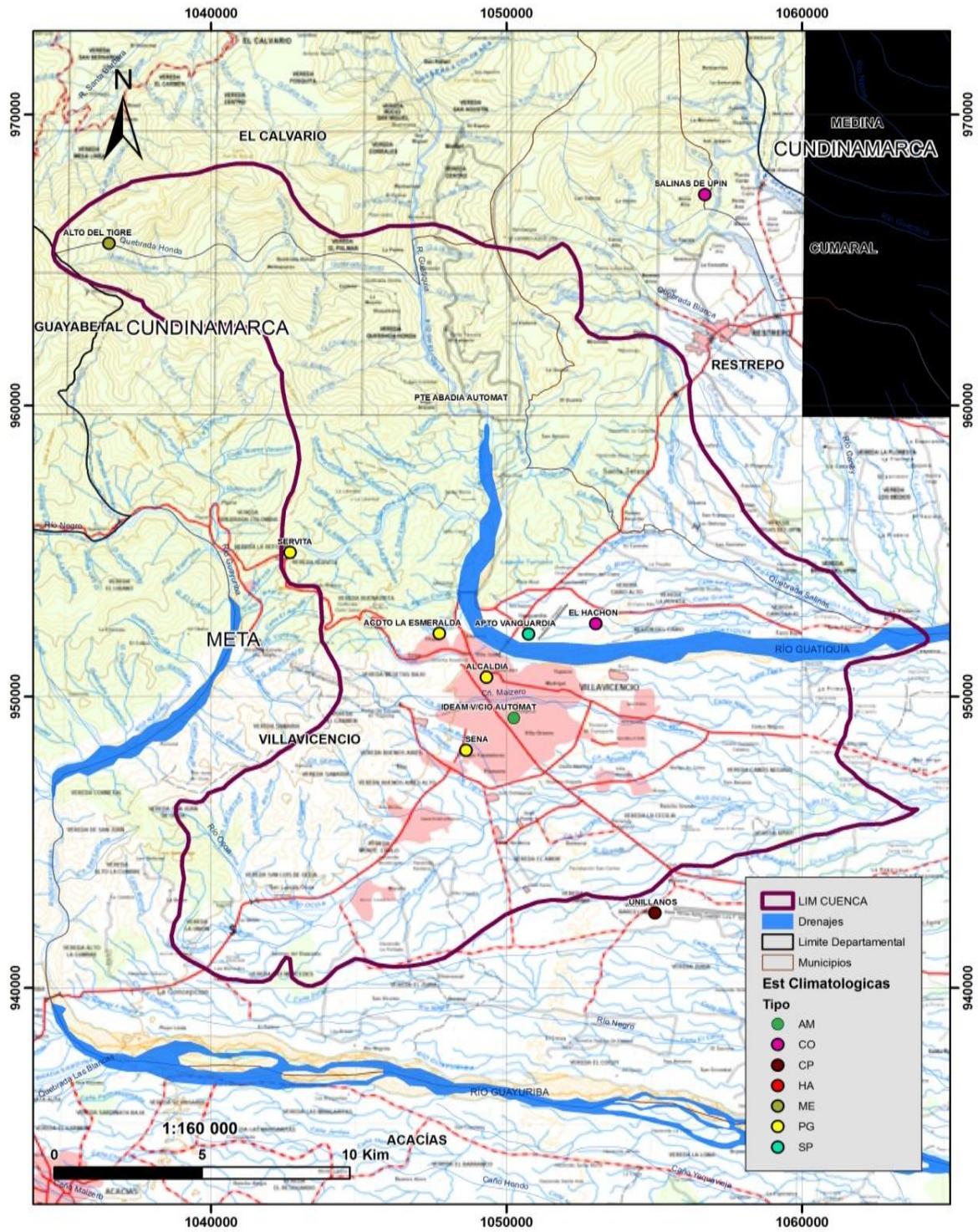
Tabla 15. Estaciones Hidrometeorológicas

CODIGO	ESTACION	CORRIENTE	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEV m.s.n.m	ENTIDAD OPERA	fecha de instacion	Periodo disponible	NOMBRE DEL MUNICIPIO	NOMBRE AREA HIDROGR.	NOMBRE ZONA HIDROGR.
35030030	SENA	GUATIQUEIA	PG	0407 N	7338 W	425	IDEAM	1984	2014	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35030040	ACD TO LA ESMERALDA	GUATIQUEIA	PG	409 N	7338 W	550	IDEAM	1986	2014	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35030100	ALCALDIA	GUATIQUEIA	PG	0409 N	7338 W	470	IDEAM	1993	2014	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35030290	SERVITA	GUATIQUEIA	PG	0411 N	7341 W	1091	IDEAM	1995	2014	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35035020	AP TO VANGUARDIA	GUATIQUEIA	SP	0409 N	7337 W	423	IDEAM	1924	2014	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35035030	SALINAS DE UPIN	GUATIQUEIA	CO	0418 N	7334 W	450	IDEAM	1960	15/01/1993	RESTREPO	ORINOCO	RIO META
35035060	EL HACHON	GUATIQUEIA	CO	0410 N	7336 W	420	IDEAM	1967	15/01/1971	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35035070	UNILLANOS	GUATIQUEIA	CP	0404 N	7334 W	340	IDEAM	1983	2014	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35035090	ALTO DEL TIGRE	GUATIQUEIA	ME	0417 N	7344 W	3530	IDEAM	1995	2010	EL CALVARIO	ORINOCO	RIO META
35035100	IDEAM V/CIO AUTOMA	GUATIQUEIA	AM	0408 N	7337 W	444	IDEAM	2007	2014	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35037100	PTE ABADIA AUTOMAT	GUATIQUEIA	LG	0720N	0730W	523	IDEAM	15/04/1968	2014	VILLAVICENCIO	ORINOCO	RIO META
35037180	SAN LUIS	GUATIQUEIA	LM	00,00N	00,00W	2950	EAAB	15/01/1991	2014	EL CALVARIO	ORINOCO	RIO META

Fuente: Catalogo de estaciones IDEAM

En la figura 15 se ilustra la localización de las estaciones identificadas dentro del área de estudio.

Figura 15. Localización estación hidrometeorológicas

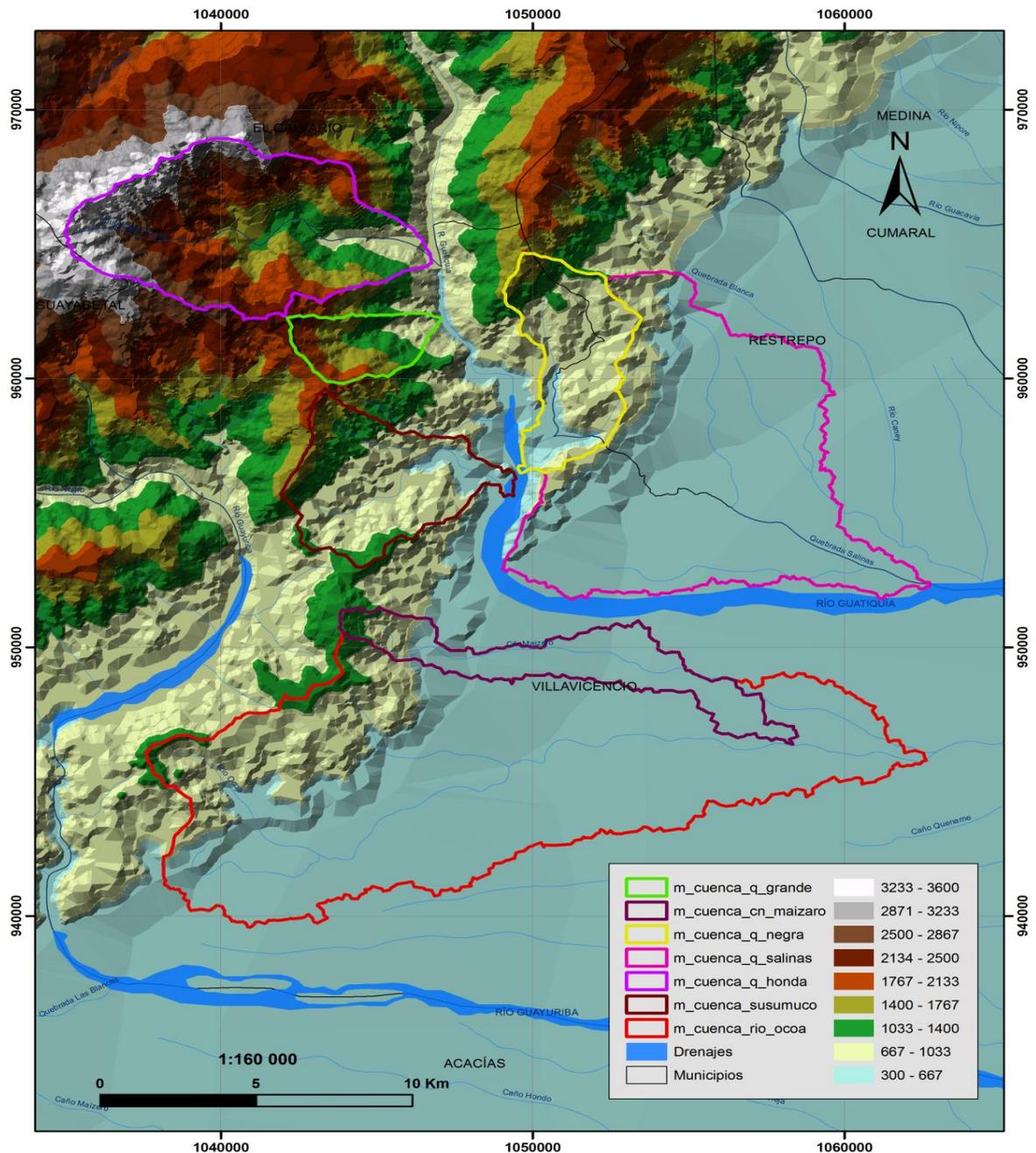


Fuente. Coordenadas del Catalogo de estaciones de la Red Hidrometeorológica del IDEAM (2014).

7.2. CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS DE LA CUENCA

La morfología de una cuenca reúne parámetros que son fundamentales en su caracterización hidrológica. En primer lugar en la figura 16 se delimitan las subcuencas del río Guatiquia.

Figura 16. Subcuencas del río Guatiquia



Fuente. Coordenadas del Catalogo de estaciones de la Red Hidrometeorológica del IDEAM (2014).

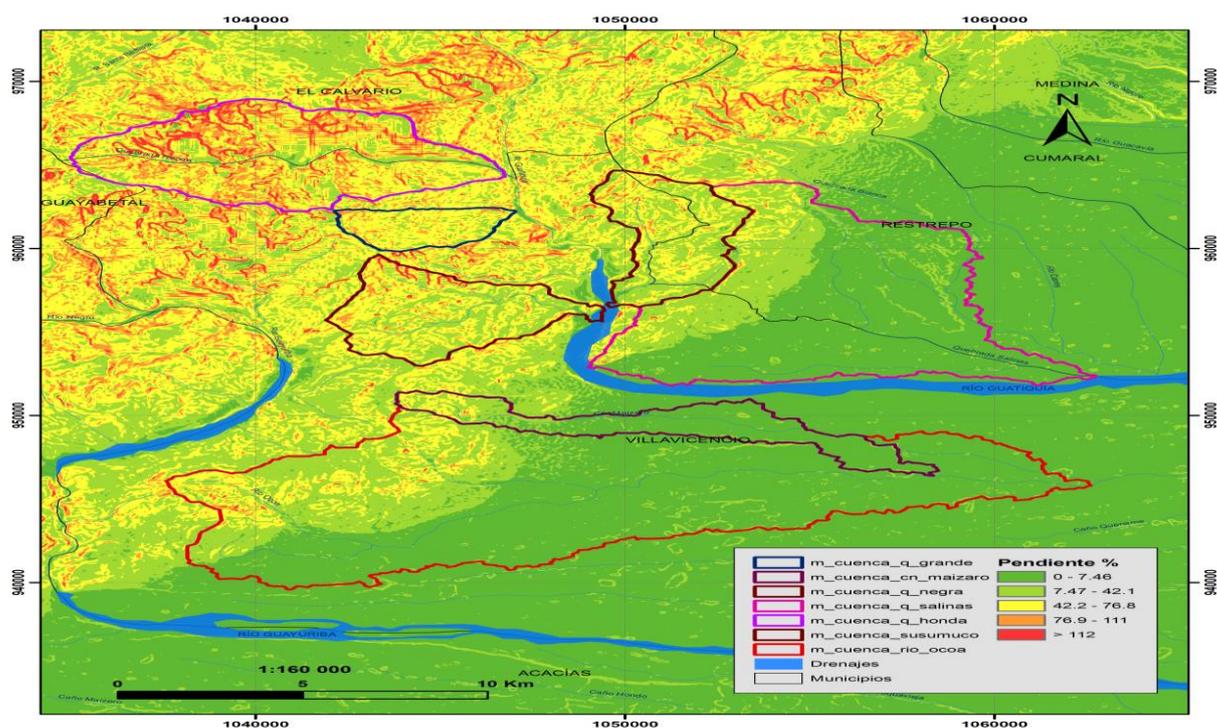
Sobre estas subcuencas se definieron las variables morfométricas de la cuenca del rio Guatiquia (Tabla 16).

Tabla 16. Características Morfométrica de las subcuena del rio Guatiquia

	TOTAL LONGITUD DE DRENAJES EN (KM)	AREA CUENCA (KM ²)	PERIMETRO CUENCA (KM)	ALTURA MINIMA (msnmm)	ALTURA MAXIMA (msnmm)	LONGITUD CURSO PRINCIPAL (KM)	PENDIENTE MEDIA CURSO PRINCIPAL %	DENSIDAD DE DRENAJES
Q. GRNDE	6,668	9,135	13,058	603	2380	4,456	30,81	0,730
Q. HONDA	19,594	49,13	31,327	664	3686	13,342	20,91	0,399
CN. MAIZARO	5,945	20,384	39,744	356	1333	18,958	4,05	0,292
RIO OCOA	385,049	161,482	75,623	336	1333	34,396	2,90	2,384
Q. SALINAS	209,019	86,725	52,42	337	1100	20,999	1,09	2,410
Q. SUSUMUCO	10,695	25,718	24,61	475	2043	8,293	5,70	0,416
Q. NEGRA	10,718	21,629	23,735	482	1802	6,910	10,32	0,496
TOTAL LONGITUD DRENAJES SUBCUENCAS	647,688					107,354		
RIO GUATQUIA	755,041	428,902	112,464	328	3686	31,035	1,23	1,760

En la figura 17 se ilustra el mapa de pendientes de la zona de estudio obtenido con herramientas de SIG.

Figura 17. Mapa de pendientes de las subcuena del rio Guatiquia



En la figura 18 se presenta el perfil topográfico del rio Guatiquia

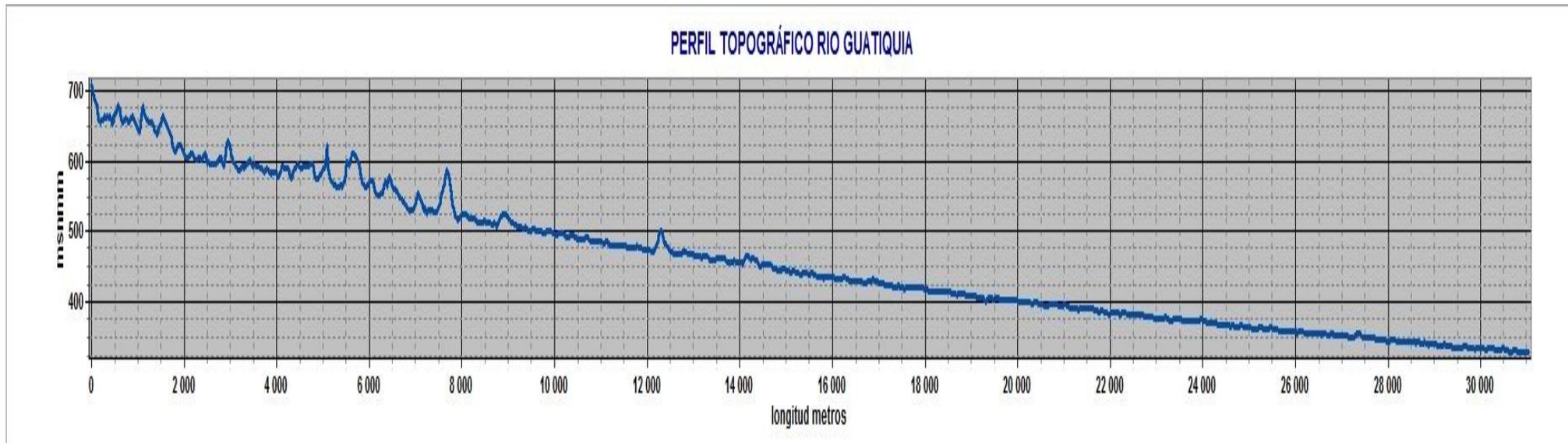


Figura 18. Perfil topográfico del rio Guatiquia dentro del área de estudio

7.3 ANALISIS CLIMATICO DE LA CUENCA

La metodología a validar requiere el análisis de las variables de temperatura media y precipitación.

- TEMPERATURA

La cuenca del río Guatiquía tiene elevaciones sobre el nivel del mar que oscilan entre los 400 msnm y los 4000 msnm. Esta variación da lugar también a un rango de variación de la temperatura observable en las estaciones climatológicas, aunque localmente en los diferentes sectores de la cuenca se mantiene relativamente estable durante el año.

La temperatura media mensual oscila entre 8.4°C y 26.4°C, registradas en las estaciones, respectivamente, con un valor medio a nivel regional cercano a los 21.6°C, relativamente estable durante todo el año.

Tabla 17. Temperatura media mensual multianual

ESTACIONES	ENE	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC
T° Máx Apto Vanguardia	29,6	29,9	29,5	27,5	26,7	25,9	26	26,4	28,5	27,4	27,8	28
T° Med Apto Vanguardia	26,8	27,3	26,9	25,7	25,2	24,5	24,3	24,9	25,6	25,6	25,6	25,9
T° Min Apto Vanguardia	24,6	23,7	25	24,2	23,7	22,6	22,4	23,2	24,2	24,1	24,3	24
T° Máx Upin	25,3	27,2	25,5	24,6	24,5	24,5	23,8	24	23,9	25,4	24,4	24,4
T° Med Upin	24,3	24,9	24,6	23,5	23,1	22,3	21,9	22,5	22,9	23,2	23,3	23,5
T° Min Upin	22,8	23,2	23,2	22,3	22,1	21,5	20,9	21,6	22	22,4	22,7	22,8
T° Máx Unillanos	28,1	27,9	27,2	26,6	25,8	25,3	25	25,6	25,9	26,3	27,9	26,8
T° Med Unillanos	26,4	26,6	26,2	25,4	24,9	24,2	24,1	24,6	25,1	25,4	25,5	25,8
T° Min Unillanos	24,9	25	25	24,6	24,2	22,9	23,1	23,7	23,9	24,2	24,5	24,7

Fuente: Catalogo de estaciones IDEAM

En la tabla 17 se observan los registros de temperaturas máximas media y mínimas de tres estaciones observándose que en el año las variaciones de temperatura media por estación son relativamente estables con variaciones entre valores máximos y mínimos de 6° o menos. Esta condición se ilustra en las figuras 19, 20 y 21

Figura 19. Temperaturas medias mínimas y máximas de la estación Vanguardia

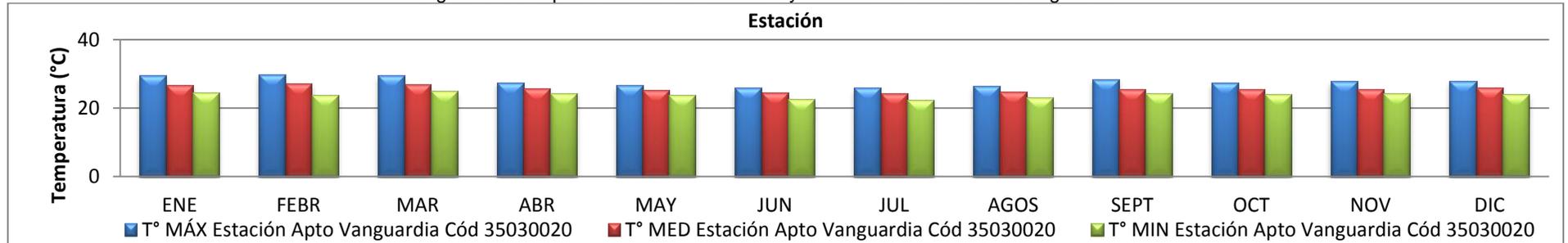


Figura 20. Temperaturas medias mínimas y máximas de la estación Upin

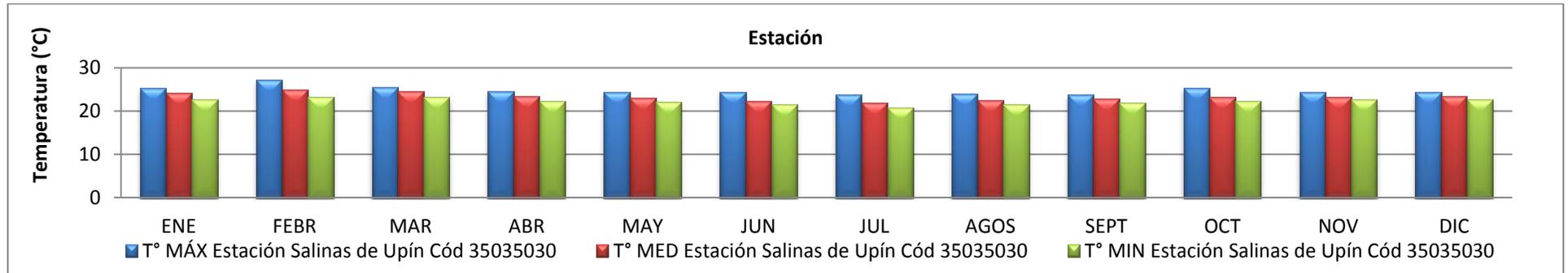
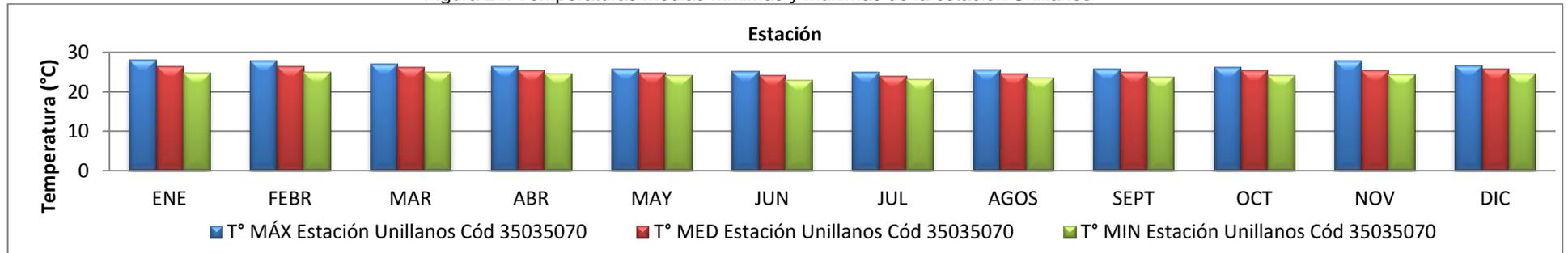


Figura 21. Temperaturas medias mínimas y máximas de la estación Unillanos



Fuente: Datos de la red Hidrometeorológica del IDEAM

- ANÁLISIS DE PRECIPITACION

En la Tabla 18 se presentan los registros de valores medios mensuales de precipitación de las estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas de la cuenca del río Guatiquia área de estudio

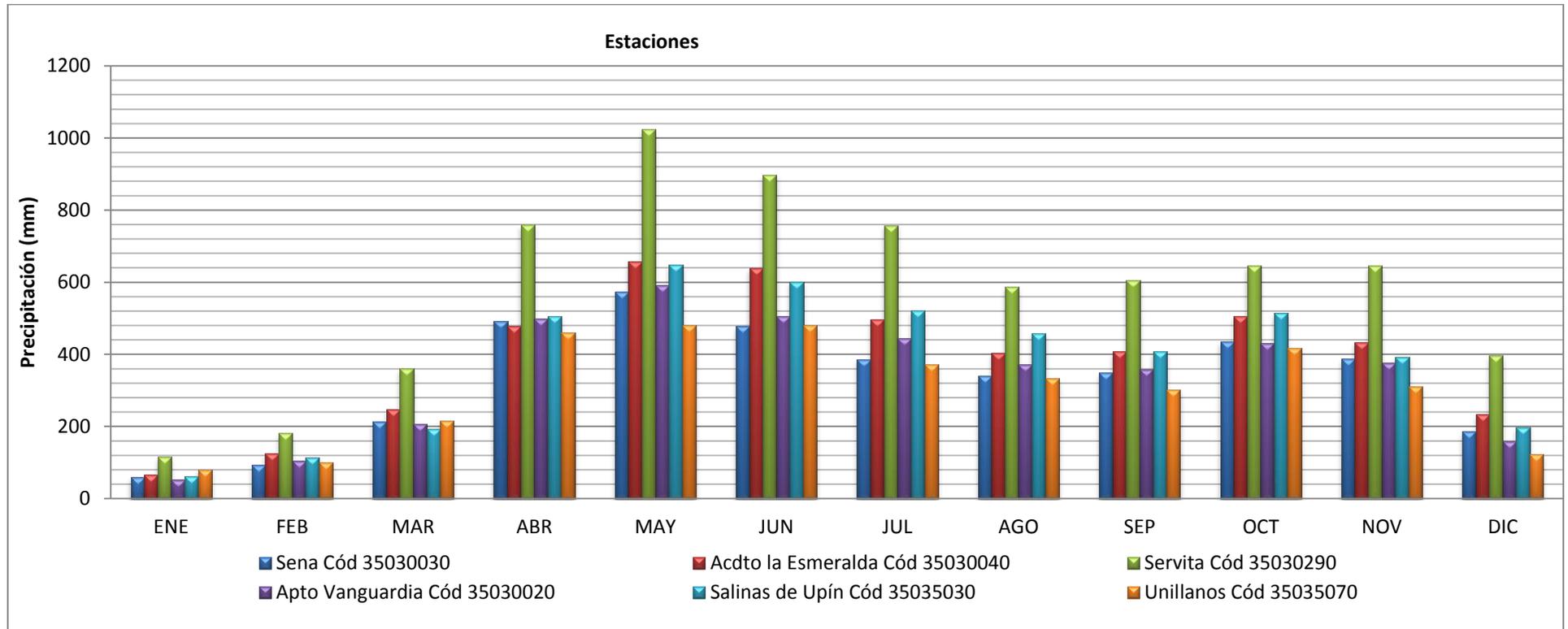
Tabla 18. Precipitación total media mensual (mm.) de estaciones en la cuenca del río Guatiquia

ESTACIONES	ENE	FEBR	MARZ	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGT	SEPT	OCT	NOV	DIC
Sena	59,3	93,5	212,9	492,3	573	479	386	340	348	436	388	185,3
Acdto La Esmeralda	66	125	246,9	477,6	656	639	497	404	408	506	434	233,2
Servita	115,2	181	360,5	759,1	1023	896	757	587	604	646	646	395,7
Apto Vanguardia	52	104	205,9	498,2	591	505	443	372	358	430	377	158
Salinas De Upin	61,4	114	192,2	504,7	648	601	522	459	407	514	394	196,3
Unillanos	80,7	99,5	216,2	459,1	480	479	372	333	302	418	310	121,7

Fuente: Catalogo de estaciones IDEAM

Estos registros graficados en las Figuras 22, muestran un régimen monomodal con épocas secas en diciembre, enero y febrero y con mayor precipitación de abril a noviembre.

Figura 22. Valores medios mensuales de precipitación (mm.)



Fuente: Datos de la red Hidrometeorológica del IDEAM

En la Tabla 19 se muestran los valores anuales multianuales de precipitación de los últimos 30 años en las 4 estaciones seleccionadas representadas en las Figuras 23 y en la figura 24 se ilustra la variación multianual de cada estación seleccionada en relación con el promedio multianual donde se puede observar que las estaciones Acdto La Esmeralda no registran datos en los años de 1994 hasta 1996 mientras que la estación Unillanos no registran datos en los años de 1990 hasta 1991.

Tabla 19. Precipitación anual multianual – mm

AÑO	SENA	ACDTO LA ESMERALDA	APTO VANGUARDIA	UNILLANOS
1985	1827,3	0	3918,2	3134,1
1986	2693,7	3460,8	4660,2	708,4
1987	3047,2	2438,5	3948,2	4019,5
1988	1053,3	1623,5	3788,7	1903,9
1989	1175,1	1610,2	3863,9	1084,6
1990	3137,4	225,2	4465,2	0
1991	737,4	486,2	4213	0
1992	153,3	1389,5	4173,2	247,2
1993	3920,5	419,6	4918,7	1399,2
1994	3762,3	0	4935,5	3156,6
1995	1799,4	0	4484,5	3428
1996	1172,3	0	5191,7	3333
1997	4016	2844,7	4350,1	3208,3
1998	3965,4	4604	5016,6	3997,5
1999	4306,5	4520,9	4854,1	3722,1
2000	3406,2	3879,8	3681,3	3300,9
2001	4417,9	5027,7	4512,9	3269
2002	4686	5209,3	4990	4060,3
2003	4030,5	4766,1	4403,3	3615,1
2004	3916	5324,4	4837,8	3933,3
2005	3808,2	5092,2	5171,7	3463,1
2006	4177,2	4892,8	4704,3	3516,8
2007	3334,5	3706	4242,6	2638,5
2008	3351,3	4619,9	4423,7	3484,1
2009	4100,9	3593,9	4328,2	3350,4
2010	4545,4	5297,3	5029,1	3955,9
2011	4670,4	5300	4634,6	3582,9
2012	4843,8	5214,2	4634,3	4011,3
2013	4304,8	4772,1	4221	1511,6
PROMEDIO	3170,8	3044,97	4389,57	2709,01

Fuente: Catalogo de estaciones IDEAM

Figura 23. Precipitación media anual cuenca del río Guatiquia

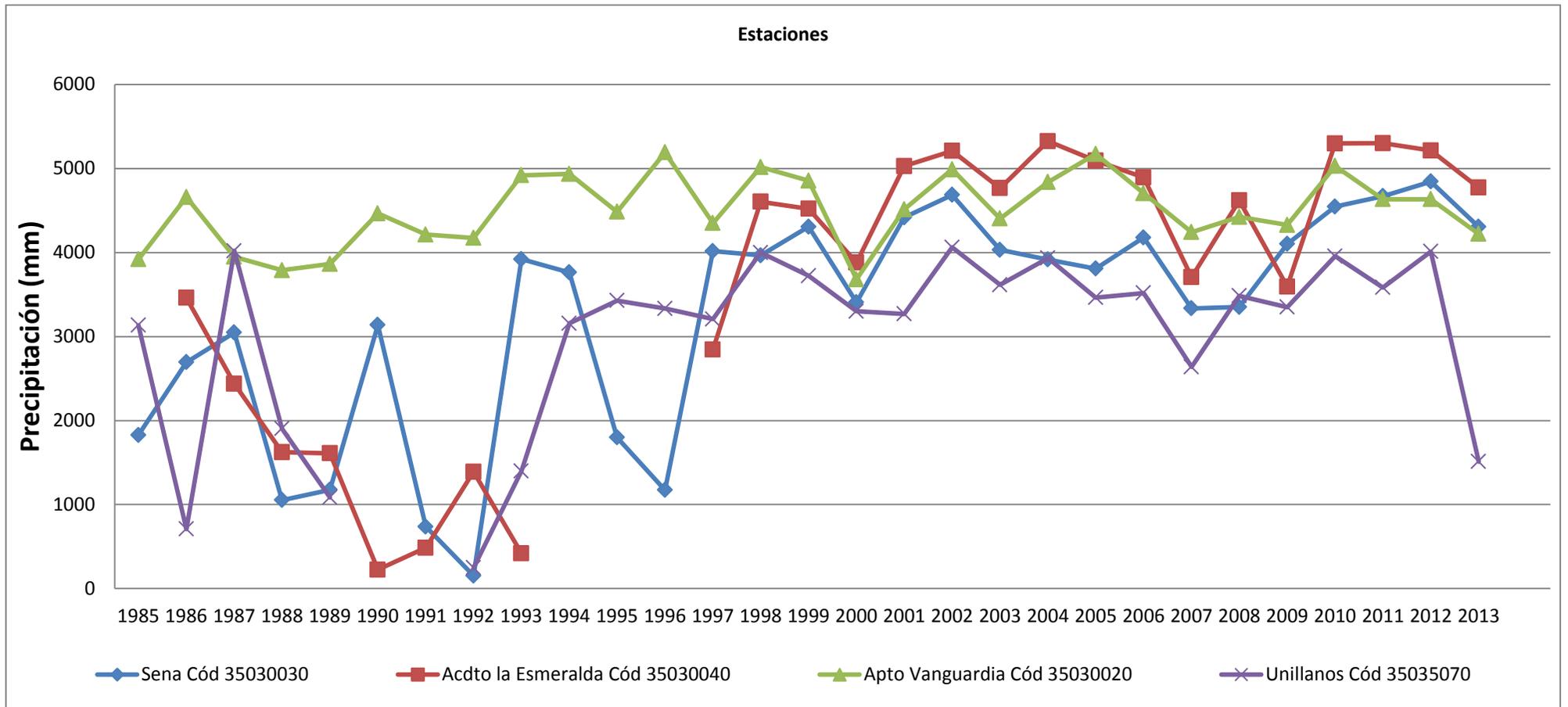
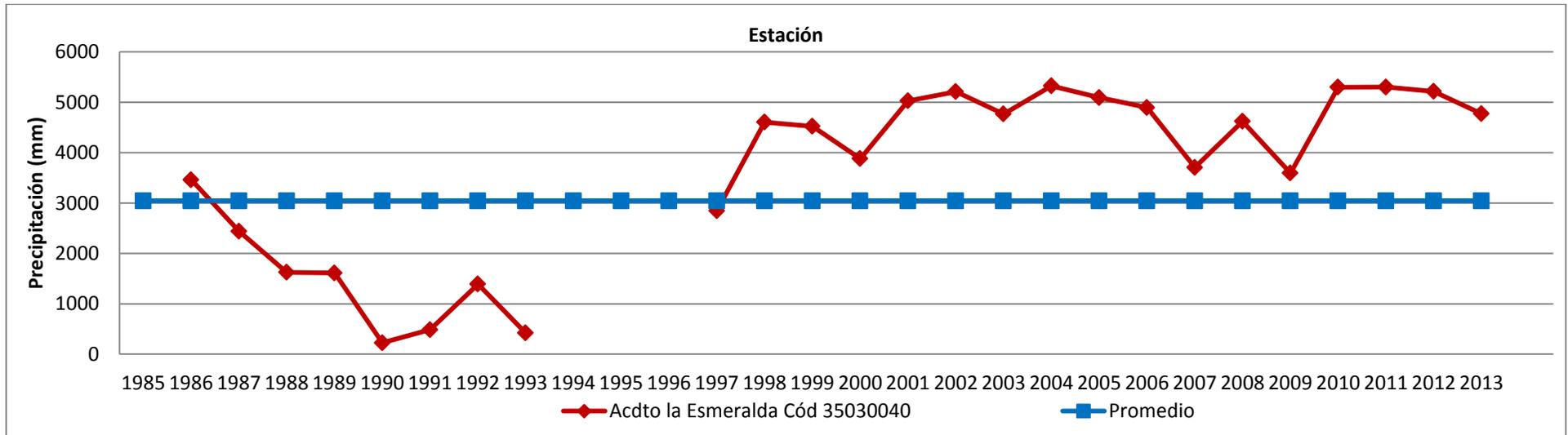
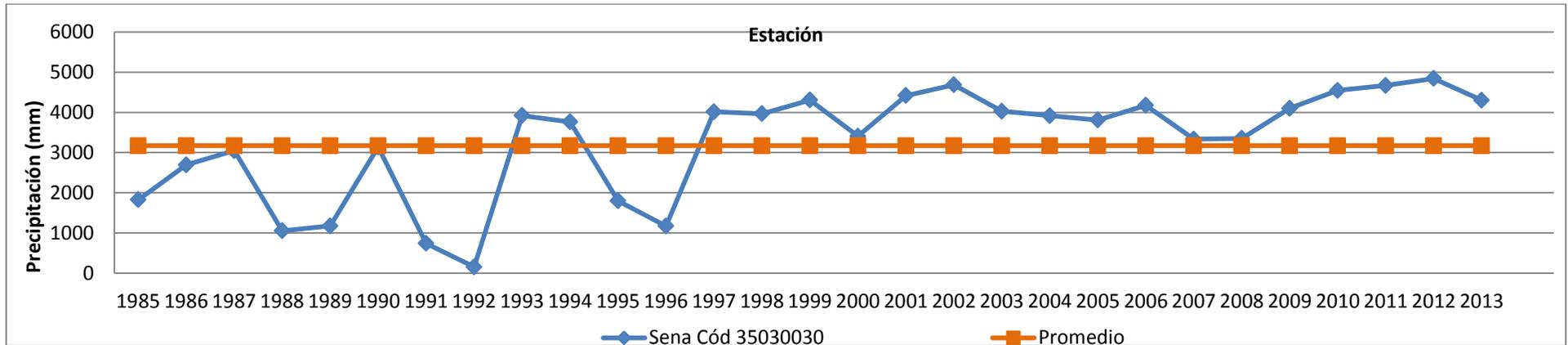
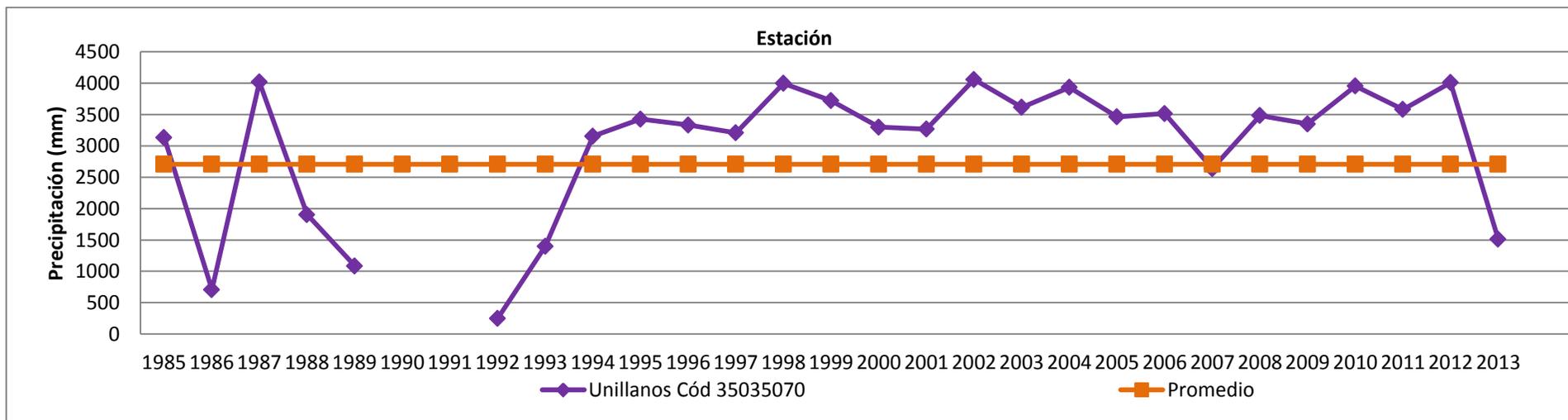
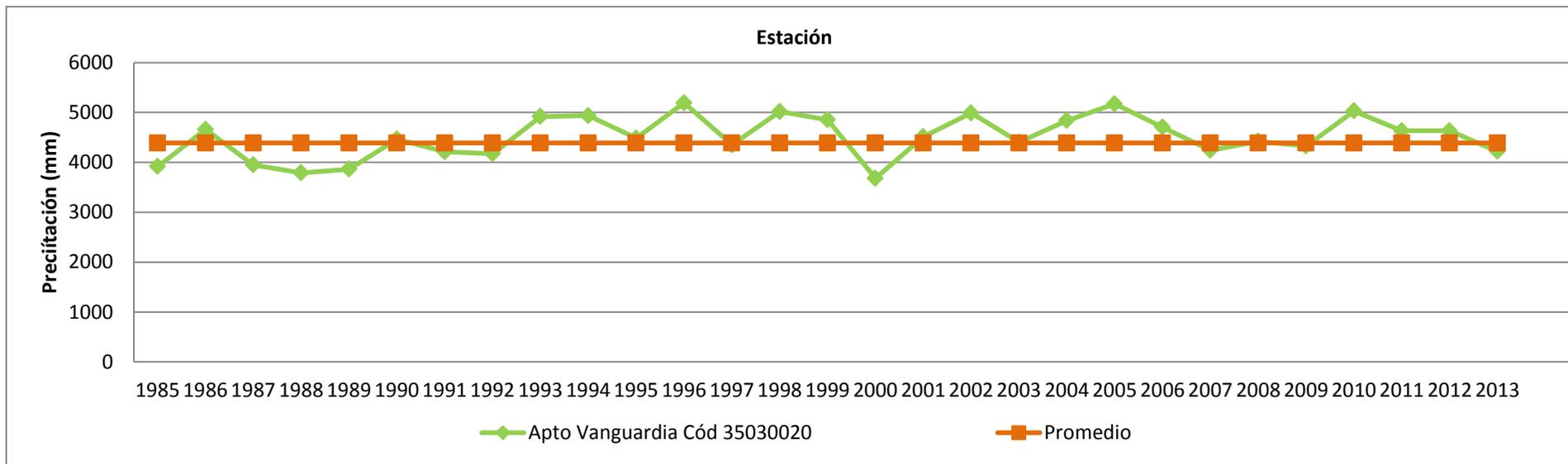


Figura 24. Variación multianual de cada estación seleccionada en relación con el promedio multianual

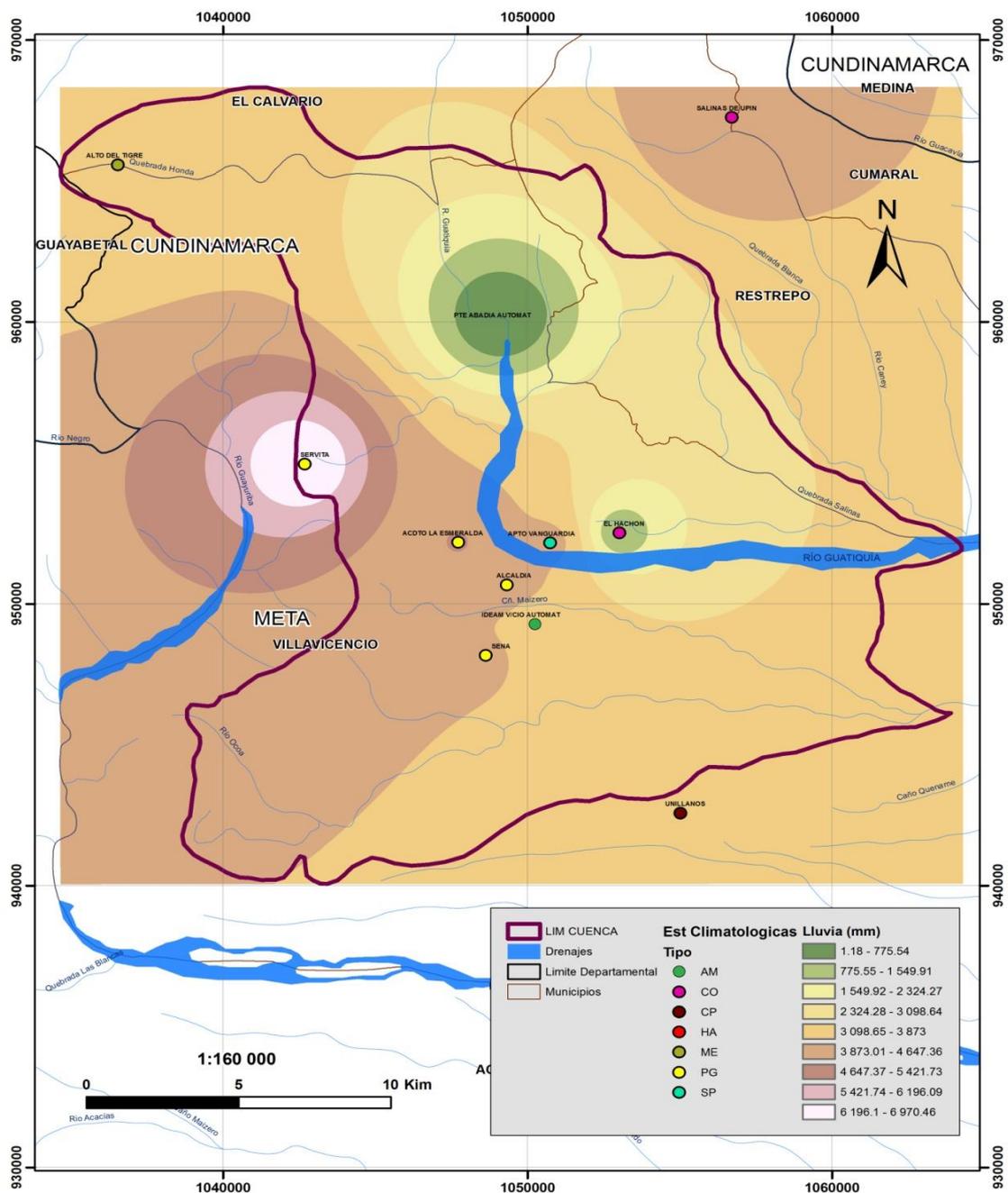




- DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

En la figura 25 se ilustra la distribución espacial de la precipitación obtenida a partir de datos multianuales de las estaciones meteorológicas del IDEAM.

Figura 25 distribución espacial de la precipitación



Tal como se observa la precipitación es mayor hacia el piedemonte llanero con valores medios multianuales mayores de 3500 mm. Y menores hacia el oriente donde se mueven con valores entre 2000 y 2500 mm.

7.4 ANÁLISIS DE CAUDALES

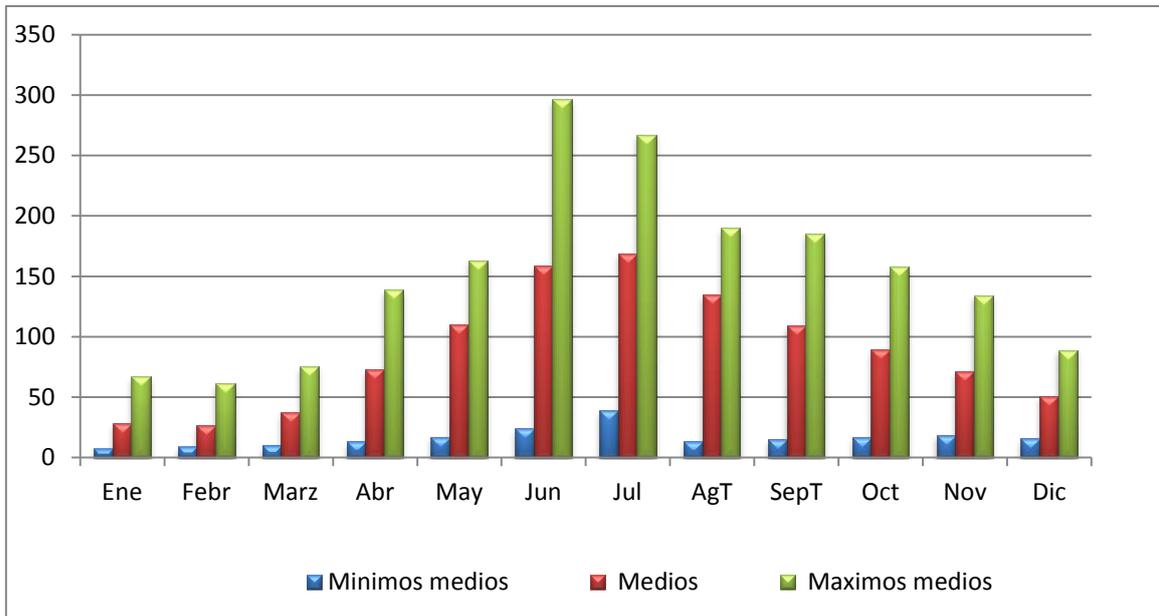
En la Tabla 20 se observan los valores máximos medios, medios medios y medios mínimos de la estación de Puente Abadia que se localiza sobre el río Guatiquia. De igual manera estos valores se grafican en la Figura---

Tabla 20. Valores medios mensuales (m³/s)

	VALORES MEDIOS	VALORES MAXIMOS	MINIMOS MEDIOS
ENE	28,06	307,1	7,5
FEBR	26,6	187,6	9,19
MARZ	37,37	449	10,3
ABR	73,09	1079	13,3
MAY	110,35	1202	17,3
JUN	158,71	1037	24,26
JUL	169,14	916	38,9
AGT	134,98	714,2	13,4
SEPT	109,3	754	15,25
OCT	89,61	720,8	16,62
NOV	71,68	478	18,6
DIC	50,96	388,6	15,9
PROMEDIO	88,32	686,1	16,71

Fuente: Catalogo de estaciones IDEAM

Figura 26. Valores máximos, medios y mínimos mensuales de caudales de la estación de Puente Abadia



Fuente: Datos de la red Hidrometeorológica del IDEAM

Figura 26 Valores máximos, medios y mínimos mensuales de caudales de la estación de Puente Abadia.

De la grafica se infiere un régimen monomodal como era de esperarse por el régimen de lluvias de la región que presenta este tipo de comportamientos.

Los valores con caudales máximos se presentan en el periodo de abril a noviembre con caudales hasta de 300 m³/s aunque el valores medios están entre los 100 y los 150 m³/s. En épocas secas los valores medios minimos están por debajo de los 40 m³/s. y de esperarse para los meses de diciembre, enero y febrero épocas secas que afecten el abastecimiento de agua para diferentes usos.

7.5 DEMANDA DE AGUA POR SECTORES

La demanda de agua es necesaria para poder suplir los indicadores propuestos en la metodología. Su estimación se realizó a partir de los consumos más relevantes que se identificaron en la cuenca del Río de Guatiquía. En general, estos consumos corresponden a la demanda para uso doméstico (DUD), la demanda para uso industrial (DUI), demanda para uso en el sector de servicios (DUS), demanda para uso en el consumo agrícola (DUA) y para el uso en el sector pecuario (DUP). En este documento la demanda corresponde a la extracción o uso del recurso.

- **Demanda para uso doméstico – DUD**

El uso del agua con fines domésticos se estima para el sector urbano y el sector rural. Para los fines de asignación de uso de agua se adoptó una dotación unitaria de 140 L/hab/día y pérdidas hídricas del 50%, según las recomendaciones dadas en la Norma RAS-2000 y las observaciones e información recopilada en la cuenca (POMCH río Guatiquia 2009).

La información reportada se encuentra actualizada año 2009 pero debe tenerse en cuenta que en algunos casos los usos y costumbres locales afectan los valores obtenidos debido a otros usos del agua, entre otros se puede mencionar el sector agropecuario a escala doméstica. Los resultados obtenidos de acuerdo con la población estimada, son los siguientes.

Tabla 21. población y demanda para uso doméstico en municipios ubicados a la largo del río guatiquia–dud

Municipio	Población - hab		
	Urbana	Rural	Total
El Calvario	784	1484	2268
San Juanito	711	1288	1999
Villavicencio	397559	23482	421041
Cumaral	11386	5794	17180
Restrepo	7066	3312	10378
TOTAL	417506	35360	452866

Municipio	Demanda Uso Doméstico - L/s		
	Urbana	Rural	Total
El Calvario	1.91	3.61	5.51
San Juanito	1.73	3.13	4.86
Villavicencio	966.29	57.07	1023.36
Cumaral	27.67	14.08	41.76
Restrepo	17.17	8.05	25.22
TOTAL	1014.77	85.94	1100.72

Fuente: POMCH río Guatiquia 2009

Según la información anterior el consumo doméstico rural es el 7.8% del consumo total en la cuenca del río Guatiquía. Cabe anotar que los valores indicados anteriormente corresponden a la expectativa del consumo de acuerdo con parámetros de población y pérdidas en sistema de acueducto promedio en Colombia, pero el uso que hace la población del recurso hídrico presenta diferencias con respecto a estos valores. Su evaluación se aplica en aquellos sectores en los cuales se carece de información y para estimar la comparación entre la oferta de la cuenca y la demanda que se puede ejercer sobre el recurso hídrico. En particular para la zona urbana de la ciudad de Villavicencio de acuerdo con los valores concesionados, según se indica más adelante, se encontró un valor total de 2936 L/s (Ibid).

En particular para la zona urbana de la ciudad de Villavicencio de acuerdo con los valores concesionados, según se indica más adelante, se encontró un valor total de 2936 L/s.

Así mismo, de tales valores se determinó que en promedio el aporte de las diferentes fuentes de suministro para la ciudad de Villavicencio, es el siguiente:

Tabla 22. Porcentaje fuentes de suministro para la ciudad de Villavicencio,

FUENTE	PORCENTAJE (%)
Caño Maizaro	2
Caño Buque	3
Caño Vitalia	2
Quebrada la Honda	53
Caño Parrado	4
Caño la Linda	5
Aguas Subterráneas	2
Río Guatiquia	30
Total	100

Fuente: POMCH río Guatiquia 2009

El caudal concesionado supera al caudal estimado, entre otros, debido a un alto porcentaje de pérdidas en el sistema de acueducto.

La cabecera municipal (sector urbano) de Cumaral se abastece del Caño Caney con un valor concesionado de 50 L/s y del río Guacavía cuyo valor concesionado es de 94 L/s, para un total de 144 L/s (Ibid). Teniendo en cuenta que en general se utilizan las dos fuentes, se consideró una proporción estimada del 50% de cada una de ellas, es decir, el aporte considerado del Caño Caney considerado es de 25 L/s aproximadamente.

El sector urbano del municipio de Restrepo se abastece de Caño Caney aprovechando una concesión otorgada de 67.47 L/s.

El municipio de El Calvario se abastece su sector urbano de la Quebrada La Arenosa mediante un caudal concesionado de 2.5 L/s.

Para el sector urbano del municipio de San Juanito se cuenta con una concesión de 2.0 L/s de la Quebrada Blancas.

Estas incongruencias estadísticas reflejan la informalidad de los registros y el subregistro del uso frente al real concesionado.

Es importante documentar que con respecto al proyecto Chingaza I, trasvase de la cuenca del Orinoco a la zona Andina, se cuenta con la concesión para el río Chuza y sus afluentes directos de 6.21 m³/s, una concesión sobre el río Guatiquia de 5.57 m³/s, para la quebrada Leticia el valor concesionado es de 0.3 m³/s y en el caso del río Blanco la concesión es de 2.82 m³/s, para un valor total de 14.91 m³/s (Ibid). Con estas concesiones se abastece parcialmente la demanda de agua potable para la ciudad de Bogotá, cuya demanda total está cercana a los 24 m³/s para satisfacer las necesidades para consumo doméstico de cerca de siete millones de personas (Ibid). Las consecuencias de este trasvase para la cuenca del río Guatiquia no han sido estudiadas en términos de las afectaciones a la dinámica de la oferta y a la vulnerabilidad de las fuentes.

- **Demanda para uso agrícola- DUA**

La demanda para uso agrícola está concentrada principalmente en pastos y una baja demanda relativa en frutales. Paralelamente se desarrollan cultivos que adquieren importancia industrial como la palma, el arroz y en algunos sectores los pastos manejados.

La estimación de la demanda se extrae del Diagnóstico del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Guatiquia realizado en el 2008 para Cormacarena (Ibid). En este documento se detalla la metodología basada en reconocimiento de predios, coberturas vegetales a partir de la orto fotointerpretación y uso de módulos de riego.

Finalmente, se estima esta demanda en 54,3 m³/s.

- **Demanda para uso industrial – DUI**

En la cuenca del río Guatiquía el uso industrial del agua se asocia a la explotación petrolera, el aprovechamiento de oleaginosas, el sector avícola y el consumo en los centros de beneficio de ganado, especialmente. Las industrias que se localizan en las inmediaciones de Villavicencio, registran un caudal concesionado de 22.83L/s. (Ibid)

A nivel de subcuenca en el sector rural no se identificaron industrias establecidas. Sin embargo, teniendo en cuenta que pueden existir consumos asociados con el beneficio de ganado, entre otros, para este proyecto se adoptó un valor equivalente al 5% del consumo doméstico en el sector rural para las subcuencas que no se encuentran en zonas de protección. De acuerdo con este concepto el caudal total estimado es de 5.01 L/s, para las subcuencas de orden 3 en la cuenca del río Guatiquía.

- **Demanda para el sector de servicios - DUS**

El sector de servicios corresponde a satisfacción de las necesidades de uso público en el entorno de atención de las oficinas públicas, atención de emergencias, sostenimiento de zonas de interés ambiental, aseo en vías y espacios públicos y demás relacionados (Ibid).

La estimación de esta demanda corresponde a 2,65 l/s para el sector rural y 11 l/s para el sector urbano (Ibid).

- **Demanda para uso pecuario – DUP**

Para estimar la demanda pecuaria se utilizaron como valores representativos la demanda de área y consumo por cabeza o por animal de granja de las especies domésticas representativas de la zona. Normalmente en sectores de pastos mejorados una res requiere de un espacio que puede oscilar entre 1.5

ha y 2.0 ha, y en pastos nativos alrededor de 1.5 ha, con una demanda promedio de 17.5 L/cabeza/día (Ibid). En el sector piscícola generalmente se admite 1.5 a 2 recargas del 100% del volumen de agua que ocupa el estanque al año según la siembra de alevinos y cosecha de peces desarrollados. Para atender la demanda para oxigenación del estanque, que equivale en promedio a un suministro de 2 a 3 L/ha/día, la cual puede aplicarse entre las 4 p.m. y 7 a.m. en los períodos de invierno y de 4 p.m. a 9 a.m. en los períodos de estiaje. Para este proyecto se adoptó un suministro de 2L/ha/día durante un período promedio de 8 horas/día (Ibis). La demanda de agua para el sector pecuario, con estas premisas se ha estimado en 0,006 m³/s (Ibid).

- **Demanda por otros conceptos**

El desarrollo de la ciudad de Villavicencio, además del sector comercial e industrial, ha traído consigo el incremento en el turismo. Esta situación ha llevado a un desarrollo del sector hotelero que en 2009 que cuenta con una oferta aproximada cercana a las 4000 camas, con una demanda aproximada de 16.2 L/s considerando una demanda unitaria de 350 L/cama/día. También existen centros vacacionales y actividades recreativas que exigen algunos consumos de agua potable. Para satisfacer esta demanda se ha concesionado (2009) a partir del Caño Maizaro y el Caño Aguas Claras en el municipio de Villavicencio, un caudal de 13.7 L/s, valor que se aproxima a la demanda estimada.

- **Demanda total – DT**

La demanda total es la suma de las demandas parciales de manera que:

$$DT = DUD + DUA + DUI + DUP + DUS$$

Desde luego se observa con claridad que el sector agrícola es el más demandante con una extracción que corresponde a $54.3 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que las demandas de otros sectores apenas alcanzan el valor de $0.140 \text{ m}^3/\text{s}$ para un valor total de $54.5 \text{ m}^3/\text{s}$, aproximadamente.

7.6 ESTIMACION DE INDICADORES DE VULNERABILIDAD

La estimación de indicadores para determinar la vulnerabilidad en fuentes hídricas de abastecimientos se determinó a partir de la variable que ya han desarrollado y de acuerdo con la siguiente lógica de construcción (Tabla 23)

Tabla 23. Variables utilizadas para estimar los indicadores de vulnerabilidad

INDICADOR	DEFINICION	CALCULO
Índice de retención y regulación hídrica (IRH)	Evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción suelo-vegetación con las condiciones climáticas.	$IRH = VP / Vt$ <p>Dónde: VP = volumen bajo la línea del caudal medio y Vt = volumen bajo la curva de duración de caudal</p>
Índice de uso del agua (IUA)	Mide la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo determinado y unidad especial de análisis en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo	$IUA = Dh / Oh \times 100$ <p>Dónde= Σ(volumen de agua extraído para usos sectoriales en un periodo determinado)</p>
Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH)	Define el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante periodos largos de estiaje, podría generar riesgo por desabastecimiento.	<p>Este índice es determinado a partir de una matriz que relaciona los rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso del agua (IUA).</p> <p>El IVH puede ser: Muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto</p>
Índice morfométrico de torrencialidad	Constituye la relación entre las variables morfométricas como el coeficiente de Compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la	

<p>(IFM)</p>	<p>escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales.</p> <p>Se establecen seis rangos o categorías, en los cuales mientras mayor sean estos valores, hay una mayor tendencia para que en la cuenca se presenten procesos torrenciales.</p> <table border="1" data-bbox="555 495 1377 963"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Índice Morfométrico</th> <th rowspan="2">Escala</th> <th rowspan="2">Área de la cuenca de drenaje (Km²)</th> <th colspan="5">Categorías</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Densidad de drenaje (Km/Km²)</td> <td>1:10.000</td> <td><15</td> <td><1,50</td> <td>1,51 – 2,00</td> <td>2,01 – 2,50</td> <td>2,51 – 3,00</td> <td>> 3</td> </tr> <tr> <td>1:25.000</td> <td>16 a 50</td> <td><1,20</td> <td>1,21 – 1,80</td> <td>1,81 – 2,00</td> <td>2,01 – 2,50</td> <td>> 2,5</td> </tr> <tr> <td>1:100.000</td> <td>>50</td> <td><1,00</td> <td>1,01 – 1,50</td> <td>1,51 – 2,00</td> <td>2,01 – 2,50</td> <td>> 2,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Baja</td> <td>Moderada</td> <td>Moderada Alta</td> <td>Alta</td> <td>Muy Alta</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Pendiente media de la cuenca (%)</td> <td>1:10.000</td> <td><15</td> <td><20</td> <td>21 – 35</td> <td>36 – 50</td> <td>51 – 75</td> <td>>75</td> </tr> <tr> <td>1:100.000</td> <td>>50</td> <td><15</td> <td>16 – 30</td> <td>30 – 45</td> <td>46 – 65</td> <td>>65</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Coeficiente de compacidad</td> <td></td> <td></td> <td>Accidentado</td> <td>Fuerte</td> <td>Muy Fuerte</td> <td>Escapado</td> <td>Muy Escapado</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><1,625</td> <td>1,376 – 1,500</td> <td>1,251 – 1,375</td> <td>1,126 – 1,250</td> <td>1,00 – 1,125</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Oval-oblonga a rectangular-oblonga</td> <td>Oval-redonda a oval-oblonga,....</td> <td colspan="2">Casi redonda a oval-redonda,....</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fuente: Rivas y Soto (2009)</p>		Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (Km ²)	Categorías					1	2	3	4	5	Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5				Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta	Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65	Coeficiente de compacidad			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escapado	Muy Escapado			<1,625	1,376 – 1,500	1,251 – 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125				Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga,....	Casi redonda a oval-redonda,....	
Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (Km ²)				Categorías																																																																												
			1	2	3	4	5																																																																											
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3																																																																											
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5																																																																											
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5																																																																											
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta																																																																											
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75																																																																											
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65																																																																											
Coeficiente de compacidad			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escapado	Muy Escapado																																																																											
			<1,625	1,376 – 1,500	1,251 – 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125																																																																											
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga,....	Casi redonda a oval-redonda,....																																																																													
<p>Índice de variabilidad (IV)</p>	<p>Muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca, siendo una cuenca torrencial, aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos.</p>	<p>Índice de variabilidad =</p> $\frac{(\text{Log}(Q_i) - \text{Log}(Q_f))}{(\text{Log}(X_i) - \text{Log}(X_f))}$																																																																																
<p>Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales</p>	<p>Indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca. Se define así, la clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales.</p> <table border="1" data-bbox="515 1550 1417 1783"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Índice de Variabilidad</th> <th colspan="5">Índice morfométrico de torrencialidad</th> </tr> <tr> <th>Muy Baja</th> <th>Baja</th> <th>Media</th> <th>Alta</th> <th>Muy alta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy Baja</td> <td>Baja</td> <td>Baja</td> <td>Media</td> <td>Alta</td> <td>Alta</td> </tr> <tr> <td>Baja</td> <td>Baja</td> <td>Media</td> <td>Media</td> <td>Alta</td> <td>Muy alta</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>Baja</td> <td>Media</td> <td>Alta</td> <td>Alta</td> <td>Muy alta</td> </tr> <tr> <td>Alta</td> <td>Media</td> <td>Media</td> <td>Alta</td> <td>Muy alta</td> <td>Muy alta</td> </tr> <tr> <td>Muy alta</td> <td>Media</td> <td>Alta</td> <td>Alta</td> <td>Muy alta</td> <td>Muy alta</td> </tr> </tbody> </table>		Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad					Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta	Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta	Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta	Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta																																							
Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad																																																																																	
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta																																																																													
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta																																																																													
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta																																																																													
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta																																																																													
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta																																																																													
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta																																																																													

Fuente: IDEAM

La vulnerabilidad por torrencialidad se estima a partir del Índice de Regulación Hidrica IRH y el Índice de Uso del Agua IUA.

El IRH se construye a partir de la curva de duración de caudales que para el río Guatiquia corresponde a la curva de la Estación de Puente Abadia.

La curva de duración de caudales se realizó con valores medios diarios de las estaciones Puente Abadía. (3503710). El caudal máximo que se puede otorgar en una cuenca hace referencia al caudal en 50% del tiempo es decir, el Q_{50} , que estará asociado a cada corriente según corresponda. Se calcularon valores característicos para diferentes funciones de probabilidad (Tabla 24).

Tabla 24. Métodos de ajuste de probabilidad de excedencia de caudales

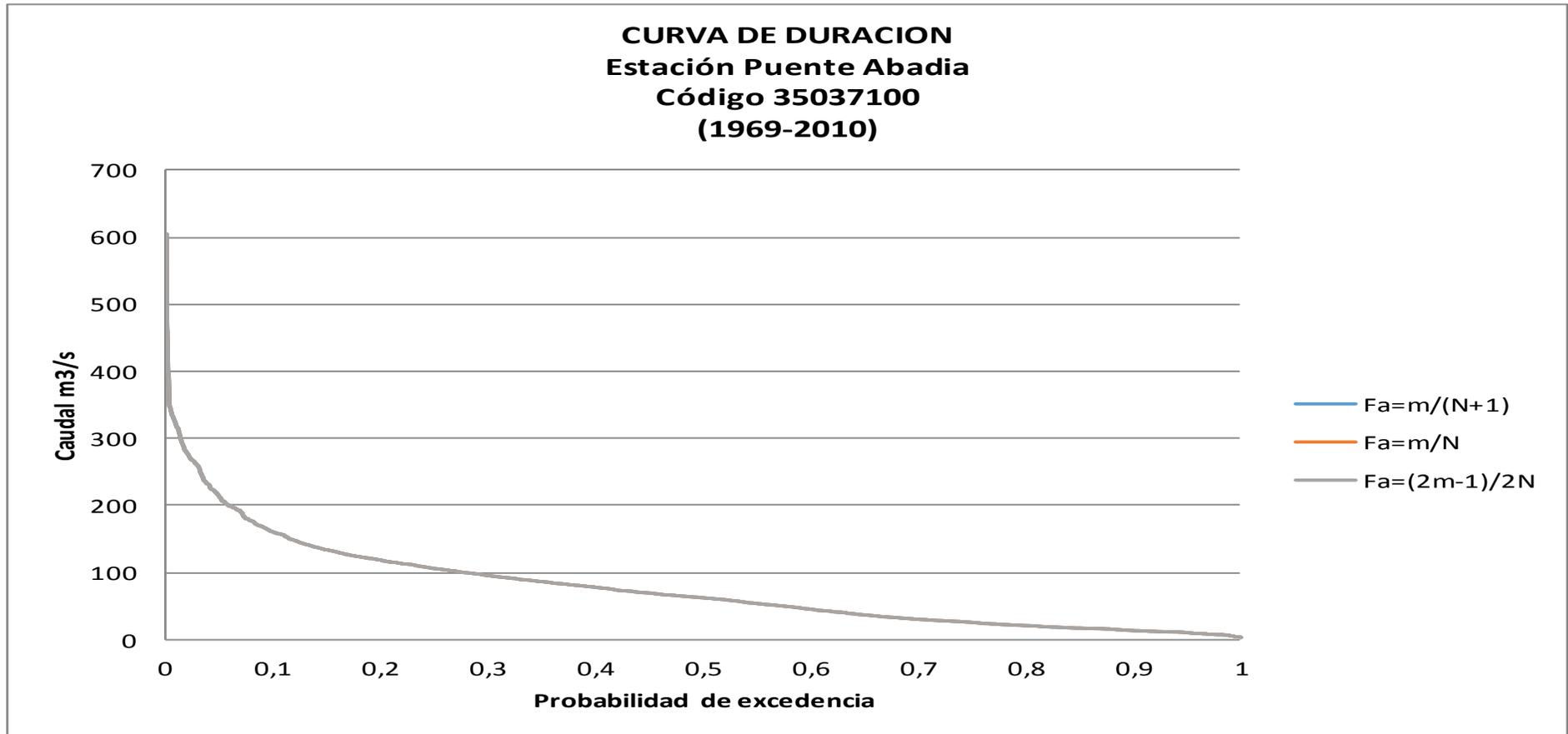
California (1923)	$\frac{i}{n}$	Tiene el inconveniente de que el menor valor tiene probabilidad 1
Hazen (1930)	$\frac{i - 0,5}{n}$	
Weibull (1939)	$\frac{i}{n + 1}$	La más usada y eficiente si no se especifica distribución
Blom (1958)	$\frac{i - 3/8}{n + 1/4}$	Recomendada para variable normales y lognormales
Chedgodayev (1955)	$\frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	Muy empleada en la URSS
Gringorten (1963)	$\frac{i - 0,44}{n + 0,12}$	Recomendada para distribuciones de valores extremos
Cunane (1978)	$\frac{i - 0,4}{n + 0,2}$	Estimadores insesgados

Donde:

- n: número total de datos
- i: posición en la serie de datos ordenados en orden decreciente

La de duración de caudales se elaboro con 3179 datos de valores medios diarios de la serie de caudales 1969-2010 del IDEAM (Figura 27)

Figura 27. Curva de duración de caudales Estación de Puente Abadia.



Se observa que para los diferentes métodos de probabilidad de excedencia la curva obtenida es coincidente.

En la tabla 25 se presentan los valores característicos de la curva de duración para cada método de estimación utilizado.

Tabla 25. Valores característicos de la curva de duración de caudales en la estación puente Abadía.

Método	Numero de datos N	Probabilidades de excedencia									
		10%	20%	25%	50%	60%	75%	90%	95%	97,50%	99,50%
REC_CD_Cu	3179	160,3	118,7	106,1	62,5	45,4	25,804	13,6	10,4072	7,86	4,3296
REC_CD_Gr		160,3	118,7	106,1	62,5	45,4	25,8064	13,6	10,40792	7,86	4,33356
REC_CD_Ch		160,3	118,7	106,1	62,5	45,4	25,798	13,6	10,4054	7,86	4,3197
REC_CD_Bl		160,3	118,7	106,1	62,5	45,4	25,8025	13,6	10,40675	7,86	4,327125
REC_CD_Hz		160,3	118,7	106,1	62,5	45,4	25,81	13,6	10,409	7,86	4,3395
REC_CD_mN		160,32	118,7	106,15	62,525	45,4	25,87	13,6	10,419	7,86	4,3895
REC_CD_We		160,3	118,7	106,1	62,5	45,4	25,78	13,6	10,4	7,86	4,3

RES_CD_We	Weibull (1939)
RES_CD_mN	California (1923)
RES_CD_Hz	Hazen (1930)
RES_CD_Bl	Blom (1958)
RES_CD_Ch	Chedgodayev (1955)
RES_CD_Gr	Gringorten (1963)
RES_CD_Cu	Cunane (1978)

Se presentan caudales firmes Q_{90} por debajo de la demanda hídrica sectorial de la cuenca en general, teniendo como base una demanda promedio de 54.5 m^3/s . muy cercanos al caudal disponible de la cuenca (Q_{50}) lo cual nos indica que la cuenca tiene una alta presión por uso y que en épocas secas no es suficiente para abastecer la demanda. Por esta razón se hace uso de otras fuentes.

En la Tabla 26 se presenta la vulnerabilidad para eventos torrenciales en la cuenca del río Guatiquia.

Tabla 26. Estimación de indicadores de vulnerabilidad por torrencialidad en la cuenca del río Guatiquia - Estación: Puente Abadía

Indicador	Cálculo				CALIFICACION	
Vulnerabilidad por Torrencialidad	IRH = V_p/V_t	Vp = Vol. representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio	Vp	2500	0,393	Bajo
		Vt: Vol. total representado por el área bajo la curva de duración de caudales	Vt	6464		
	IUA = $(D_h/O_h) * 100$	Dh = Demanda Hídrica Sectorial (m3/s)		54.5	131	Muy Alto
		Oh = Oferta Hídrica Superficial disponible	Oh total (Vol. Total agua superficial en una unidad espacial y temporal (m3/s)	62.5		
			Oh _{Qamb} (Vol. Caudal ambiental en la misma unidad espacial y temporal) (m3/s)	21		
	IVH	IRH (Índice de Retención Hídrica)	IRH	0,393	Bajo	Alto
		IUA (Índice Uso del Agua)	IUA	131	Muy Alto	

De la tabla se infiere que la vulnerabilidad para la cuenca frente a eventos torrenciales es alta por las condiciones naturales representados en la baja regulación hídrica y la presión por uso. Esta alta vulnerabilidad se expresa además en la recurrencia de movimientos de remoción en masa que presentan alta recurrencia en condiciones de torrencialidad y los daños a la infraestructura de acueductos.

En relación con la vulnerabilidad para condiciones de estiaje se deben considerar las variables ya descritas en el marco conceptual y metodológico de este trabajo. De manera particular, se trata de cruzar los resultados del Índice Morfométrico IFM y el Índice de variabilidad IV.

El índice morfométrico se constituye en la relación entre las variables morfométricas como el coeficiente de Compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto, 2009). El Coeficiente de compacidad I_c es la relación entre el perímetro de la cuenca y 2 veces la raíz cuadrada de $3,14 \text{ Area}$. Las variable morfométricas (Densidad de drenaje, Area, perímetro, pendiente media de la cuenca y coeficiente de compacidad se extraen de la Tabla 16.

La matriz para categorizar el IFM a partir de las variables corresponde a la Tabla 4 y la relación entre variables para cualificar el IFM a la Tabla 5. En la

Tabla 6 se encuentran los rangos del Índice de variabilidad obtenido como una relación logarítmica entre dos caudales y sus correspondientes probabilidades de excedencia en la curva de duración de caudales. Finalmente en la Tabla 7 se presentan las categorizaciones del Indicador de vulnerabilidad por estiaje que resulta de combinar el IFM y el IV. En la Tabla 27 se presentan los resultados obtenidos para la cuenca del río Guatiquia.

Tabla 27. Estimación de indicadores de vulnerabilidad por estiaje en la cuenca del río Guatiquia - Estación: Puente Abadía

Vulnerabilidad por Estiaje	IFM	Densidad de Drenaje (Km/Km2)	1,86	Moderada (3)	3:3:2	Moderado
		Pendiente media de la cuenca (%)	32,6	Fuerte (2)		
		Coeficiente de Compacidad	1,52	Oval-redonda-Oval oblonga (2)		
	IV = (Log(Qi) – Log(Qf))/(Log(Xi) – Log(Xf))	Qi y Qf = Dos caudales tomados de la curva de duración de caudales	Qi	5,512	64,859	Muy Alto
			Qf	1,238		
		Xi y Xf = porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi y Qf	Xi	5		
			Xf	50		
	IVH	Índice Variabilidad	Muy alto		Alto	
		Índice Morfométrico	Moderado			

Tabla 27 como se aprecia en la tabla el Índice de Vulnerabilidad Hidroca para condiciones de estiaje es alto lo cual significa que la cuenca es deficitaria en épocas secas dadas sus condiciones morfométricas, de velocidad de infiltración y variabilidad de caudales. Esta condición restringe los caudales de abastecimiento para la ciudad de Villavicencio y explica la necesidad de alternar esta fuente con otras corrientes superficiales y aguas subterráneas.

En síntesis y tal como se aprecia en la tabla 28 la cuenca abastecedora del río Guatiquia presenta alta vulnerabilidad tanto para condiciones torrenciales como de estiaje, siendo más crítica la condición de torrencialidad.

Tabla 28. Consolidado de Indicadores de Vulnerabilidad

INDICADOR			
ESTACIÓN	CORRIENTE	IVH TORRENCIALIDAD	IVH ESTIAJE
Puente Abadía	Río Guatiquia	Muy Alto	Alto

Los resultados obtenidos coinciden con los que presenta el ENA 2010 para el el Río Guatiquia en el cual el índice de retención hídrica (IRH) es moderado a alto y el índice de uso de agua (IUA) muy alto lo cual proporciona un índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) por torrencialidad muy alto y un IVH por fenómenos de estiaje con categoría alta, asociado a las grandes diferencias entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos (Tabla 29).

Tabla 29. Estimación de Indicadores de vulnerabilidad según el ENA (2010)

MUNICIPIO	FUENTE HIDRICA	Demanda Hídrica Anual (Mmc)	IRH	CONDICIÓN CLIMATICA MEDIA		CONDICIÓN CLIMATICA SECA	
				IUA	IVH	IUA	IVH
Villavicencio	Rio Guatiquia	54.5	Moderado a alto	Muy alta	Muy Alto	Moderado	Alto

La cuenca del rio Guatiquia tiene un índice de variabilidad alto a muy alto en términos generales, lo cual indica una gran problemática en la cuenca, afectando su caudal, la calidad del agua y demás aspectos que tocan específicamente al servicio de acueducto.

En la Tabla 30 se presentan evidencias documentadas de las afectaciones sobre los sistemas de abastecimiento causadas por la alta vulnerabilidad de la cuenca.

Tabla 30. .Eventos de torrencialidad y temporada seca

TORRENCIALIDAD		
		
<p>Según un informe elaborado por la empresa de acueducto y alcantarillado de Villavicencio en el transcurso de los meses de abril y agosto se presentaron suspensiones en el servicio debido a fuertes precipitaciones las cuales aumentan el caudal de la cuenca, generando arrastre de material de río e inundaciones, lo cual afecta la infraestructura de la bocatoma quebrada honda ubicada aproximadamente a 8 kilómetros aguas arriba de la estación puente abadía. La problemática en la temporada de lluvias afecta la infraestructura, la calidad del agua, y continuidad en la prestación del servicio.</p>		
TEMPORADA SECA		
		
<p>El registro fotográfico muestra los daños ocasionados durante la temporada de lluvias en la bocatoma de la quebrada honda lo que obliga a la empresa de a suspender el servicio en algunos sectores del municipio afectando los barrios más vulnerables.</p>		

ANEXO MATERIAL FOTOGRÁFICO PUNTOS DE CAPTACION O BOCATOMAS DE LA EAAV-ESP

Tabla 31. Puntos de captación o bocatomas de la EAAV-ESP

FUENTE	CAUDAL CONCESIONAD O (litros/segundo)	UBICACION	COORDENADAS	
			X	Y
FUENTES SUPERFICIALES				
Quebrada Honda	1600	Vereda Quebrada Honda.	1.046.130	964.958
Rio Guatiquía (Pte Abadía)	900	Vereda Puente Abadía	1.049.091	960,114
Rio Guatiquía (Bavaria)	900	Área urbana	1.048.450,955	953.477,206
Caño Maizaro	100	Vereda El Carmen	1.045.600	949,491
Caño Buque	100	Vereda El Carmen	1.045.506,298	949.384,53
Caño Blanco	46	Vereda La Unión	1.038.777	941,71
Caño Grande	90			
FUENTES SUBTERRÁNEAS				
Pozo Bosques de Abajam	19	Conjunto Bosques de Abajam	73°35'37"	4°08'35"
Samán de la Rivera	5.20	Barrio Samán de la Rivera	1.045.768	09°44'06"
El Darién	2.73	Barrio El Darién	1.045.535	943.237
Charrascal	11	Barrio Charrascal	1.046.492	943.705

MATERIAL FOTOGRÁFICO

1. Fotos bocatoma Quebrada Honda en verano e invierno



2. Fotos Planta de tratamiento La Esmeralda



3. Fotos Desarenador bocatoma Quebrada La Honda



4. Fotos Rio Guatiquía-Planta de bombeo de Puente Abadía



5. Fotos Rio Guatiquía-Planta de bombeo de Bavaria



6. Fotos bocatoma caño Blanco



7. Fotos bocatoma Caño Maizaro y Caño Buque – Planta Fuentes Altas



8. Fotos Pozo Bosques de Abajam



9. Fotos Pozo El Darién



10. Fotos Pozo Samán de la Rivera



Fuente: Autor y EAAV-ESP 2014

CONCLUSIONES

- ✓ La cuenca del río Guatiquía beneficia a varias poblaciones a lo largo de su recorrido, no solamente en las cabeceras municipales sino también en el sector rural donde el líquido satisface las necesidades de los sectores doméstico industrial, agricultura, servicios públicos y pecuarios entre otros.
- ✓ Villavicencio es una de las ciudades que más se beneficia del río Guatiquía siendo éste una de las fuentes alternas de captación para el servicio de acueducto, no obstante la demanda tiende a aumentar cada vez más, específicamente en lo relacionado con los usuarios, superando la oferta de la cuenca.
- ✓ Se evidencian problemas en épocas de lluvia, debido a que el aumento del caudal afecta la infraestructura de la bocatoma, la calidad del agua, la continuidad en la prestación del servicio, las poblaciones que habitan cerca de la margen del río en los eventos torrenciales y de remoción en masa.
- ✓ Dentro de la investigación se realiza la caracterización de la cuenca en su aspecto morfológico, teniendo en cuenta la curva de duración de caudales, al igual que el índice de regulación hídrica. Dentro de la investigación se estiman los aspectos para determinar los índices de vulnerabilidad por torrencialidad así como la vulnerabilidad en épocas de estiaje.
- ✓ La cuenca del río Guatiquía presenta un alto grado de vulnerabilidad en épocas de lluvia y de sequía. De acuerdo con los resultados se obtuvo que el índice de vulnerabilidad hídrica es muy alta, por su baja

capacidad de regulación y retención hídrica, de otra parte se evidencia un alto uso del recurso hídrico para las distintas actividades económicas, lo cual pone en riesgo el balance hídrico de la cuenca.

- ✓ Respecto al índice de variabilidad de los caudales y morfometría de la cuenca se obtiene una calificación de alta, indicando que se presentan caudales altos en corto tiempo, la alta torrencialidad y las características geomorfológicas, en especial sus altas pendientes, aumentan la posibilidad de avenidas torrenciales y avalanchas, lo cual aumenta la vulnerabilidad del servicio de acueducto.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ ENA. (2010). estudio nacional del agua. bogota, colombia: IDEAM.
- ✓ Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura 1979)
- ✓ (Morales et. al., 2001).
- ✓ IDEAM. (2011). metodologia para determinar la vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de acueductos. bogota, colombia: instituto de hidrologia, meteorologia y estudios ambientales. subdireccion de hidrologia
- ✓ (Downing and Downing and Pathwardhan, 2005; O'Brian et al., 2004),
- ✓ (Kasperson et. al. 2003).
- ✓ (IPCC, WGII, 2007),
- ✓ Wilches - Chaux (1989)
- ✓ Decreto 1277 de 1974.
- ✓ Decreto 1449 de 1977,
- ✓ Decreto 2857 de 1981,
- ✓ Ley 46 de 1988,
- ✓ Ley 99 de 1993,
- ✓ Ley 1523 de 2012,
- ✓ Decreto 1640 de 2012,
- ✓ (Rivas y Soto, 2009).
- ✓ Diagnostico sectorial servicios publicos alcaldia de villavicencio.empresade acueducto y alcantarillado de villavicencio eaav. esp 2011
- ✓ Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Guatiquía cormacarena – UAESPNN – CAEMA, 2008
- ✓ Informe de Gestión 3er trimestre 2013 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio EAAV ESP
- ✓ El Documento Técnico de Soporte del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Villavicencio vigencia años 2000 – 2007

- ✓ Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Villavicencio 2000 – 2007).
- ✓ Geología de la plancha 266 Villavicencio 2001 INGEOMINAS
- ✓ Diagnóstico Sectorial del Municipio de Villavicencio EAAV S.A. E.S.P. 2009).
- ✓ Catalogo de estaciones IDEAM 2014
- ✓ Datos de la red Hidrometeorológica del IDEAM 2014

PAGINAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ www.semana.com. Consultada en febrero de 2014).
- ✓ www.ipcc.ch/pub/shrgloss.pdf.
- ✓ <http://www.igac.gov.co>