

**OFERTA HÍDRICA DEL ÁREA DE MANEJO ESPECIAL “SISTEMA DE
PÁRAMOS Y BOSQUES ALTOANDINOS DEL NOROCCIDENTE MEDIO
ANTIOQUEÑO”**



**LEODÁN ANDRÉS OTAYA BURBANO
GUILLERMO DE JESÚS BUSTAMANTE CARMONA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
MEDELLÍN**

2004

**OFERTA HÍDRICA DEL ÁREA DE MANEJO ESPECIAL “SISTEMA DE
PÁRAMOS Y BOSQUES ALTOANDINOS DEL NOROCCIDENTE MEDIO
ANTIOQUEÑO”**

LEODÁN ANDRÉS OTAYA BURBANO

GUILLERMO DE JESÚS BUSTAMANTE CARMONA

Estudiantes de Ingeniería Forestal

Asesor

GUILLERMO LEÓN VÁSQUEZ VELÁSQUEZ

**Profesor Asociado
Departamento de Ciencias Forestales**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
2004**

**OFERTA HÍDRICA DEL ÁREA DE MANEJO ESPECIAL “SISTEMA DE
PÁRAMOS Y BOSQUES ALTOANDINOS DEL NOROCCIDENTE MEDIO
ANTIOQUEÑO”**

LEODÁN ANDRÉS OTAYA BURBANO

GUILLERMO DE JESÚS BUSTAMANTE CARMONA

Estudiantes de Ingeniería Forestal

Asesor

GUILLERMO LEÓN VÁSQUEZ VELÁSQUEZ

**Profesor Asociado
Departamento de Ciencias Forestales**

**Investigación realizada como parte del proyecto “Valoración económica
de bienes y servicios ambientales que provee el Sistema de Páramos
y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño”**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
2004**

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar gratitud y reconocimiento:

- A la Dirección de Investigaciones Sede Medellín (DIME) por la financiación de la presente investigación.
- A la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) y a las Empresas Públicas de Medellín (EPM) por facilitar información de la zona de estudio.
- A la profesora Carmenza Castiblanco Rozo, por brindarnos la oportunidad de trabajar en este proyecto.
- Al profesor Guillermo León Vásquez Velásquez por su asesoría.
- A los Ingenieros Forestales Humberto Sánchez Herrera y Jhonny Dann Correa Sierra por su colaboración.

ÍNDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	13
GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
SISTEMA HIDROLÓGICO DEL ÁREA DE MANEJO ESPECIAL	19
CUENCA DEL RÍO GRANDE	22
Subcuenca del Río Chico.....	23
Subcuenca Quebrada Quebradona.....	24
Subcuenca Quebrada La Candelaria.....	25
Subcuenca Quebrada San José.....	25
Subcuenca Quebrada La Torura	26
CUENCA DEL RÍO CAUCA	27
Subcuenca Río San Andrés.....	27
Subcuenca Quebrada San Pedro.....	29
Subcuenca Quebrada La Pená	29
Subcuenca Quebrada La Honda	30
Subcuenca Quebrada Rodas.....	31
Subcuenca Quebrada Juan García	31
Subcuenca Quebrada La Nuarque.....	32
Subcuenca Quebrada La Yuná	33
Subcuenca Quebrada La Mirandita	34
Subcuenca Quebrada La Sopetrana	35
Subcuenca Quebrada Grande	36
METODOLOGÍA.....	37
ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS	37
CORRECCIÓN POR REZAGO.....	44
VALIDACIÓN DE RESULTADOS	44
Estimación de caudales medios por el método Blaney – Criddle	45
Estimación de caudales medios por el método Thornthwaite	46
Estimación de caudales medios por el método García – López.....	46
CRITERIOS PARA EVALUAR LOS DIFERENTES MÉTODOS	47
Relación porcentual y suma de los cuadrados del error	47

Prueba de rangos múltiples	48
ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS.....	48
ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA	52
ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA.....	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
TEMPERATURA MEDIA	62
PRECIPITACIÓN MEDIA	65
CAUDALES MEDIOS	70
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO	77
CAUDALES MÍNIMOS	78
VALIDACIÓN DE RESULTADOS	80
CAUDALES MEDIOS.....	80
CRITERIOS PARA EVALUAR LOS DIFERENTES MÉTODOS.....	81
Relación porcentual y suma de los cuadrados del error	81
Prueba de rangos múltiples	82
CONCLUSIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	88
ANEXO 1. Evapotranspiración real (mm/año) correspondiente a las subcuencas del área de estudio, obtenida mediante el “procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge”.....	88

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Temperatura media mensual multianual (°C), registrada en la estación climatológica aragón.....55
- Figura 2.** Histograma de la distribución de la precipitación media mensual (mm) de la estación “El Botón”....59
- Figura 3.** Porcentaje de la precipitación total anual correspondiente a cada mes, para la estación 2: Belmira....61
- Figura 4.** Temperatura media mensual (°C) estimada para la subcuenca de la quebrada Quebradona.....65
- Figura 5.** Histograma de distribución de la precipitación media mensual (mm) para la subcuenca Juan García.70
- Figura 6.** Distribución porcentual de los caudales estimados para la subcuenca Juan García, comparados con la distribución porcentual de los caudales registrados en la estación hidrométrica RG-10 (La Ye).....71
- Figura 7.** Caudales medios mensuales en m³/s del Río Chico, observados y estimados mediante los métodos de Holdridge, de Thornthwaite, de Blaney – Criddle y de García – López.....81
- Figura 8.** Prueba de rangos múltiples para caudales medios mensuales en m³/s del Río Chico, observados (E) y estimados mediante los diferentes modelos (H = Holdridge, Bc = Blaney-Criddle, Th = Thornthwaite, GL = García-López).....82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sistema hidrológico en los Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño....	20
Tabla 2. Procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge...	41
Tabla 3. Estación empleada para la corrección por rezago.....	44
Tabla 4. Caudales medios mensuales multianuales (m^3/s), registrados en la estación RG-10 “La Ye”	44
Tabla 5. Zonificación de las distribuciones con sus cuencas respectivas.....	49
Tabla 6. Factores de frecuencia K correspondientes a cada periodo de retorno TR.....	52
Tabla 7. Estación climatológica empleada en el presente estudio.....	54
Tabla 8. Temperatura media mensual multianual ($^{\circ}C$) registrada en la estación Aragón.....	54
Tabla 9. Porcentajes de temperatura correspondientes a cada mes con respecto a la temperatura media anual multianual.....	55
Tabla 10. Estaciones con registros de precipitación empleadas.....	57
Tabla 11. Precipitación media mensual (mm) y anual multianual (mm) registrada en las estaciones presentadas en la Tabla 10.....	58
Tabla 12. Porcentaje de la precipitación total anual correspondiente a cada mes, para las 7 estaciones seleccionadas.....	60
Tabla 13. Alturas medias (m.s.n.m.) y temperaturas medias anuales ($^{\circ}C$), para las subcuencas que forman parte del área de estudio.....	63
Tabla 14. Temperaturas medias mensuales ($^{\circ}C$) correspondientes a cada subcuenca.....	64
Tabla 15. Área (km^2) y precipitación media anual (mm), correspondiente a cada subcuenca.....	67
Tabla 16. Precipitación media mensual (mm) incidente en las subcuencas del área de estudio.....	69
Tabla 17. Área (km^2), caudal medio anual (m^3/s), rendimiento hídrico (l/s/ha) y caudal anual total ($m^3/año$), correspondientes a las subcuencas del área de estudio.....	74
Tabla 18. Caudales medios mensuales (m^3/s) correspondientes a cada subcuenca del área de estudio.....	75
Tabla 19. Oferta hídrica superficial en Colombia por altitud.....	77
Tabla 20. Caudal mínimo medio anual (m^3/s) para varios periodos de retorno TR de las subcuencas del área de estudio.....	79
Tabla 21. Caudales medios mensuales en m^3/s observados y estimados mediante los métodos de Holdridge, de Thornthwaite, de Blaney – Criddle y de García – López, con la corrección por rezago.	80
Tabla 22. Valores porcentuales y suma de los cuadrados del error (sce) para los diferentes métodos de cálculo de caudal.....	81

RESUMEN

Este estudio se realizó en el Área de Manejo Especial (AME) “Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño”, localizada en el Departamento de Antioquia, Colombia. El AME tiene una extensión total de 34.358,74 ha. Como objetivo principal de esta investigación se propuso estimar la oferta ambiental del recurso hídrico que se origina en dicho sistema, y como objetivos secundarios estimar el caudal medio mensual y anual que se origina en el sistema, así como también estimar el caudal mínimo anual para diferentes periodos de retorno. Para lograr estos objetivos se empleó el “procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge”, y el método de regionalización de características medias. Como resultados se determinó para el AME una precipitación de 665.288.946,00 m³/año, una evapotranspiración real de 242.363.796,00 m³/año y una escorrentía media anual de 422.925.149,57 m³/año. Obteniéndose un coeficiente de escorrentía del 63,6%, lo cual significa que el 63,6% de la precipitación se convierte en escorrentía y el 36,4% restante se pierde por evapotranspiración. Se concluye que el área de estudio presenta una precipitación media anual (1.847,4 mm), menor que la precipitación media anual de Colombia (3.000 mm) y mayor que el promedio anual de Suramérica (1.600 mm); y que la oferta hídrica del Sistema estudiado (39,032 l/s/km²), es menor que la oferta hídrica promedia de Colombia (58 l/s/km²) y mayor que la oferta hídrica promedia suramericana (21 l/s/km²).

Palabras claves: Balance hídrico, bosques altoandinos, páramos, oferta hídrica, regionalización.

ABSTRACT

This study was conducted in the “Paramo and High Andean Forest System of the Middle Northwest of Antioquia” Special Management Area (SMA), located in the Department of Antioquia, Colombia. The SMA has a total extension of 34.358,74 ha. A main stated objective of this investigation was to estimate the environmental availability of the hydric resource that originate in this system, with secondary objectives of estimating the average monthly and annual volume that originate in the system, as well as also estimating the minimal annual volume for different periods of return. To achieve these objectives the “water accounting procedure to accomplish a detailed water balance according to Holdridge” was employed, as was the method of regionalization of characteristic averages. As results for the SMA, a precipitation of 665.288.946,00 m³/year, a real evapotranspiration of 242.363.796,00 m³/year and an annual average run-off of 422.925.149,57 m³/year. A run-off coefficient of 63,6% was obtained, which signifies that 63,6% of the precipitation becomes run-off and the 36,4% remainder is lost by evapotranspiration. We conclude that the study area has an annual average precipitation, (1.847,4 mm), that is less than the annual average precipitation for Colombia (3.000 mm) and greater than the annual average of South America (1.600 mm); and that the hydric availability (39,032 l/s/km²) of the studied system is less than the hydric availability average for Colombia (58 l/s/km²) and greater than the hydric availability average for South America (21 l/s/km²).

Key words: High Andean forests, hydric availability, hydric balance, paramos, regionalization.

INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se presenta una metodología para estimar la oferta hídrica en un Ecosistema Estratégico cuando se cuenta con información escasa, mediante el estudio de uno de ellos como lo es el Área de Manejo Especial (AME) “Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño”, localizada en el Departamento de Antioquia, Colombia, teniendo como objetivo principal de esta investigación estimar la oferta ambiental del recurso hídrico que se origina en dicho Sistema, y como objetivos secundarios estimar el caudal medio mensual y anual que se origina en el Sistema, así como también estimar el caudal mínimo anual para diferentes periodos de retorno

El Área de Manejo Especial (AME) “Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño”, en la categoría de Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables, constituye una de las áreas protegidas de la región Antioqueña que resulta ser estratégica para la preservación del ciclo hidrológico, dado que allí tienen origen importantes fuentes de agua que abastecen y satisfacen las necesidades básicas de las poblaciones asentadas en el área y su zona de influencia, y de otras, que indirectamente reciben igual beneficio de la oferta hídrica, como lo es una importante concentración de población ubicada en la ciudad de Medellín.

La oferta hídrica que produce el AME aporta al sistema de aprovechamiento múltiple del embalse Río Grande II. Esta agua es aprovechada por las Empresas Públicas de Medellín para el abastecimiento del acueducto de la ciudad y algunos municipios del Valle de Aburrá, también es utilizada para la generación de energía, mediante las centrales hidroeléctricas de Tasajera y Niquía, generando alrededor de 324 MW. Posteriormente, el agua es utilizada para la recreación masiva en el Parque de las Aguas ubicado en el municipio de Girardota y su destino final es el Río Medellín, donde cumple una importante función de dilución de contaminantes, contribuyendo parcialmente a la recuperación del río (CORANTIOQUIA 1997).

En Colombia una de las mayores dificultades para realizar estudios de estimación de la oferta hídrica es la falta de información ya que se tienen pocas estaciones climatológicas y meteorológicas; por lo tanto la aplicación de modelos que estiman esta oferta hídrica empleando información escasa resulta muy interesante e importante para elaborar planes de manejo de las cuencas hidrográficas y hacer valoraciones económicas del recurso hídrico ofrecido por ellas (Vélez, Poveda y Mesa 2000).

En este país es necesario contar con información actualizada y cada vez más precisa sobre la distribución regional y local de sus disponibilidades de agua y la distribución territorial de sus usos, a fin de precisar y ordenar las áreas con mayores peligros de desabastecimiento, y adelantar las acciones de planificación y regulación del uso del recurso hídrico (Vélez, Poveda y Mesa 2000).

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño se ubica sobre un plan alto con alturas máximas de 3.250 m.s.n.m., el cual se encuentra disectado en dirección norte por las cuencas de los ríos San José y en dirección sur por la cuenca del río Chico. Este Sistema limita en el Occidente con la ladera de erosión del río Cauca, al Oriente por la ladera de la cuenca del Río Grande, al Norte por dos ramales cordilleranos que descienden cerca de la población de San José de la Montaña y al Sur por una formación montañosa aislada conocida como Montefrío, la cual es una continuación del cordón cordillerano del flanco occidental del sistema.

La Unidad de Manejo ocupa principalmente territorio de los municipios de Belmira y San José de la Montaña, y parte de Entreríos, San Pedro de los Milagros y San Andrés de Cuerquia en la zona del altiplano norte Antioqueño y pequeñas áreas de los municipios de Sabanalarga, Liborina, Olaya, San Jerónimo y Sopetrán, ubicados estos últimos sobre el cañón del río Cauca, en la zona occidental del Sistema.

El presente estudio fue realizado para las subcuencas que hacen parte del Área de Manejo Especial (AME) “Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño”, dicha área fue delimitada por CORANTIOQUIA, ésta tiene una extensión total de 34.358,74 hectáreas. Las subcuencas no están en su totalidad dentro del área de estudio.

Para delimitar el AME CORANTIOQUIA (1997) siguió la siguiente metodología:

Como primera aproximación a la delimitación del Área de Manejo Especial, se tomó un área base de trabajo comprendida por las zonas ubicadas por encima de la cota 2.800 m.s.n.m., del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño, ya que a partir de esta cota, la unidad geomorfológica del cinturón cordillerano, se define claramente del altiplano de Santa Rosa de Osos.

Delimitada esta zona, se utilizó la fotointerpretación de la zona sobre aerofotografías con escala 1: 22.000, tomadas en el año 1995, por EE. PP. de Medellín, con el fin de ubicar las áreas con coberturas vegetales en páramos, bosques, rastrojos y cultivos. Adicionalmente, se consultaron los mapas de usos

del suelo del Departamento de Antioquia, elaborados por Secretaría de Agricultura en el año de 1989, y se procedió a la delimitación utilizando los siguientes criterios:

Se delimitaron unidades continuas de bosques que se encontraron alrededor de los ecosistemas de páramo y subpáramo, identificadas en fotografías aéreas; y los manchones de rastrojos alto y bajo en zonas de nacimientos de aguas y de altas pendientes, adicionando las siguientes unidades:

- Áreas de recarga hídrica en las zonas ubicadas por encima de los 2.800 m.s.n.m. compuestas en su gran mayoría, por humedales y nacimientos de aguas de las principales cuencas, que estuvieran en potreros.
- En el occidente del sistema, se anexaron las áreas aledañas a la zona delimitada, con rangos de pendientes superiores al 75%, que estuvieran por encima de la cota 2.600 m.s.n.m., por presentarse allí un alto deterioro de los suelos.

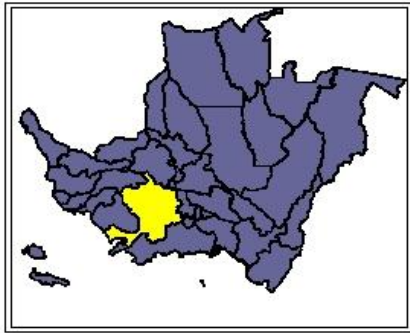
Dentro del área delimitada, quedaron involucradas algunas zonas con usos actuales del suelo en pastos manejados y enmalezados, así como áreas utilizadas en actividad pecuaria de una forma marginal con vegetación paramuna.

En el AME del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño, no se consideró un Área de Amortiguamiento como tal, tomándose como zonas de influencia al AME, todas las veredas que poseen territorio dentro de esta Área de Manejo Especial.

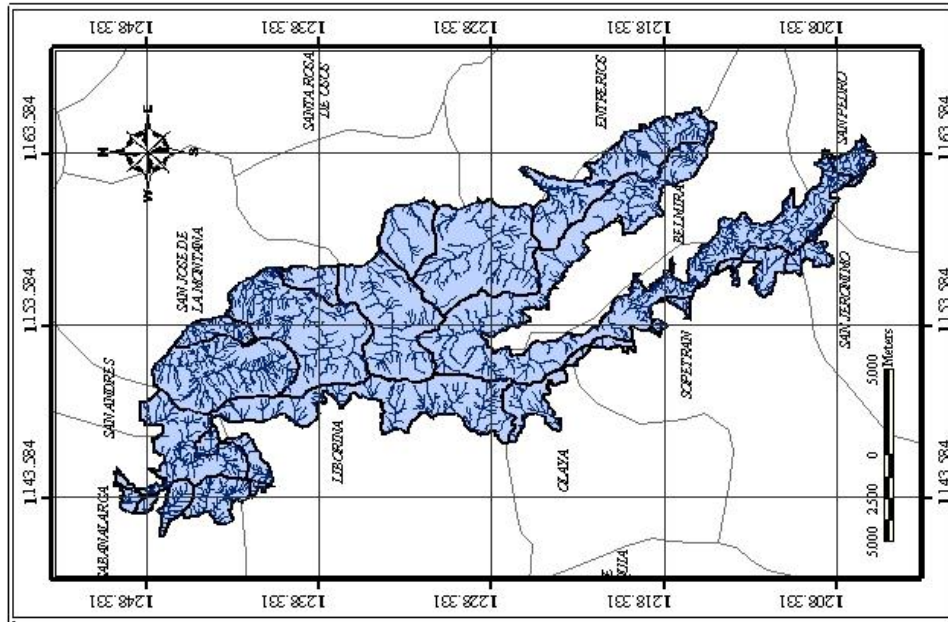
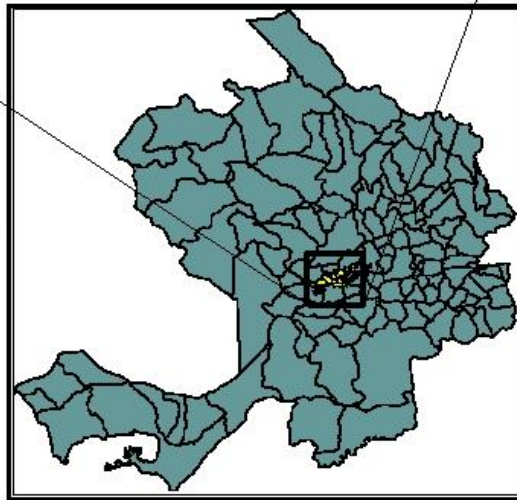
En el mapa que se presenta a continuación puede tenerse una idea más clara de la ubicación del AME.

**LOCALIZACIÓN ÁREA DE MANEJO ESPECIAL
"Sistema de Páramos y Bosques
Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño "**

COLOMBIA



ANTIOQUIA



GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El complejo de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño constituye un ecosistema de vital importancia por cuanto alberga formaciones vegetales como los robledales (masas casi homogéneas de roble de tierra fría; *Quercus humboldtii* Bonpl.), los bosques achaparrados con un inmenso valor genético y biológico y los frailejones y pajonales, vegetación típica de los páramos. Estos bosques son claves en la producción de agua ya que cubren y protegen una estrella hidrográfica donde nacen importantes corrientes que suministran el líquido a las poblaciones aledañas para consumo humano, producción agropecuaria e industrial y para la generación hidroeléctrica. Este ecosistema brinda refugio a una gran diversidad de fauna que en algunos casos se conoce muy poco y algunas especies se consideran extintas en otras áreas del departamento.

El altiplano Norte antioqueño se caracteriza por ser zona de grandes cambios y polo de desarrollo en los últimos años, por cuanto ha sido asiento de diversas industrias y además de la construcción de una obra importante a nivel departamental como lo es el embalse Río Grande 2, el cual genera energía y abastece de agua una porción considerable del Valle de Aburrá. El agua almacenada en el embalse procede en gran parte de los páramos del norte, a través de numerosas corrientes que fluyen a los ríos Chico y Grande.

El régimen climático del área de estudio está influenciado en gran medida por las corrientes cálidas húmedas que ascienden de la cuenca del río Cauca, produciendo un frente húmedo en la zona occidental del Sistema, el cual lo rodea hasta la parte norte donde se encuentra la población de San José de la Montaña, donde es frecuente observar en horas de la tarde, densa niebla que asciende desde el Cauca por las cuencas del río San Andrés y la quebrada San José.

De acuerdo con la biotemperatura y la precipitación media anual, en el Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos existen cuatro zonas de vida: bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), bosque húmedo montano bajo (bh-MB) o tierra cafetera húmeda; bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) o tierra fría muy húmeda y bosque pluvial montano (bp-M), en las partes altas del sistema, por encima de los 3.000 m.s.n.m.

El bmh-MB cubre la mayor parte del territorio ubicándose en la zona central y occidental del Sistema, donde se concentran aires cálidos húmedos provenientes de la cuenca del río Cauca produciendo un frente húmedo caracterizado por la presencia de nubosidad en las horas de la tarde. Esta unidad cobija las partes altas de todas las cuencas, las que se caracterizan en general por tener una topografía accidentada, con fuertes pendientes y cañones profundos con especial acento en la zona occidental.

Los bosques “altoandinos” de la región objeto de estudio, corresponden a los bosques “montanos” o bosques de “niebla”, de los cuales, de acuerdo con Gentry (1991) muy poco persiste de ellos en Colombia, y lo que aún se conserva está seriamente amenazado por la actividad antrópica en su afán de ampliar la frontera agrícola y pecuaria, y por la explotación de las pocas maderas valiosas que aún contienen este tipo de bosques.

Dentro de las principales características de los páramos están: la posición orográfica, la intensidad y distribución de las lluvias, la existencia de un régimen isotérmico anual y una alternancia térmica diaria con oscilaciones muy cercana a cero grados, lo cual llega a producir heladas en épocas secas. Estos factores, unidos a las bajas temperaturas del suelo, representan los mayores limitantes ecológicos para el desarrollo de la vegetación, la cual por lo general presenta baja biomasa, descomposición de la materia orgánica en forma lenta y acumulación de necromasa. Todo lo anterior hace que el páramo sea un ecosistema de baja biomasa y muy propenso a desequilibrios ecológicos ante cualquier tipo de intervención antrópica.

La vegetación de páramo ocupa principalmente territorio de los municipios de Belmira y San José de la Montaña, entre los 2.900 y 3.250 m.s.n.m. En éste, buena parte del terreno permanece saturado de agua y se presentan algunas turberas que alternan con rocas descubiertas y suelos negros. Es considerado como una verdadera “fábrica de agua”, ya que es allí donde se originan gran cantidad de fuentes de agua potable que abastecen y satisfacen las necesidades básicas de las poblaciones humanas y animales que ocupan áreas circunvecinas a éste y otras que indirectamente reciben igual beneficio.

En estos páramos predominan los frailejones en los sitios conocidos como Alto del Morrón o Ciénaga del Morro, Alto de Gallinas y el páramo de Sabanas, todos localizados por encima de la cota 2.900 m.s.n.m. La Ciénaga del Morro, ubicada dentro de un paisaje cóncavo ondulado y poblada en sus alrededores de frailejones, conforma un alargado espejo de agua que debe ser conservado y protegido

para asegurar las condiciones naturales del sector, que constituye el nacimiento de varias corrientes de agua que vierten a los ríos Chico y Grande.

Los manchones de frailejón en estos páramos han sufrido presiones de diferente índole, particularmente por la tradicional explotación aurífera de veta, por la tala indiscriminada de los bosques, especialmente de los robledales y/o el ramoneo de ganado vacuno a los que ha sido sometido este ecosistema durante varias décadas. Los frailejonales han sido afectados repetidamente por incendios forestales ocasionados por el hombre, bien sea por inconciencia o para establecer pastos.

Los pobladores de la zona del altiplano norte proceden en su mayoría del Occidente y el Suroeste Antioqueño, y el Valle de Aburrá, quienes atraídos por la riqueza aurífera existente en la región, se asentaron en la zona, formando una conjugación de diferentes culturas con la inclusión de comunidades Afroamericanas, caracterizada por la conformación de la familia nucleada, típica de la zona Andina.

En general, la economía en la zona está basada en la producción lechera ubicada en el altiplano y valles interiores al sistema de páramo, y en menor escala, la porcicultura y la truchicultura. En el flanco occidental, sobre la cuenca del río Cauca en zonas aledañas al Sistema, la economía se basa en el cultivo del café en forma tecnificada, cultivos pequeños de pancoger y ganadería extensiva de carácter marginal.

SISTEMA HIDROLÓGICO DEL ÁREA DE MANEJO ESPECIAL

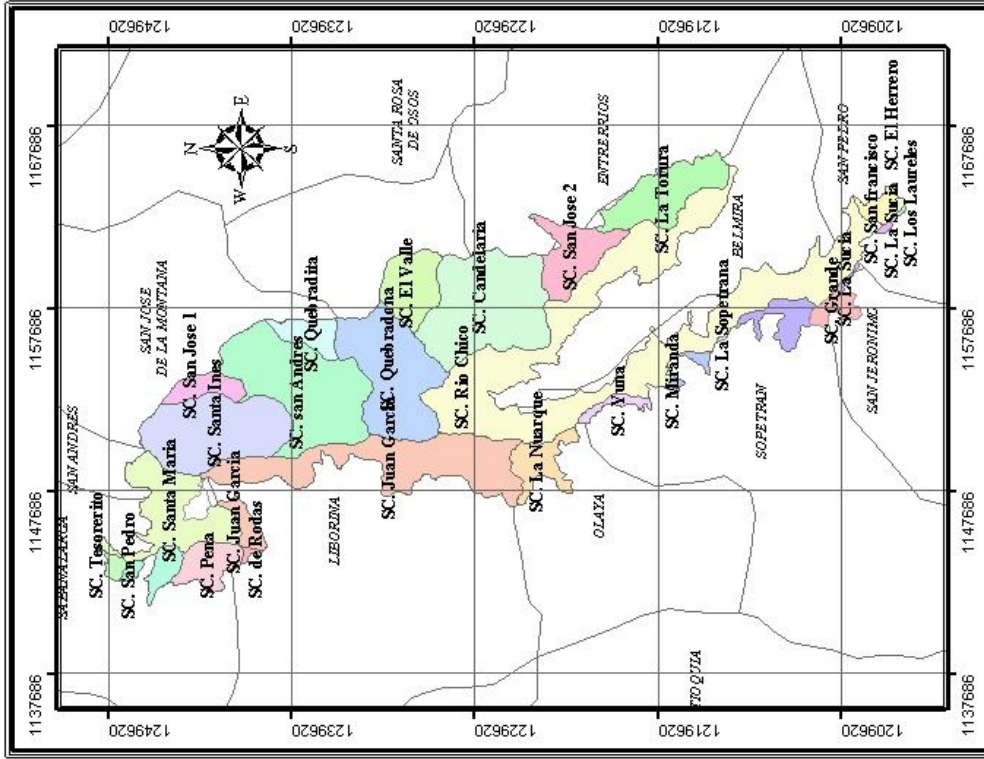
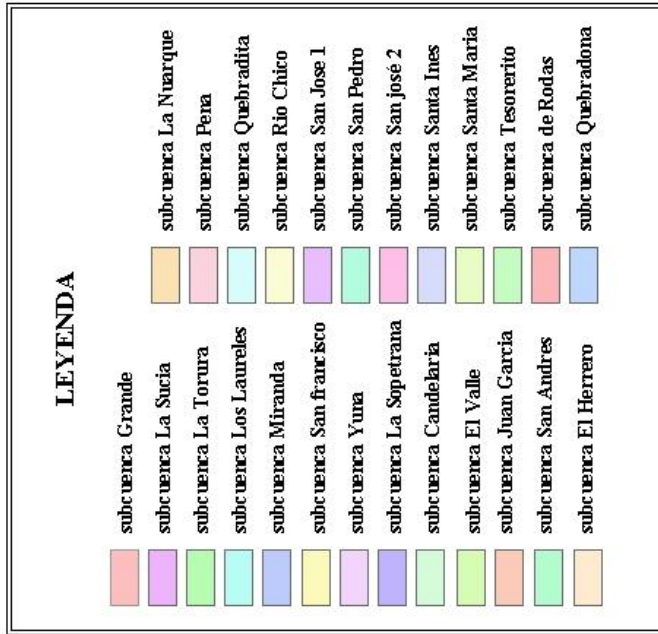
En el Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño se concentran los nacimientos de importantes fuentes de agua, las cuales se emplean en la prestación de servicios básicos de las poblaciones asentadas alrededor de estos sistemas y de grandes concentraciones de población ubicadas en la ciudad de Medellín, mediante el sistema de aprovechamiento múltiple de la cuenca de Río Grande, las cuales cada vez más, requieren de los servicios básicos por sus dinámicas de crecimiento.

El sistema hidrológico en los Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño, se divide en dos grandes cuencas: La del río Cauca y la cuenca de Río Grande. A su vez, para una mejor comprensión del territorio se pueden dividir en las subcuencas que se presentan en la Tabla 1. En el mapa que se presenta más adelante se puede apreciar el sistema hidrológico en los Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño.

Tabla 1. Sistema hidrológico en los Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño.

CUENCA	SUBCUENCA
RIO GRANDE	Río Chico Quebrada La Candelaria Quebrada Quebradona Quebrada San José Quebrada Torura Quebrada El Valle Quebrada San Francisco Quebrada El Herrero Quebrada Quebradita
RIO CAUCA	Río San Andrés Quebrada San Pedro Quebrada La Pená Quebrada Rodas Quebrada Juan García Quebrada Nuarque Quebrada Yuná Quebrada La Sopetrana Quebrada Grande Quebrada la Sucia Quebrada Miranda Quebrada Tesorerito Quebrada Santa María Quebrada los Laureles Quebrada Santa Inés Quebrada San José

**SUBCUENCAS DEL ÁREA DE MANEJO ESPECIAL
"Sistema de Páramos y Bosques
Altoandinos del Noroccidente medio Antioqueño"**



A continuación se presentan las principales características del Sistema Hidrológico de los Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño descritas por CORANTIOQUIA (1997):

CUENCA DEL RÍO GRANDE

Esta cuenca sirve como división político administrativa entre los municipios de San José de la Montaña y Entreríos con el municipio de Santa Rosa de Osos. Tiene una dirección aproximada norte - sur cambiando luego hacia el este en su parte baja en inmediaciones del casco urbano del municipio de Entreríos.

Tiene su nacimiento al Este del casco urbano del municipio de San José de la Montaña sobre la cota 2.600 m.s.n.m. contando con una extensión de 55,5 km aproximadamente. Esta cuenca posee numerosos afluentes siendo los más importantes los que se encuentran en su margen derecha como: el río Chico y las quebradas Quebradona y La Torura contando éstos con una densa red hidrológica.

La cuenca tiene forma oval - oblonga, con pendientes promedias entre el 12 y 25%, encontrándose entre las cotas 2.750 y 2.100 m.s.n.m.. En su parte alta las pendientes no sobrepasan el 40% predominando el rango de pendiente del 12 al 25%, caracterizado por un sistema colinado con predominio de usos del suelo en potreros y manchones de bosques donde se destaca el roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.). En su parte media y baja, la pendiente continúa en el rango entre 12 y el 25% haciéndose más plano hacia la parte baja, cerca de su descarga en el embalse. Los usos del suelo más dominantes son los potreros con pastos manejados y cultivos de tomate de árbol y papa. En su margen izquierda se ubican las áreas boscosas sobre las laderas de escarpe que se encumbran hacia la zona de páramos, y hacen parte de las zonas altas de las cuencas de las quebradas Quebradona y La Torura.

Por su topografía plana, los procesos erosivos en la cuenca no son fuertes, sin embargo existen focos muy localizados en la cuenca que por extracción de material particulado del lecho del río, ocasionan arrastre y sedimentación de material, enturbiando sus aguas.

Los sistemas de producción pecuarios han ocasionado un deterioro grande sobre las condiciones naturales de la cuenca. El proceso se inicia con un desmonte de las coberturas boscosas para expandir la frontera pecuaria y agrícola, mediante el sistema de tumba y quema, continuando con la adecuación

de los terrenos que presentan alto contenido de humedad mediante la práctica de zanjeo, disminuyendo la capacidad de retención del agua por el suelo, debido al desecamiento de los humedales y pantanos en zonas planas.

A continuación se describe las principales subcuencas de Río Grande:

Subcuenca del Río Chico

Nace en el alto Zulia sobre la cota 3.200 m.s.n.m., en límites con el municipio de Liborina, desembocando al embalse de Río Grande II después de un recorrido de 31,5 km aproximadamente en dirección Norte - Sur en su parte alta; luego cambia de dirección Noroeste - Sureste en la parte media y Oeste - Este en su parte baja. La subcuenca hasta límites con el Municipio de San Pedro, tiene un área aproximada de 140 km² siendo la principal arteria fluvial de la población de Belmira cuya cabecera municipal se encuentra en su margen derecha de su parte media, dividiendo en dos sectores casi iguales el territorio municipal.

En la parte alta sus pendientes se encuentran en el rango de 25 al 50%, en sus partes media y baja las pendientes oscilan entre 12 y 50% y en el valle aluvial predominan las pendientes que van de 0 a 12%. El río disecta la formación del altiplano conformando un valle plano rodeado en todo su recorrido por dos sistemas cordilleranos, ubicándose a la derecha el Alto de Sabanas y a la izquierda Alto La Serna, El Indio, Malvasá y al sur La Cuchilla de Montefrío.

En su parte alta el uso del suelo se encuentra en bosques con algunos potreros establecidos en laderas y en la parte media y baja, está ocupado por potreros con pastos manejados en las áreas más planas y manchones de bosques en las partes altas de los sistemas cordilleranos que se encuentra en los límites de la división de la cuenca.

“El área de la subcuenca del río Chico está ocupada por un 55% por potreros, donde la utilización de los agroquímicos se encuentra generalizada como práctica de manejo para aumentar la producción, situación que contribuye al deterioro de las fuentes de agua tanto en cantidad (disminución del caudal por tala del bosque para establecer potreros), como en su calidad (contaminación por agroquímicos),

lo que aumenta la susceptibilidad de contraer enfermedades tanto en la población humana como animal” (Plan de Desarrollo Municipio de Belmira 1993).

En toda la cuenca se ha venido implementando la truchicultura, tanto a nivel empresarial, como para autoconsumo. Además se realiza extracción de material de playa como una actividad marginal, pero que debe ser controlada por el gran deterioro que está ocasionando en los taludes y lecho del río.

La quebrada San Francisco abastece el sistema de acueducto del casco urbano del municipio de San Pedro de los Milagros abasteciendo aproximadamente a 2.000 suscriptores.

Subcuenca Quebrada Quebradona

Nace en la laguna del Morro (Alto El Páramo) en la cota 3.150 m.s.n.m. descargando sus aguas al Río Grande después de un recorrido de 21,25 km aproximadamente en dirección oeste - sureste atravesando la parte central del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos, en su parte alta. Ocupa terrenos quebrados con pendientes entre 50-75% en la parte alta y terrenos ondulados o quebrados con pendientes de 25-50% en la parte baja.

Tiene un área aproximada de 60,75 km² en la que el uso predominante es el de bosques naturales con algún grado de intervención en las partes altas y media y potreros con pastos manejados en la parte baja. La cuenca se puede considerar en buen estado de protección, sin embargo a su paso por la hacienda El Gómez hasta su desembocadura al Río Grande atraviesa potreros con la consecuente contaminación por agroquímicos y desechos orgánicos afectando la calidad de sus aguas. Al igual que el río Chico, esta subcuenca presenta condiciones óptimas para la cría de trucha Arco Iris y se extrae material de playa para la construcción y afirmado de vías.

Los principales afluentes son las quebradas: Montefrío, Quebraditas, El Gómez, Palenque, La Trinidad, San Pedro, Las Olivas, La Concha, Las Mercedes, El Retiro, El Reposo, El Valle, La Candelaria. Esta última es su mayor afluente, la cual nace en el alto de Sabanas en la cota 3.050 m.s.n.m. y en todo su recorrido constituye el límite entre los municipios de Belmira y Entreríos hasta la desembocadura en la Quebradona.

Subcuenca Quebrada La Candelaria.

Ésta quebrada es la división físico - geográfica que establece la jurisdicción de los municipios de Belmira y Entreríos. Tiene una longitud aproximada de 10,5 km en dirección noroeste- sureste. En la parte alta posee pendientes entre 25 al 50% y oeste - este en la parte media y baja con pendientes de 12 al 25%.

Esta microcuenca tiene asentamientos humanos dedicados a la ganadería lechera, posee zonas de pastos sin retiros en las orillas del cauce (los pastos llegan hasta los bordes o riberas), por lo que la desprotección en sus riberas de los valles es total (no existe sombrío), sin embargo, en las cabeceras existe una buena protección en especial en la cordillera del Zancudo, paraje Alto de Sabanas donde aún se conservan reductos de roble de tierra fría (*Quercus humboldtii* Bonpl.).

La calidad de las aguas es relativamente buena aunque las de uso doméstico llegan por vertimiento directo, su volumen no es significativo como factor contaminante, pero recibiendo una carga alta de contaminación por agroquímicos y materia orgánica de los riegos de porquinaza en los potreros de la parte baja.

Los principales afluentes son las quebradas El Popal, El Carmen, La Osa y Mora.

Subcuenca Quebrada San José

Nace en el Alto de Sabanas a 3.050 m.s.n.m., con un recorrido en dirección oeste - este de 10 km antes de desembocar al Río Grande, en el paraje El Botón. Sus pendientes son de 25 al 50% en su parte alta y de 12 al 25% en su parte media y baja, siendo su llanura aluvial plana (0 a 12%), con drenajes de bueno a moderado. Los suelos están dedicados a la ganadería de leche y en menor proporción con cultivos de papa, llegando a alcanzar los 2.800 m.s.n.m. En un gran porcentaje del cauce sus orillas carecen de protección vegetal, los pastos llegan hasta las orillas y se tiene la práctica cultural del “zanjeo” de las zonas pantanosas para aumentar las áreas de pastoreo al igual que en las cuencas del altiplano quedando pequeños reductos de bosque secundario que aún se conservan no obstante su intervención (Plan de Desarrollo municipio de Entreríos 1993).

La calidad de las aguas es relativamente buena con presencia de salmónidos como la trucha Bass, existiendo contaminación por el empleo de agroquímicos en el manejo de los pastos y el cultivo de la papa.

Subcuenca Quebrada La Torura

Nace en el paraje La Cuchilla del Zancudo al Sur del Alto de Sabanas en la cota 2.800 m.s.n.m. con un recorrido de 11,5 km aproximadamente en dirección oeste - este. Esta microcuenca conformada por la quebrada de su mismo nombre y sus afluentes; es el eje geográfico del municipio de Entreríos pasando por el lado izquierdo de su casco urbano a la cual convergen otras quebradas de gran importancia como la Zancuda, la Maya, la Sierra, el Común, la Montañita, la Tolda, el Roblal, la Vega, El Cuevero, Potrerito y la Burra.

En general la subcuenca la conforman pequeños valles de topografía ondulada con pendientes entre 12 al 25%, algunos son estribaciones de la cordillera del Zancudo que presentan pendientes entre el 25 y 50%, suelos de influencia aluvial y coluvial donde predomina el uso en potreros con pastos mejorados, y de gramas naturales, cultivos de tomate de árbol y papa en menor escala.

Las áreas boscosas se ubican en las partes altas de la cuenca y sus afluentes, con presencia de algunos manchones de bosques en la parte media y predominio de potreros en las partes media y baja con total desprotección de las riberas de las quebradas, por lo que recibe una gran carga de agroquímicos utilizados en la producción agropecuaria y la descarga de las aguas negras al cruzar la zona urbana donde recibe además escombros y basuras.

“Uno de los mayores problemas que presenta la cuenca de La Torura consiste en la contaminación por agroquímicos de sus aguas; debido al alto consumo de plaguicidas y fungicidas de toxicidad uno. Las aguas presentan un alto grado de contaminación; ya que se encuentran establecidos muchos cultivos y porquerizas en las partes altas de las cuencas, en los cuales se utilizan en forma indiscriminada y sin una adecuada disposición final de los envases de todos estos productos” (Plan de Desarrollo Municipio de Entreríos 1993).

CUENCA DEL RÍO CAUCA

Esta cuenca está conformada por las subcuencas que nacen en El Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño y descargan sus aguas al río Cauca comprendiendo un trayecto que va desde la desembocadura de la quebrada La Sopetrana hasta la del río San Andrés al norte del sistema, comprendiendo las zonas orientales del territorio de los municipios de San Jerónimo, Sopetrán, Olaya, Liborina y Sabanalarga que corresponde a las veredas de climas más fríos y con mayor precipitación.

El territorio de la cuenca se caracteriza por estar ubicado en una topografía muy quebrada de pendientes largas y fuertes, suelos con baja fertilidad natural y precipitaciones promedios año de 2.400 mm que disminuyen gradualmente a medida que se desciende hacia el río Cauca.

Las poblaciones asentadas en la zona de influencia, ubicadas en las partes altas, se dedican a la producción de leche y en las partes media y baja, por fuera del sistema, tienen como actividad principal el cultivo de café asociado con plátano y otros cultivos de pancoger con problemas de rendimiento por las limitantes de las condiciones naturales para la producción agrícola y pecuaria.

En general todas las subcuencas de este sistema tienen dirección Noreste - Suroeste excepto la subcuenca del río San Andrés, que corre en dirección Sur - Noreste, con las mismas condiciones de topografía para la parte media y baja. Por el alto deterioro de las condiciones naturales de esta zona, la problemática ambiental es muy aguda ocasionando problemas sociales por la alta demanda de agua en épocas de verano y aún en épocas de invierno, donde la fragmentación de la propiedad, el asentamiento de la actividad y la industria del turismo y la poca planificación, han venido generando una mayor demanda de agua en la zona con consecuencias graves para las poblaciones locales.

Las subcuencas más importantes son:

Subcuenca Río San Andrés

Se origina con la unión de cuatro quebradas: Mora, Cimbra, Vargas y El Muerto, las cuales nacen en el paraje Alto de Mora a una altura de 3.100 m.s.n.m. En su parte alta tiene dirección suroeste - noreste

con predominio de pendientes en el rango de 12 al 25% y en su parte media y baja tomando rumbo Sur - Norte encañonándose donde predominan pendientes entre 50 y 75 %, llegando en ocasiones a superar el 75%.

Es la fuente principal que cruza el territorio del municipio de San José de la Montaña en sentido sur - norte captando las aguas de las principales cuencas de este municipio como son la quebrada Santa Inés, la quebrada San Pedro y sus afluentes, que recorre el municipio por su costado oriental convirtiéndose además en límite político con el municipio de Santa Rosa y la quebrada San José, que atraviesa el municipio en su parte central; ésta adquiere importancia no sólo por el hecho de cruzar la cabecera municipal, sino también por contener las microcuencas del Guayabo, el Corazón (anterior fuente del acueducto municipal) y la microcuenca de la quebrada Montenegro, que es la que actualmente surte el acueducto municipal.

Los usos de los suelos de la subcuenca están directamente relacionados con la fisiografía del terreno en su recorrido ya que su parte alta está ubicada en la zona de Páramo y subpáramo donde las coberturas boscosas la constituyen bosques ralos o enanos característicos de subpáramo, bosques intervenidos, rastrojos altos y parches de bosque de roble en medio de potreros en gramas naturales. La parte media se encuentra en la formación del altiplano de Santa Rosa de Osos presentando cañones pocos profundos y abiertos en dirección sur - norte de las quebradas Santa Inés, San José y San Pedro y el río San Andrés separados por cinturones de cordilleras en la misma dirección, donde predominan los potreros manejados con presencia de manchones de bosques de roble en las zonas altas de las colinas.

La parte baja la conforma un cañón en donde ya se han unido las quebradas al río San Andrés con pendientes fuertes donde el predominio del uso del suelo son los potreros sobre gramas naturales y cultivos de café y caña panelera.

“Las condiciones en que se encuentra los caños y cañadas en términos generales son buenos, sin embargo, se dan diversos factores que alteran su estado natural como el uso de insecticidas muy cerca de las fuentes de agua (Paratión) como medida de control de malezas, la tala de los bosques, explotación inadecuada de la pesca y descarga de aguas negras, que si desde hoy no se controlan efectivamente, en un futuro no muy lejano, podría presentar sus primeras secuelas. Por fortuna ya se ha comenzado a tomar algunas medidas a favor del medio natural como lo es el acuerdo No. 019 por

medio del cual se fijan normas sobre la protección de los recursos naturales renovables del municipio de San José de la Montaña” (Plan de Desarrollo Municipio de San José de la Montaña 1995).

Subcuenca Quebrada San Pedro

Nace al norte del paraje conocido como Alto El Volador sobre la cota 2.800 m.s.n.m. cruzando territorio del municipio de Sabanalarga en dirección este - oeste por un cañón estrecho desembocando a la quebrada Niquía la que descarga sus aguas al río Cauca, caracterizándose esta cuenca por su topografía abrupta en todo su recorrido.

En la parte alta tiene una dirección sureste - noroeste con pendientes mayores al 75%, en la parte baja las pendientes son menos fuertes pasando al rango de 25 al 50% y en algunos tramos de 50 al 75%. Los usos del suelo están predominados por potreros con ganadería extensiva, con grandes limitantes por las fuertes pendientes y la baja fertilidad natural de los suelos ubicado en la parte media y baja de la cuenca. En la parte media se encuentran algunos cultivos de café y caña panelera.

La única vegetación protectora se ubica en las partes altas de la cuenca representada por rastrojos altos y algunos parches de bosques intervenidos ubicados en los nacimientos de los afluentes. Se presentan problemas de contaminación de las aguas por el beneficio del café al verter las pulpas fermentadas a su cauce y por la mala disposición de desechos sólidos recibiendo toda la descarga de aguas negras del casco urbano al pasar por su extremo izquierdo.

Subcuenca Quebrada La Pená

Nace en el Alto El Volador sobre la cota 3.000 m.s.n.m. conformando su cauce principal las quebradas La Linda y La Soledad, atravesando el municipio de Sabanalarga en dirección este - oeste para desembocar en el río Cauca.

Al Igual que la cuenca de San Pedro esta se caracteriza por tener una topografía con pendientes largas y fuertes donde su cauce corre por el fondo de un cañón en forma de "V" medianamente profundo. En su parte alta y media tiene dirección sureste - noroeste con pendientes mayores del 75% tomando dirección este - oeste en la parte baja con pendientes en el rango 50 al 75%.

Los usos del suelo predominantes son los potreros sobre gramas naturales ocupadas en ganadería extensiva, con algunos parches de pastos manejados en la parte alta. En la parte media se encuentran cultivos de café asociado con plátano y algunos cañaduzales, se dan también cultivos en menor escala de fríjol y maíz utilizados para autoconsumo. La vegetación protectora se ubica en los nacimientos de la quebrada compuesta por rastrojos altos y bajos.

De su afluente, quebrada La Soledad, se toma el agua que abastecerá el acueducto municipal en construcción.

Los problemas ambientales de la cuenca son similares a la cuenca de San Pedro, presentando además una disminución drástica de su caudal en épocas de verano por su alto grado de desprotección aumentando los fenómenos de evaporación de las aguas y filtración en su propio cauce en la parte baja.

Subcuenca Quebrada La Honda

Nace al occidente del Alto El Volador a una altura de 2.900 m.s.n.m. tomada como referente geográfico para la división entre los municipios de Liborina y Sabanalarga con dirección en todo su recorrido este - oeste, cruzando al norte del casco urbano del corregimiento de La Honda antes de desembocar al río Cauca.

En su parte alta presenta pendientes mayores al 75% formando un cañón en “V” medianamente profundo, su parte media y baja presenta pendientes en el rango de 50 al 75% y algunos trayectos de 25 al 50%. Su uso del suelo predominante son los potreros en gramas naturales ubicados en las partes bajas y media de la cuenca, en la parte media se encuentran algunos cultivos de café y caña, la vegetación protectora es muy poca ubicándose en la parte alta de la cuenca representada por un manchón de rastrojo alto que sube hasta la cuchilla del sistema cordillerano del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos.

Subcuenca Quebrada Rodas

Nace al suroeste del paraje conocido como Alto El Volador a una altura sobre la cota 3.000 m.s.n.m. cruzando territorio del municipio de Liborina en sentido este - oeste antes de desembocar en el río Cauca.

En su parte alta la dirección es noreste - suroeste con pendientes mayores al 75% y de forma encañonada, con una densa red de pequeños afluentes que en su mayoría no son aguas permanentes; en la zona media el cauce gira alrededor del cerro el Chocho para coger en dirección este - oeste, con pendientes en el rango de 50 al 75% sobre un estrecho cañón medianamente profundo.

Subcuenca Quebrada Juan García

Nace al norte del Alto de Mora sobre los 3.100 m.s.n.m. en territorio del municipio de Liborina con límites con el municipio de San José de la Montaña, recorriendo el territorio del primero, en forma diagonal con dirección muy definida noreste - suroeste formando un eje que recoge la mayoría de los cauces de éste municipio, hasta desembocar en el río Cauca, pasando antes por un lado del casco urbano.

La topografía en general de la cuenca, está conformada por pendientes largas y pronunciadas, cuyo rango de pendientes son superiores al 75% en la parte alta, entre 50 y 75% en la parte media y del 12 al 25% en su parte baja; observándose valles aluviales de poca amplitud antes de descargar sus aguas al Cauca.

Los usos predominantes del suelo en la parte alta, son potreros en gramas naturales y algunos manejados y cultivos de papa y hortalizas para autoconsumo. La vegetación protectora la componen rastrojos altos y algunos manchones de bosques intervenidos, que se ubican en las cañadas de los afluentes de la cuenca. En su parte media el uso predominante del suelo es el cultivo de café asociado con banano, registrándose además, cultivos de caña, plátano, fríjol, maíz y frutales en menor proporción.

La vegetación protectora es escasa, presentándose en algunas cañadas la que está compuesta por rastrojo bajo y potreros enmalezados. En la parte baja predominan los potreros no manejados utilizados para ganadería de doble propósito sobre gramas naturales y frutales que se dan en forma silvestre.

El deterioro de las condiciones ambientales de la cuenca, aumentan a medida que se desciende desde sus cabeceras, debido básicamente a los usos inadecuados de los suelos, las actividades frecuentes de quemas, las descargas de residuos sólidos y líquidos de las viviendas y el mal manejo de los desechos de la producción del café, empeorando aún más esta situación, al pasar por los corregimientos de La Merced del Playón, San Diego y la cabecera municipal, donde recibe las aguas negras de éstos poblados al igual que la del corregimiento del Carmen de la Venta a través de la quebrada La Porquera.

“Actualmente la cuenca se encuentra muy degradada lo que ha ocasionado una pérdida notable de su caudal, así como una disminución de la profundidad de su lecho por sedimentación de su cauce; antiguamente y antes de que éste proceso de degradación fuera tan severo, la quebrada Juan García era una importante y renombrado afluente del río Cauca por su profundidad y excelente caudal, produciendo torrentes rápidos y avenidas fuertes llegando a vencer las corrientes del río Cauca en su desembocadura” (Programa Agropecuario Municipio de Liborina 1997).

Subcuenca Quebrada La Nuarque

Nace en la cuchilla de Belmira al norte del paraje conocido como alto El Indio en la cota 3.100 m.s.n.m. con dirección noreste - suroeste en su parte alta y pendientes en el rango de 50 al 75%, cambiando luego al rumbo norte - sur en la parte media, con iguales pendientes y terminando con dirección oeste - este en su parte baja, con pendientes en el rango de 25 al 50%, con presencia de valles aluviales estrechos de pendientes menos fuertes.

Su longitud de 12,5 km es divisoria político administrativa entre los municipios de Olaya y Sopetrán, siendo esta cuenca la más importante por su extensión y área del municipio de Olaya. Sus condiciones de uso del suelo son similares a la cuenca de la Juan García, presentando mayores coberturas boscosas en la parte alta, debido a las condiciones de pendientes de fuertes a escarpadas, que no han permitido el

establecimiento de actividades económicas agrarias, pero que viene sufriendo una alta presión por parte de aserradores.

En la parte media se encuentra establecida la actividad económica, basada en el cultivo de café en asocio con el plátano y cultivos de pancoger de yuca, frijol, maíz y algunos frutales, con problemas de pérdida de suelos y de inestabilidad de estos, siendo comunes procesos de erosión remontante en algunas quebradas. La vegetación protectora es casi nula, reduciéndose a pequeños manchones de rastrojos bajos al borde de algunas quebradas. En la parte baja el uso predominante es la ganadería extensiva con grandes limitantes por las condiciones de alto deterioro de los suelos que se encuentran en procesos de desertificación.

Los principales afluentes de la cuenca La Nuarque son las quebradas: Cestiarco, La Trampa, Montirés, La Gómez, Guamal, Yarumalito y La Porquera. A pesar de poseer este número de afluentes, en época de verano pierde su caudal hasta el desecamiento total de su cauce, por causa del alto deterioro en un gran porcentaje de su área, debido a las desviaciones de un buen porcentaje de su cauce para abastecer centros recreacionales o parcelaciones, una alta evaporación del agua por falta de protección vegetal y la infiltración del agua en su propio cauce, ocasionando la muerte total de la ictiofauna que aún queda y que se ha ido perdiendo hasta casi su extinción total.

La quebrada Trampa, abastece el acueducto del corregimiento de Llanadas y el sistema de riego de la vereda Piñones abastecido por la Nuarque.

Subcuenca Quebrada La Yuná

Nace en el paraje conocido como Alto El Indio en límites de los municipios de Belmira y Sopetrán, sobre la cota 2.850 m.s.n.m. con una longitud de 15,5 km aproximadamente en dirección noreste - suroeste en su parte alta y media, y predominio de pendientes entre los rangos de 50 a 75%, cambiando de rumbo en su parte baja este - oeste con pendientes entre 25 y 50%, para desembocar en el río Cauca.

El uso predominante de los suelos son potreros sobre gramas naturales; en la parte media se ubican cultivos de café en asocio con plátano y cultivos de frijón, maíz y yuca para autoconsumo. La vegetación protectora compuesta por rastrojos altos y algunos manchones de bosques intervenidos es

escasa, presentándose únicamente en los nacimientos de la Yuná y la parte alta de la quebrada Cestiarco, afluente de ésta.

Los afluentes más importantes son las quebradas: Santa Bárbara, Juanjúe, El Mono, La Pená, La Vita, Periticuá, San Antonio y Los Pantanos. Las condiciones ambientales de la cuenca son precarias debido al alto grado de deterioro ocasionado por la escasa vegetación protectora, uso inadecuado de los suelos, alta contaminación de las fuentes de agua por residuos sólidos y líquidos y desechos del beneficio del café.

Las anteriores condiciones sumadas a la captación sin planeación, de un gran porcentaje del cauce de la quebrada para las parcelaciones, la alta evaporación y filtración de las aguas, han causado alta contaminación de las fuentes y pérdida total del cauce de la cuenca en las partes bajas en épocas de verano.

Subcuenca Quebrada La Mirandita

Formada por las quebradas Bocanegra y Yerbabuena que nace en la cuchilla de Montefrío en la cota 2.750 m.s.n.m. en límites entre los municipios de Belmira y Sopetrán, recorriendo 10,5 km en éste último municipio en dirección noreste - suroeste, pasando por un lado del casco urbano antes de descargar sus aguas en la quebrada La Sopetrana.

En la parte alta y media de la cuenca las pendientes se encuentran en el rango de 50 al 75% y en la parte baja en el rango de 25 al 50%, con usos del suelo de iguales características que la cuenca de la quebrada La Yuná, caracterizándose por la producción de frutales pero contando con menor área en vegetación protectora, la cual está compuesta por algunos manchones de rastrojo alto en su nacimiento y de rastrojos bajos y pastos enmalezados en las zonas escarpadas de su cauce.

Sus afluentes más importantes son: La Pulgarina, La Honda, Guatadó y Potreros, presentando problemas de erosión en sus laderas, visible desestabilización de los suelos y contaminación de sus aguas con idénticas características que la cuenca anterior.

Subcuenca Quebrada La Sopetrana

Está formada por las quebradas La Cosme y La Yarumalito las que nacen en la cuchilla de Montefrío en límites de los municipios de Belmira y Sopetrán, sobre la cota 2.900 m.s.n.m. con un recorrido de aproximadamente 17 km en dirección noreste - suroeste. En la parte alta y media presentando pendientes en el rango de 50 al 75%, cambiando su dirección a sureste - noroeste en la parte baja con predominio de pendientes en el rango de 12 al 25%, pasando por un lado del casco urbano del municipio de Sopetrán siendo la cuenca más importante de éste municipio por su área y longitud además de que abastece de agua al casco urbano y sectores aledaños como El Rodeo, Llano de Montaña y Otrabanda y gran parte de la infraestructura turística cerca de la cabecera municipal. En las partes altas abastece los acueductos de las veredas Guayabal, Alta Miranda, Miranda Morrón y los corregimientos de Córdoba y Montegrande, además de un sistema de riego y abastos individuales.

Sus afluentes más importantes son las quebradas: Ventarrón, Purgatorio, Guataquí, La Miranda, La Honda, El Algodonal, El Rayo y La Mirandita. Los usos del suelo guardan el mismo patrón que las cuencas anteriores de la zona Occidente, siendo más extensas las áreas en cultivo de café en asocio con plátano. La vegetación protectora también es muy poca, encontrándose básicamente en los nacimientos, compuesta por pequeños manchones de bosques muy intervenidos y parches de rastrojo bajo y pastos enmalezados en algunos trayectos de la cuenca.

Las condiciones ambientales en la cuenca están altamente deterioradas, por las causas expuestas para las otras cuencas, haciéndose muy visible los problemas de desestabilización de los taludes en algunas quebradas y problemas de erosión por desvío de parte de su cauce, para abastecer parcelaciones o centros de recreacionales, trayendo con siglo además una problemática social bastante aguda.

Debido a esta problemática la administración municipal y CORANTIOQUIA han venido trabajando en planes de ordenamiento y manejo en esta cuenca, en la que se espera aumentar las coberturas boscosas en las partes altas y reglamentar el uso del agua, con el fin de que no desaparezca su cauce en las partes bajas.

Subcuenca Quebrada Grande

Nace al occidente de Montefrío sobre la cota 2.900 m.s.n.m. en el municipio de San Jerónimo con límites con el municipio de Belmira, recorriendo éste último en dirección noreste - suroeste en 10,5 km aproximadamente, antes de desembocar al río Aurrá. Sus pendientes en la parte alta y media se encuentran en el rango de 50 al 75%, con usos del suelo predominados por potreros en gramas naturales, utilizados para mantener una ganadería extensiva, con un impacto grande sobre los suelos. Se observa además, algunos cultivos de café, frutales en forma silvestre y cultivos de subsistencia de frijol, maíz y hortalizas. En la parte baja predominan las pendientes entre el rango de 25 al 75% cuyos usos del suelo en general se encuentra en potreros sobre gramas naturales y algunos frutales.

Las coberturas vegetales protectoras se encuentran en las cabeceras de la quebrada, compuestas por pequeños manchones de bosques intervenidos y rastrojos altos y algunos parches de rastrojos bajos y potreros enmalezados en la parte alta de la cuenca.

Los afluentes más importantes son las quebradas: Los Espejos, Las Bóvedas, La Quincha y La Marucha. La problemática ambiental de la cuenca es similar a las de las cuencas de occidente antes mencionadas.

A nivel rural, la problemática ambiental se hace cada día más crítica, por las prácticas inadecuadas sobre los suelos, como son la tala y quema de bosques para aumentar la frontera agrícola, el uso del azadón en las prácticas de manejo de los diferentes cultivos, que sumada a las altas pendientes existentes, aumentan el grado de erosión.

La falta de conciencia y educación en la población, relacionado con el manejo y conservación de los recursos naturales, ha venido deteriorando las condiciones de la zona. Las prácticas como la mala disposición final de basuras y desechos sólidos de residuos de cosechas, el uso irracional de agroquímicos que en última instancia están contaminando en alto grado las reservas de agua; el turismo y la proliferación de fincas de veraneo, que por el uso de productos químicos para realizar tratamiento al agua de las piscinas, están contaminando las fuentes de agua, al verter éstas a los diferentes cauces sin previo tratamiento de descontaminación, son causas del alto deterioro.

METODOLOGÍA

Para la realización del presente estudio, se siguió la siguiente metodología:

- Revisión de literatura.
- Visitas de campo preliminar con el objetivo de obtener una visión general de las características biofísicas del sistema y de su entorno.
- Consulta de cartografía general del IGAC escala 1:25.000, planchas: 115-III-D, 115-IV-C, 130-I-B, 130-I-D, 130-IV-C, 130-II-A, 130-II-C, 130-IV-A y escala 1:100.000 planchas: 116-Yarumal, 131 Santa Rosa de Osos, 130-Santafé de Antioquia, 115-Toledo.
- Consulta de cartografía básica y temática del Área de Manejo Especial “Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño”, en formato digital y en papel.
- Delimitación de las subcuencas que hacen parte del área de estudio.
- Obtención de información climatológica e hidrológica de la zona.
- Determinación del área, la temperatura y la precipitación correspondiente a cada subcuenca.
- Estimación de la oferta ambiental del recurso hídrico del área de estudio.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS

Para determinar el ciclo anual de la temperatura, la precipitación, la humedad relativa del aire, los vientos y otros factores medidos directamente con los instrumentos de una estación meteorológica completa, es suficiente un simple análisis estadístico acompañado de gráficos y tablas de las medias y sus desviaciones. Pero, al contrario, el análisis del balance hídrico, tan importante en estas investigaciones, no se puede hacer fácil ni directamente. La transpiración es muy difícil de medir, y

aparentemente los datos obtenidos con evaporímetros o con lisímetros, instalados de la manera corriente, no son una medida comparable de la evaporación ni de la transpiración real del ecosistema natural. Además, la evapotranspiración y el escurrimiento dependen, localmente, del carácter del suelo, las condiciones de relieve y exposición, y la vegetación (Ewel & Madriz 1968).

Un método para estimar la evapotranspiración, basado en fórmulas empíricas, ha sido propuesto por Thornthwaite (citado por Ewel & Madriz 1968). Este método emplea la temperatura media mensual para calcular la evapotranspiración. Tiene el defecto de no destacar las temperaturas negativas en el cálculo, y se confunde la evapotranspiración potencial hipotética con la evapotranspiración que es potencialmente realizable con base de la vegetación natural adaptada al clima.

La innovación más perceptiva y útil incorporada en el sistema climatológico de Thornthwaite es un modo de tabulación, que relaciona la precipitación mensual con la evapotranspiración potencial, basada en la temperatura media mensual, a través del año. Mediante el uso de esta simple tabulación, de suma y resta, se calcula la cantidad de agua en el suelo, el escurrimiento y la deficiencia o exceso de humedad durante el curso del año promedio para cualquier estación que tiene datos de temperatura y precipitación (Ewel & Madriz 1968).

Si se aprovecha el sistema de contabilidad por meses del balance hídrico propuesto por Thornthwaite, con ciertas modificaciones, y si se utiliza las formulas derivadas por Holdridge para el cálculo de la evapotranspiración potencial a base de la biotemperatura media mensual, es posible llegar a una aproximación más realista del balance hídrico durante el año promedio o para cualquier año o parte de año específico para el cual existen datos de temperatura y precipitación (Ewel & Madriz 1968).

El método basado en esta idea es el que se utiliza en el presente estudio para la estimación de los caudales medios, este recibe el nombre de *“procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge”*.

La temperatura del aire o el calor cercano a la superficie de la tierra, es de suma importancia en la regulación de los procesos vitales de todos los organismos y en especial de las plantas. En la clasificación de Holdridge, la temperatura se calcula como “biotemperatura” (media diaria, media mensual o media anual, según la fórmula que se aplique). La biotemperatura se entiende como el

promedio de las temperaturas sobre 0 °C (medidas por el sistema corriente usado en la meteorología) durante el tiempo total en consideración. Idealmente sería calculada con base a las temperaturas horarias del día, sumando todas las temperaturas mayores de 0 °C y dividiendo el total entre 24; pero una exactitud tan alta es raramente posible obtener, debido a la manera de registrar los datos de temperatura en la mayoría de las estaciones meteorológicas.

Un método más factible y sumamente aceptable es sumar las máximas medidas y mínimas medidas del día, semana o mes, considerando cualquier valor negativo como 0 °C y dividiendo el total entre 2. Cuando se puede obtener datos diarios por un periodo largo para una estación, la biotemperatura media anual que se aplique al “diagrama para la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo por: L. R. Holdridge” se calcula sumando las biotemperaturas medias diarias y dividiendo la suma entre 365,25. Un valor menos exacto, pero satisfactorio, se deriva sumando las temperaturas medias mensuales sobre 0 °C y dividiendo el total entre 12.

La biotemperatura, calculada así, es la medida más apropiada del factor calórico con respecto a la vegetación. Expresada ésta como una medida anual, provee una comparación relativa directa entre la eficiencia térmica en lugares con distinta duración del período térmico de crecimiento vegetal. La biotemperatura refleja las temperaturas que determinan la tasa de evaporación directa del agua del suelo y de la vegetación, e igualmente, el ritmo y volumen de los procesos fisiológicos de las plantas, como fotosíntesis, la respiración y la transpiración (Ewel & Madriz 1968).

Mientras más baja sea la temperatura, serán más reducidos todos estos procesos y se suspenderán completamente cuando la temperatura sea de, o inferior a, 0 °C. Así, son las temperaturas medias positivas de cada día y su distribución a través del año, las que tienen significado ecológico; las temperaturas medias negativas que se alcanzan tienen poca o ninguna importancia para las especies naturales de un lugar (Ewel & Madriz 1968).

Las investigaciones actualmente en progreso indican que las temperaturas por encima de unos 30 °C, tienden a aumentar la respiración con respecto a la fotosíntesis, en tal grado que la tasa de crecimiento es nula o aún negativa. Esto se debería a que durante tales períodos cálidos, la mayoría de las plantas cierran sus estomas como medida protectora contra su propia desecación, suspendiendo así la transpiración y bajando considerablemente la tasa de fotosíntesis (Ewel & Madriz 1968).

La precipitación es el segundo de los parámetros que entran en la determinación de las zonas de vida en la clasificación natural bioclimática de Holdridge. La precipitación se mide como el promedio anual de agua que cae de la atmósfera en forma de lluvia, nieve, granizo o cellisca. El agua que se condensa directamente en la vegetación en forma de rocío, o que proviene de la niebla y gotea después al suelo, no se incluye en el total de la precipitación, la razón de la exclusión de esta agua de la precipitación total es la de que las estaciones meteorológicas corrientes no incluyen tal agua en sus registros, pues la precipitación corresponde al agua recogida en un recipiente puesto encima del suelo en un espacio abierto libre de vegetación superior (Holdridge, citado por Ewel & Madriz 1968).

Para calcular el promedio de precipitación total anual de una estación, es necesario tomar el promedio de los totales de una serie larga de años. Se ha calculado que una serie de 35 años o más daría un promedio muy exacto. Sin embargo, con solo 10 años seguidos de datos fidedignos, se puede obtener un promedio que estaría entre el 10% del promedio verdadero, excepto en regiones muy áridas donde la variación entre años puede exceder varias veces los totales anuales promedios (Ewel & Madriz 1968).

La evapotranspiración potencial representa los procesos combinados de evaporación directa del suelo y otras superficies y la transpiración, o devolución del agua del suelo a la atmósfera mediante los tejidos de las plantas que constituyen la vegetación. En esencia, la evapotranspiración es una función directa del balance positivo de energía calórica, o biotemperatura. Siendo constantes los otros factores del medio ambiente, entre más alta sea la biotemperatura, mayor será la tasa de evapotranspiración, si el suelo dispone de agua (Ewel & Madriz 1968).

En la Tabla 2 se presenta el método empleado para estimar los caudales medios mensuales y anuales de las subcuencas que forman parte del área de estudio, dicho método recibe el nombre de "*Procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge*". Para cada subcuenca se debe realizar dicho procedimiento.

Tabla 2. Procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge.

VARIABLES		ENERO	FEBRERO	MARZO	...DICIEMBRE	AÑO
1	Biotemperatura (°C)					
2	Evapotranspiración potencial (mm)					
3	Precipitación (mm)					
4	Evapotranspiración real (mm)					
5	Exceso de agua (mm)					
6	Recarga de agua del suelo (mm)					
7	Reducción de agua del suelo (mm)					
8	Humedad en el suelo al final del mes (mm)					
9	Escorrentía total (mm)					
10	Déficit de humedad del suelo al final del mes (mm)					
11	Déficit de precipitación al final del mes (mm)					
12	Déficit de humedad total (mm)					

Dónde:

ITEM 1: Datos obtenidos a partir de estaciones climatológicas.

ITEM 2: Se calculan como $T^{\circ}\text{bio} * K$, donde $K = 5$ para meses de 31 días, $K = 4,84$ para meses de 30 días, y $K = 4,52$ para febrero.

ITEM 3: Datos obtenidos a partir de estaciones climatológicas.

ITEM 4: Primero se calculan los items 5 y 11. Se exploran los meses contiguos en que el exceso de agua (item 5) acumulado sume la máxima capacidad de almacenamiento de agua en los suelos. Esta capacidad máxima de almacenamiento se considera igual al 10% de la precipitación total anual para las zonas de vida de los pisos basal Tropical y Premontano, del 7,5% para las del piso Montano Bajo, y del

5% para las del piso Montano. Los cálculos se inician en el mes siguiente al que la suma da igual o superior a la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo y se registra en el ítem 8 (el suelo termina el mes a su capacidad de campo). Luego para ese mes, la evapotranspiración real (ítem 4) es igual a la evapotranspiración potencial (ítem 2), y el exceso de agua (ítem 5) ya calculado es igual a la escurrentía total (ítem 9). El cálculo se repite para cada mes subsiguiente en el que la precipitación sea igual o exceda a la evapotranspiración potencial; durante estos meses, la humedad del suelo permanece a capacidad de campo y todos los excedentes sobre la evapotranspiración real constituyen escurrentía. En los meses en que la precipitación sea menor que la evapotranspiración potencial, se asume que toda la precipitación constituye evapotranspiración. El agua que se requiere para completar la evapotranspiración real se toma del agua disponible en el suelo y se anota en la casilla del ítem 7 (reducción de agua del suelo); para esto se asume que (1) el 30% de la capacidad máxima de almacenamiento de agua del suelo se evacúa (hasta llegar al 70% de esa capacidad máxima), y (2) del 70% restante, que es la reserva actual del suelo, solo se evapotranspira hasta la mitad. (Continuar con el ítem 6).

ITEM 5: Precipitación (ítem 3) menos evapotranspiración potencial (ítem 2), para todos aquellos meses en que la precipitación exceda a la evapotranspiración potencial.

ITEM 6: (Viene del ítem 4). En el primer mes en que la precipitación exceda la evapotranspiración potencial, empatando de diciembre a enero si se hace necesario, el exceso de agua se usa primero para recargar el agua del suelo (que obviamente es menor que la capacidad de campo). Habrá agua para escurrentía sólo si el suelo se completa a capacidad de campo, lo cual puede requerir desde uno hasta varios meses. El balance de humedad en el suelo se computa para cada mes (ítem 8) y déficit de humedad del suelo al final del mes, si lo hubiere, como ítem 10.

ITEM 11: Precipitación (ítem 3) menos evapotranspiración potencial (ítem 2), para todos aquellos meses en que la precipitación sea menor a la evapotranspiración potencial.

ITEM 12: Es la suma de los ítems 10 y 11, e indica la cantidad de precipitación que se requiere para recargar la reserva de humedad del suelo y para completar la demanda total de evapotranspiración.

COMPROBACIÓN FINAL: La sumatoria de los 12 valores de evapotranspiración real, más la sumatoria de los 12 valores de escurrentía, debe ser igual a la precipitación total anual.

La escorrentía total (mm) (Item 9), se convierte en caudal (m^3/s) correspondiente a cada mes, al pasar los milímetros (mm) a metros, éstos a su vez se multiplican por el área (m^2) correspondiente a cada subcuenca obteniéndose un caudal mensual (m^3/mes), luego se divide este último caudal por el siguiente resultado:

$(60 \text{ segundos}) * (60 \text{ minutos}) * (24 \text{ horas}) * (\text{número de días que tiene cada mes})$, obteniéndose finalmente el caudal por segundo (m^3/s) correspondiente a cada subcuenca y a cada mes.

El método “Procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge” con el cual se estiman los caudales medios mensuales, no tiene en cuenta el rezago en la relación precipitación-escorrentía, considerando un rezago de “0” en sus cálculos, por lo cual se debe hacer una corrección a la escorrentía total. En este estudio se emplearon los registros de caudales medios mensuales de 19 años del Río Chico, estación RG-10 “La Ye”, para elaborar una gráfica con los porcentajes resultantes al dividir los caudales mensuales con respecto al caudal total anual en el eje “Y” y los meses del año en el eje “X”, luego se graficó sobre ella los porcentajes resultantes al dividir los caudales mensuales corregidos por rezago con respecto al caudal total anual corregido por rezago de cada subcuenca, el rezago se determinó para cuatro meses contiguos, ésta corrección se hizo variando los porcentajes de rezago, hasta que la suma de los cuadrados del error, al comparar los valores de las dos gráficas, fuera lo más pequeña posible y la gráfica correspondiente de cada subcuenca presentara un comportamiento lo más similar posible al presentado por la gráfica de los registros de la estación RG -10.

La corrección por rezago debe hacerse mes a mes. Si se hace para cuatro meses contiguos como en nuestro caso, significa que por ejemplo la escorrentía total que se genera en el mes de enero se reparte en porcentajes o proporciones entre los cuatro meses contiguos, según lo determinado, incluido el porcentaje correspondiente a este mismo mes.

CORRECCIÓN POR REZAGO

En la Tabla 3 se presenta la estación empleada para corregir por rezago los valores de escurrimiento total obtenidos mediante el “procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge”.

Tabla 3. Estación empleada para la corrección por rezago.

ESTACIÓN			LOCALIZACIÓN		
NOMBRE	FECHA DE INICIO	ALTURA m.s.n.m.	MUNICIPIO	COORDENADAS	
				X	Y
La Ye	1982	2.340	Belmira	1.210.566	1.166.876

En la Tabla 4 se presentan los caudales medios mensuales multianuales (m^3/s), registrados en la estación RG-10.

Tabla 4. Caudales medios mensuales multianuales (m^3/s), registrados en la estación RG-10 “La Ye”.

MESES												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
3,46	3,27	3,72	4,83	5,76	4,69	3,99	3,97	4,95	6,78	6,52	5,01	56,95

VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Para validar los resultados encontrados por medio del “Procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge” se analizó una cuenca en especial, la del Río Chico que forma parte del área de estudio, dicho río es afluente del Río Grande, empleando para ello datos reales de una estación hidrométrica presente en la zona, en este caso la estación RG-10 “La Ye”, comparando los caudales medios mensuales del Río Chico registrados durante 19 años con los

encontrados por medio de los métodos de precipitación – escorrentía de Holdridge, de Thornthwaite, de Blaney – Criddle y de García – López. A continuación se describen los métodos empleados:

Estimación de caudales medios por el método Blaney – Criddle

En 1950 Blaney – Criddle desarrollaron una fórmula para el cálculo de la evaporación que relaciona la temperatura con la humedad relativa y la duración del día. Esta ecuación fue desarrollada para las condiciones existentes en el Oeste de los Estados Unidos, pero su uso se ha generalizado en regiones de distintas latitudes por su facilidad de cálculo (Vélez, Poveda y Mesa 2000). Este método se expresa matemáticamente como sigue:

$$ETr = p \cdot (0,014T^2 + 0,363T + 1,95)$$

Dónde: ETr = evapotranspiración de referencia, en mm/mes; p = porcentaje de horas de brillo solar mensual con respecto al año; T = Temperatura media mensual del aire, en °C.

Considerando la integración sobre un intervalo de tiempo largo, de tal manera que los cambios en las cantidades de almacenamiento de agua en la atmósfera y el almacenamiento de agua en el suelo sean despreciables (Poveda y Mesa 1995), se tiene que el promedio a largo plazo del caudal será:

$$Q = P - E$$

Dónde: Q = caudal medio mensual de la cuenca en mm; P = precipitación media mensual de la cuenca en mm; E = evapotranspiración media mensual de la cuenca en mm.

La anterior fórmula se empleó para el cálculo de los caudales medios mensuales para los métodos de Blaney – Criddle, Thornthwaite y García – López.

Estimación de caudales medios por el método Thornthwaite

La ecuación de Thornthwaite, se basa en los numerosos experimentos efectuados con lisímetros y da una estimación de la evaporación potencial. Esta fue modificada por el mismo autor en 1948, donde relaciono datos de temperatura y evapotranspiración potencial en regiones irrigadas del oeste de Estados Unidos (Vélez, Poveda y Mesa 2000).

Los factores tomados de este cálculo son la temperatura media mensual y la temperatura media anual, dado por la siguiente expresión:

$$ETP = 1,6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a$$

Dónde: ETP = evaporación potencial en cm/mes; T = temperatura media mensual en °C; I = índice calórico anual dado por la siguiente fórmula:

$$I = 12 \left(\left(\frac{T_{anual}}{5} \right)^{1,514} \right)$$

a = es un exponente dado en función de I , así:

$$a = (675,10^{-9})I^3 - (771,10^{-7})I^2 + (179,10^{-4})I + 0,492$$

Estimación de caudales medios por el método García – López

Por medio de esta ecuación se calcula la evaporación potencial. Está basada en la correlaciones hechas entre la evaporación media en 6 estaciones netamente tropicales dentro del rango latitudinal 15° N y 15° S y la temperatura (valido solo para temperaturas mayores o iguales a 10 °C) y la humedad relativa (Vélez, Poveda y Mesa 2000), obteniendo la ecuación:

$$ETP = 1,21 \cdot 10^n (1 - 0,01H_R) + 0,21T - 2,3$$

Dónde: ETP = evaporación potencial en mm/día; n = exponente dado por:

$$n = \frac{7,45T}{(234,7 + T)}$$

T = temperatura media mensual; H_R = humedad relativa de la zona.

La zona donde se encuentra localizada la cuenca del Río Chico tiene una humedad relativa media del 76%.

CRITERIOS PARA EVALUAR LOS DIFERENTES MÉTODOS

Relación porcentual y suma de los cuadrados del error

Se determinó una relación porcentual con el fin de apreciar numéricamente la proporción existente entre los valores mensuales de caudal registrados en la estación RG – 10 “La Ye” (ETP_E) y los valores de caudal estimados con los diferentes métodos (ETP_C), mediante el cálculo de la expresión:

$$\frac{ETP_E}{ETP_C} \cdot 100\%$$

Para la evaluación de la bondad de la relación porcentual se tomó como marco de referencia los resultados obtenidos por varios investigadores en diferentes países, según los cuales esta proporción ha fluctuado entre 70% y 80%, (Guzmán y Castro 1985).

Tomando como referencia los datos registrados en la estación RG – 10 “La Ye”, se calculó la suma de los cuadrados del error para cada uno de los datos estimados con los respectivos métodos.

Prueba de rangos múltiples

Apoyados por el programa estadístico STATGRAPHICS Plus® 3.0, se realizó una prueba de rangos múltiples entre las medias, para establecer si existen o no diferencias estadísticas entre los diferentes métodos empleados.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS

Regionalización de características medias. Con el procedimiento de regionalización de características medias, en cuencas con poca o ninguna información, se trata de relacionar características geomorfológicas, climáticas y topográficas con las características medias de caudales mínimos o máximos instantáneos. Una vez conocidas estas características medias, se pueden estimar y usar distribuciones de probabilidad de valores extremos para definir caudales mínimos y máximos instantáneos asociados a diferentes períodos de retorno.

El estudio de eventos extremos siempre ha sido de gran importancia para la hidrología, ya que estos son definitivos para diseñar obras civiles que garanticen seguridad y mejores condiciones de vida a las comunidades.

Bolaños (1995) realizó una regionalización de caudales mínimos en el departamento de Antioquia utilizando series históricas de caudales mínimos, aplicando técnicas de manejo de información escasa en regiones de Antioquia donde existía poco o ningún registro hidrológico, de tal manera que dicha investigación permitiera estimar caudales mínimos de diferentes períodos de retorno. Específicamente por medio de este estudio se logró lo siguiente:

- Definir regiones de acuerdo al comportamiento estadístico de las distribuciones de probabilidades ajustadas a las series de caudales mínimos.
- Regionalizar los parámetros de modelos de distribución de probabilidades aplicados a las series de caudales utilizadas en el estudio.

- Regionalizar características como media y desviación estándar de caudales mínimos, teniendo en cuenta características propias de las cuencas (precipitación, parámetros morfométricos, etc.).
- Estimar caudales mínimos para varios tiempos de retorno considerando diferentes distribuciones de probabilidades y métodos de estimación de parámetros con el fin de realizar comparaciones con los estimativos.

Como resultado del estudio mencionado, el departamento de Antioquia quedó dividido en cinco zonas importantes donde predominan las distribuciones Log-Normal II y Gumbel por momentos. Estas zonas referenciadas a las principales cuencas que las conforman y la distribución ajustada con su método de estimación de parámetros, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Zonificación de las distribuciones con sus cuencas respectivas.

ZONA	CUENCAS	DISTRIBUCIÓN
1	Mulatos, León y Riosucio	Log- Normal II
2	Penderisco y Atrato	Gumbel (momentos)
3	Cauca, Medellín, Porce y parte baja del Nechí	Log-Normal II
4	Parte alta del Nechí y Anorí	Gumbel (momentos)
5	Negro, Nare, Samaná Norte, San Carlos, San Bartolomé y Nus	Log-Normal II

A cada una de las regiones definidas por las distribuciones de probabilidad se les calcularon ecuaciones de regresión para la media y desviación estándar de los caudales mínimos.

Para el presente estudio, el área de interés se encuentra localizada en la Zona 3 (Tabla 5), para esta Zona el método *Step-Wise* seleccionó ecuaciones en términos del área y la precipitación para la media y en función del área para la desviación estándar. Las ecuaciones para la Zona 3 son las siguientes:

$$\mu = 10^{-4,752} \cdot A^{0,960} \cdot P^{0,883}$$

$$R = 0,995$$

$$v.r.e = 0,014$$

$$\sigma = 10^{-2,509} \cdot A^{1,052}$$

$$R = 0,983$$

$$v.r.e = 0,051$$

Las variables utilizadas en la ecuación se definen como:

μ : Media estimada anual de los caudales mínimos (m^3/s).

σ : Desviación estándar estimada anual de los caudales mínimos (m^3/s).

A : Área de la cuenca (km^2).

P : Precipitación promedia sobre la cuenca ($mm/año$).

R : Coeficiente de correlación.

$v.r.e$: Varianza residual estimada.

Para esta región el coeficiente de correlación de la ecuación es muy bueno y la varianza residual estimada es muy baja.

Como recomendación Bolaños (1995), anota que antes de usar las ecuaciones regionales se recomienda tener en cuenta las áreas y las precipitaciones con las que fueron desarrollados los modelos de regresión, esto es, no utilizar las ecuaciones indistintamente para cualquier área y precipitación. Para la Zona 3 el rango de áreas está entre 5 a 60.000 km^2 , y el rango de precipitaciones está entre 1.500 a 5.000 $mm/año$.

Para determinar el caudal mínimo instantáneo asociado a cierto período de retorno, se puede usar la ecuación del factor de frecuencia dada como (Chow 1994):

$$Q_{TR} = \mu - K\sigma$$

Dónde:

Q_{TR} : Caudal mínimo para un período de retorno TR . (m^3/s).

μ : Media estimada anual de los caudales mínimos (m^3/s).

σ : Desviación estándar estimada anual de los caudales mínimos (m^3/s).

K : Factor de frecuencia que depende de la distribución y del período de retorno.

Para la distribución normal el factor de frecuencia K puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$K_T = \frac{x_T - \mu}{\sigma}$$

Este es el mismo valor de la variable normal estándar z . La probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación es el inverso de su periodo de retorno:

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

El valor de z correspondiente a una probabilidad de excedencia de p ($p = 1/T$) puede calcularse encontrando el valor de una variable intermedia w :

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2} \quad (0 < p \leq 0,5)$$

y luego calculando z utilizando la aproximación:

$$z = w - \frac{2,515517 + 0,802853 \cdot w + 0,010328 \cdot w^2}{1 + 1,432788 \cdot w + 0,189269 \cdot w^2 + 0,001308 \cdot w^3}$$

Cuando $p > 0,5$, $(1 - p)$ es sustituido por p en la ecuación (6) y el valor de z calculado al utilizar (7) se le asigna un signo negativo. El error en esta fórmula es menor que 0,00045 en z . El factor de frecuencia K_T para la distribución normal es igual a z tal como se mencionó anteriormente.

Para la distribución Log-normal II se aplica el mismo procedimiento excepto que este se aplica a los logaritmos de las variables y su media y desviación estándar son utilizadas en la ecuación (3).

Otra manera de encontrar el valor del factor de frecuencia K_T es utilizando las tablas de “probabilidad acumulada de la distribución normal estándar” que aparecen en la literatura, a continuación se presenta un ejemplo:

Si el periodo de retorno $TR = 25$, entonces $p = 1/25 = 0,04$, entonces $1 - 0,04 = 0,96$, con este último valor vamos a la tabla y lo ubicamos en los valores de probabilidad acumulada, encontrando que $z = 1,75$, el cual es el valor que corresponde al factor de frecuencia K_T .

El periodo de retorno (TR) asociado al factor de frecuencia K_T , hace referencia a la probabilidad de que un evento de determinada magnitud sea igualado, excedido o no superado una vez en promedio durante n periodos de TR años. Por ejemplo, si en una cuenca se determina un caudal mínimo de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ asociado a un período de retorno de 20 años, ello indica que se espera que ocurra una vez un caudal mínimo de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ o superior durante ese tiempo.

En la Tabla 6 se presentan los factores de frecuencia K correspondientes a cada periodo de retorno TR , los cuales se emplearon para la estimación de los caudales mínimos.

Tabla 6. Factores de frecuencia K correspondientes a cada periodo de retorno TR .

TR	10	15	20	25
K	1,28	1,50	1,64	1,75

ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA

Debido a que en el área de estudio no se encontraron estaciones climatológicas que brindaran información de la temperatura media mensual y anual, fue necesario usar un procedimiento de estimación.

Como ya es conocido, la temperatura media del aire guarda relación inversa con la altitud. De acuerdo con esto el método de regionalización propuesto por el Centro Nacional de Investigaciones del Café, CENICAFÉ, (Chávez & Jaramillo 1999), es una buena manera de estimar la temperatura en cualquier lugar del país.

Esta regionalización se hizo de acuerdo a la región geográfica tomando como información básica los registros de temperatura media mensual del aire en superficie de 1.002 estaciones, de ellas 105 pertenecen a la región de la Cuenca del Río Cauca, a la cual pertenece el área del presente estudio; ésta se encuentra localizada entre 5° y 7° de latitud norte, por lo tanto se empleó la siguiente ecuación:

Región Cuenca del Río Cauca, 5° - 7° de latitud norte:

$$T_{MEDIA} = 29,38 - 0,0061 \cdot A$$

Rango de altitud, (m) = 120 – 4.400

$$R^2 = 0,98$$

Donde, T_{MEDIA} es la temperatura media anual en (° C) y A es la altura sobre el nivel del mar en (m).

Para determinar la altura promedio de cada subcuenca, se emplearon los mapas del IGAC, observando para ello las cotas representadas en las curvas de nivel.

En algunos casos las subcuencas eran muy grandes abarcando varios rangos altitudinales, por lo que se dividieron en varias áreas a las cuales se les determinó la altura promedio; para cada altura promedio se calculó la temperatura media y finalmente se ponderó cada temperatura media de acuerdo a su respectiva área con el área total de la subcuenca. Por eso en algunos casos al utilizar directamente la ecuación para determinar la temperatura media, con los datos presentes en la Tabla 13, ésta no corresponde exactamente a la reportada. A continuación se presenta un ejemplo:

Para la Quebrada Santa Inés, se tiene:

Sector 1 = 3.100 m.s.n.m., área de 12,45 km² y temperatura de 10,47 °C.

Sector 2 = 3.000 m.s.n.m., área de 14,65 km² y temperatura de 11,08 °C.

Área total 27,1 km²

Entonces la temperatura media anual (°C) para ésta subcuenca será:

$$T_{MEDIA} = 10,47 \cdot \frac{12,45}{27,1} + 11,08 \cdot \frac{14,65}{27,1} = 10,80^{\circ}C$$

Para estimar las temperaturas medias mensuales correspondientes a cada subcuenca, se empleó la estación presentada en la Tabla 7.

Tabla 7. Estación climatológica empleada en el presente estudio.

ESTACIÓN			LOCALIZACIÓN		
NOMBRE	FECHA DE INICIO	ALTURA m.s.n.m.	MUNICIPIO	COORDENADAS	
				X	Y
Aragón	May.-1970	2.600	Santa Rosa de Osos	1.241.814	1.167.419

En la Tabla 8 se presenta la temperatura media mensual multianual registrada en la estación Aragón.

Tabla 8. Temperatura media mensual multianual (°C) registrada en la estación Aragón.

MESES												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
13,0	12,6	12,9	13,2	13,5	13,4	13,2	13,1	13,0	12,9	12,8	12,8	13,0

Para mayor ilustración del comportamiento de la temperatura, en la Figura 1 se aprecian los valores de la Tabla 8.

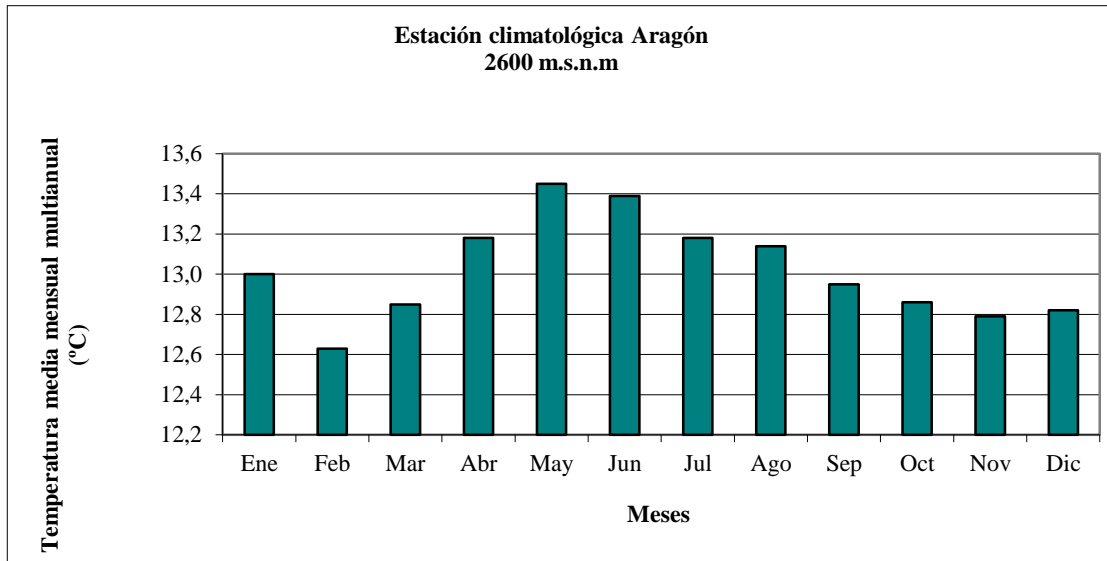


Figura 1. Temperatura media mensual multianual (°C), registrada en la estación climatológica Aragón.

De la Figura 1, se tiene que los meses más fríos son febrero, noviembre y diciembre, y los meses más calurosos son mayo y junio.

Con los datos presentes en la Tabla 8, se calcularon los porcentajes de temperatura correspondientes a cada mes con respecto a la temperatura media anual multianual, estos valores se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Porcentajes de temperatura correspondientes a cada mes con respecto a la temperatura media anual multianual.

	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	99,54	97	98,69	101,23	103,30	102,84	101,23	100,92	99,46	98,77	98,23	98,46

Para determinar las temperaturas medias mensuales de cada subcuenca, se emplearon los porcentajes presentes en la Tabla 9, multiplicándolos por la temperatura media anual de cada subcuenca.

ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA

Para estimar la precipitación media mensual y anual incidente en cada subcuenca del área de estudio se emplearon las estaciones presentadas en la Tabla 10.

Tabla 10. Estaciones con registros de precipitación empleadas.

ESTACIÓN			LOCALIZACIÓN		
NOMBRE ¹	FECHA DE INICIO	ALTURA m.s.n.m.	MUNICIPIO	COORDENADAS	
				X	Y ²
1.Aragón	Dic.-22-1958	2.630	Santa Rosa de Osos	1.241.975	836.100
2.Belmira	Nov.-29-1968	2.550	Belmira	1.222.470	824.330
3.El Botón	Dic.-11-1958	2.490	Santa Rosa de Osos	1.228.850	835.308
4.Cucurucho	Jun.-7-1982	2.580	Santa Rosa de Osos	1.227.980	840.900
5.Enterríos	Nov.-29-1968	2.285	Enterríos	1.218.060	845.400
6.El Gómez	Oct.-06-1966	2.675	Belmira	1.237.260	1.157.650
7.San Bernardo	Jul.-8-1966	2.740	San José	1.249.900	836.590
8.San Pedro	Ene.-19-1950	2.390	San Pedro	1.210.320	831.810
9.La Trinidad	Oct.-7-1966	3.050	Belmira	1.236.400	821.550
10.Alto de la Sierra	Feb.-25-1982	2.750	Belmira	1.217.950	1.163.750
11.Medina	Feb.-2-1967	2.620	San Pedro	1.202.230	839.070
12.Riochico	Dic.-6-1958	2.280	San Pedro	1.211.540	844.850
13.El Chaquiro	Dic.-12-1958	2.750	Santa Rosa de Osos	1.238.950	843.780
14.Espíritu Santo	Nov.-18-1982	2.240	Yarumal	1.262.400	839.500
15.Aurra	Abr.-25-1951	2.525	San Pedro	1.201.490	830.300
16.Belmira	Nov.-1970	2.540	Belmira	1.221.505	1.158.263
17.Sabanalarga	Mar.-1975	1.000	Sabanalarga	1.249.272	808.111
18.La Abertura	Ene.-1992	2.550	San José de la Montaña	1.254.759	821.031
19.San Andrés	Oct.-1970	1.600	San Andrés	1.256.597	822.880
20.Llanos de San Juan	Nov.-1990	1.600	San Jerónimo	1.203.048	1.150.938
21.San Isidro	Ago.-1970	2.320	Enterríos	1.217.819	841.192
22.La Placita	Oct.-1970	1.250	Liborina	1.234.375	1.145.322
23.Meseta la San Pedro	Ago.-1970	2.600	Bello	1.199.391	1.162.014
24.Cotove HDA	Abr.-1975	530	Santafé de Antioquia	1.214.076	1.138.001

¹ El número al lado izquierdo del nombre de la estación es sólo de identificación para posteriores referencias, y no hace parte del nombre.

² Las coordenadas Y menores a 1.000.000 tiene referencia W y las mayores a 1.000.000 tienen referencia B, en el sistema de coordenadas planas de Colombia.

En la Tabla 11 se presentan los valores de precipitación media mensual (mm) y anual multianual (mm) registrada en las estaciones presentadas en la Tabla 10.

Tabla 11. Precipitación media mensual (mm) y anual multianual (mm) registrada en las estaciones presentadas en la Tabla 10.

ESTACIÓN	MESES												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1	58,9	76,8	99,9	200,1	226,2	168,8	149,4	150,5	187,7	242,8	189,2	90	1.850,3
2	75,7	104,1	151	202,5	227,4	161,5	145,9	158,5	206,5	248,1	216,6	128	2.025,8
3	65,5	79,1	127	179,5	202,1	146,2	157,6	158,3	172,1	225	175,9	96,1	1.784,4
4	58,2	67,2	106,6	166,1	198,96	150,7	188,8	178,7	176,4	220,5	151,9	100,1	1.764,1
5	47,5	74,4	104,9	166,4	199,5	184,2	188,7	189,5	183,3	204,2	155,3	80,1	1.778
6	80,7	94,9	146,5	245	266,5	162,4	154,6	164,1	186,3	223,6	197,9	122,5	2.045
7	56,5	65,1	101,5	203,6	271,2	188,2	181,9	180,8	221,9	277,9	185,9	109,9	2.044,4
8	46,9	65,9	99,7	175,6	207,4	162,9	155,1	163,3	183,4	215,2	159,2	92,9	1.727,5
9	87	95,4	133,4	229,7	262	169,2	156,3	169,2	189,7	251	207,1	112,4	2.062,4
10	71,7	107,9	140,4	202,4	236,1	145,5	160,9	153,7	199,6	245,6	184,6	104,6	1.968,3
11	55,6	66,5	90,4	189,5	219,9	175,5	159,7	185	218,8	220,8	147,5	83,8	1.840,3
12	37,5	55,6	98,4	170,4	212	202,8	185,4	210,7	204,6	212	138,5	69,8	1.800,1
13	40,3	54,6	74,3	189,9	243,2	201,1	197,5	201,6	211,1	227,5	158,9	64,6	1.858,9
14	60,6	92,3	77,3	255	323,1	226,8	271,3	253,2	268	301,1	183,3	107,1	2.408,2
15	42,4	62,2	84,1	147,3	176,6	132,1	110	134,8	154,9	190,1	147,7	77,4	1.500,1
16	74,7	108,8	176,8	216,2	248,8	166,1	146,6	159,7	210	238,2	198,9	138,3	2.083,1
17	25,3	41,5	68,7	143,9	176,6	164,3	132,1	129,9	172,3	187,5	111,5	48,7	1.406,3
18	68,3	145,5	158,4	301,6	344,6	289,4	219,9	251,5	244,4	275,9	199,3	135,1	2.633,9
19	39,6	62,1	82,8	177,1	219,3	175,5	140,1	163,5	194,1	215,8	166,2	98,1	1.734,2
20	36,3	81	119,2	164,3	165,3	163,7	104,5	138,6	221,3	184,6	138,7	83,5	1.601
21	62,3	76,1	130,6	171,1	220,6	195,1	203,4	169,9	199,9	210,7	157,9	88,6	1.886,2
22	71,9	98,6	102,6	222,2	233,4	210,7	148,9	155,2	205,9	243,7	199,4	122,2	2.014,7
23	47,8	54,2	82,3	122,8	149,4	132,2	114,6	105,2	170,1	172,1	136,3	76,7	1.363,7
24	21,5	33,6	28,5	97,2	142,5	103,5	103,2	111,6	138,3	158,2	68,6	49,9	1.056,6

En general el régimen de precipitación en la zona se caracteriza por presentar dos periodos lluviosos intercalados por dos periodos con menor precipitación o “veranillos” que ocurren en diciembre – marzo

el primero y en julio – agosto el segundo, perteneciendo este régimen a los patrones climáticos a nivel continental, ocasionados por la zona de convergencia intertropical.

De acuerdo con la Tabla 11, se puede observar que los meses más secos son enero y febrero, y los meses más húmedos son mayo y octubre.

En la Figura 2 se presenta a manera de ejemplo, el histograma de distribución de la precipitación media mensual (mm) de la estación “El Botón”, que representa el comportamiento descrito para la precipitación.

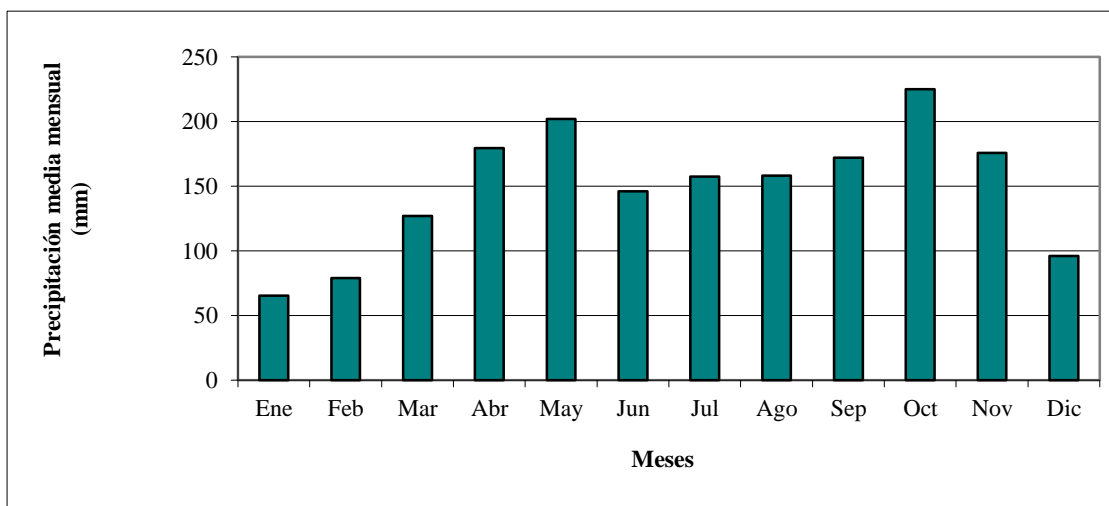


Figura 2. Histograma de la distribución de la precipitación media mensual (mm) de la estación “El Botón”.

Para estimar la precipitación (mm) media anual incidente en cada subcuenca, se empleó la información presente en la Tabla 10 y en la Tabla 11, con esa información se realizaron isoyetas medias anuales cada 100 milímetros, se midió el área presente de cada subcuenca entre las isoyetas, se promedió la precipitación entre isoyetas que pasaban por la subcuenca y finalmente se procedió a calcular la precipitación media anual ponderada por el área total de la subcuenca. A continuación se presenta un ejemplo:

- Para la Quebrada la Sucia:

Por medio de la isoyetas que pasan por la subcuenca, ésta queda dividida en dos áreas, área 1= 0,75 km², área 2 = 0,25 km², área total de la subcuenca = 1 km², el área 1 se encuentra entre las isoyetas 1.700 y 1.750, por lo tanto la precipitación promedio es de 1.725 mm; el área 2 se encuentra entre las isoyetas 1.600 y 1.650, por lo tanto la precipitación promedio es de 1.625 mm, con esta información se procede al cálculo de la precipitación promedio anual ponderada por el área total de la subcuenca:

$$\bar{P} = 1.725mm \cdot \left(\frac{0,75km^2}{1km^2} \right) + 1.625mm \cdot \left(\frac{0,25km^2}{1km^2} \right) = 1.700mm$$

Para estimar la precipitación media mensual incidente en cada subcuenca, se seleccionaron 7 estaciones uniformemente distribuidas en el área de estudio, luego se determinó el porcentaje de la precipitación total anual correspondiente a cada mes (ver Tabla 12). En la Figura 3 se puede observar el comportamiento general de los registros de las estaciones seleccionadas cuando son llevados a porcentaje; este comportamiento es bimodal con los menores porcentajes en los meses de diciembre a marzo y un mayor incremento en los porcentajes de abril a noviembre, con unos porcentajes medios entre los meses de junio, julio y agosto; con este comportamiento, se procedió a promediar el porcentaje mes a mes de las 7 estaciones seleccionadas (ver Tabla 12).

Tabla 12. Porcentaje de la precipitación total anual correspondiente a cada mes, para las 7 estaciones seleccionadas.

ESTACIÓN	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2	3,7	5,2	7,6	10	11,2	7,9	7,2	7,8	10,2	12,2	10,7	6,3
6	3,9	4,6	7,2	11,9	13,2	7,9	7,6	8	9,2	10,9	9,7	5,9
8	2,7	3,8	5,8	10,2	12	9,4	8,9	9,5	10,6	12,5	9,2	5,4
10	3,6	5,6	7,3	10,3	12	7,4	8,3	7,8	10,3	12,6	9,4	5,4
16	3,6	5,2	8,5	10,4	11,9	7,9	7,1	7,7	10,1	11,4	9,6	6,6
17	1,8	2,9	4,9	10,2	12,6	11,7	9,4	9,2	12,3	13,3	8,2	3,5
22	3,6	4,9	5,1	11	11,6	10,5	7,4	7,7	10,2	12,1	9,8	6,1
PROMEDIO	3,3	4,6	6,6	10,6	12,1	9,0	7,9	8,2	10,4	12,2	9,5	5,6

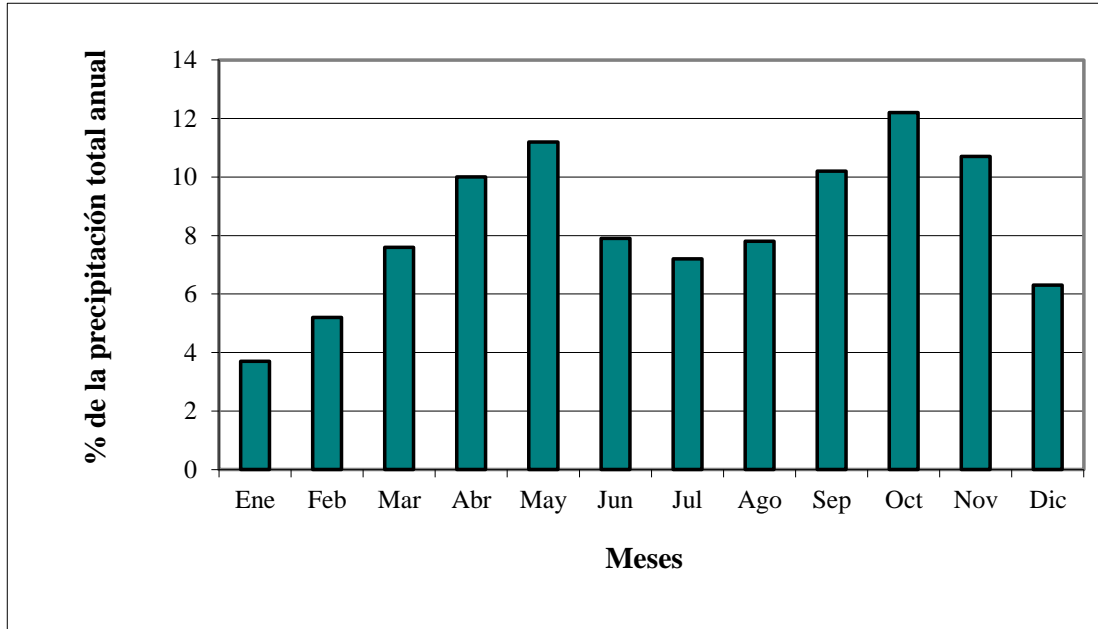


Figura 3. Porcentaje de la precipitación total anual correspondiente a cada mes, para la estación 2: Belmira.

Al multiplicar el promedio de los porcentajes presentes en la Tabla 12 por la precipitación media anual incidente en cada subcuenca, se obtiene la precipitación media mensual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TEMPERATURA MEDIA

Las alturas medias (m.s.n.m.) y temperaturas medias anuales (°C), para las subcuencas que forman parte del área de estudio se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Alturas medias (m.s.n.m.) y temperaturas medias anuales (°C), para las subcuencas que forman parte del área de estudio.

NÚMERO³	NOMBRE	ALTURA m.s.n.m.	TEMPERATUR A (°C)
1	Quebrada la Sucia	2.850	12,0
2	Quebrada Grande	2.550	13,8
3	Quebrada La Sopetrana	2.450	14,4
4	Quebrada Miranda	2.450	14,4
5	Quebrada Yuna	2.600	13,5
6	Quebrada La Nuarque	2.525	14,0
7	Quebrada Juan García	2.833	12,8
8	Quebrada de Rodas	3.100	10,5
9	Quebrada Pená	2.700	12,9
10	Quebrada San Pedro	2.200	16,0
11	Quebrada Tesorerito	2.225	15,8
12	Quebrada Santa María	2.775	12,5
13	Quebrada Santa Inés	3.050	10,8
14	Quebrada San José 1	2.975	11,2
15	Río San Andrés	3.063	10,6
16	Quebrada Quebradona	3.013	11,0
17	Quebrada El Valle	2.900	11,7
18	Quebrada Candelaria	2.900	11,6
19	Quebrada San José 2	2.825	12,1
20	Quebrada La Torura	2.675	13,1
21	Río Chico	2.847	11,9
22	Quebrada San Francisco	2.700	12,9
23	Quebrada El Herrero	2.700	12,9
24	Quebrada Los Laureles	2.775	12,5
25	Quebrada Quebradita	2.975	11,2

³ El número al lado izquierdo del nombre de la subcuenca se empleará para posteriores referencias.

De la Tabla 13 se tiene que la temperatura media anual de la zona de estudio es de 12,6 °C.

Las temperaturas medias mensuales (°C) correspondientes a cada subcuena se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Temperaturas medias mensuales (°C) correspondientes a cada subcuena.

SUBCUENCA	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	11,9	11,6	11,8	12,1	12,4	12,3	12,1	12,1	11,9	11,8	11,8	11,8
2	13,8	13,4	13,6	14	14,3	14,2	14	13,9	13,8	13,7	13,6	13,6
3	14,3	14	14,2	14,6	14,9	14,8	14,6	14,5	14,3	14,2	14,1	14,2
4	14,4	14	14,2	14,6	14,9	14,8	14,6	14,5	14,3	14,2	14,1	14,2
5	13,5	13,1	13,3	13,7	13,9	13,9	13,7	13,6	13,4	13,3	13,3	13,3
6	13,9	13,6	13,8	14,2	14,5	14,4	14,2	14,1	13,9	13,8	13,8	13,8
7	12,8	12,5	12,7	13	13,3	13,2	13	13	12,8	12,7	12,6	12,6
8	10,4	10,2	10,4	10,6	10,8	10,8	10,6	10,6	10,4	10,4	10,3	10,3
9	12,8	12,5	12,7	13,1	13,3	13,3	13,1	13	12,8	12,7	12,7	12,7
10	15,9	15,5	15,8	16,2	16,5	16,5	16,2	16,1	15,9	15,8	15,7	15,8
11	15,7	15,3	15,6	16	16,3	16,2	16	15,9	15,7	15,6	15,5	15,6
12	12,4	12,1	12,3	12,6	12,9	12,8	12,6	12,6	12,4	12,3	12,2	12,3
13	10,8	10,5	10,7	10,9	11,2	11,1	10,9	10,9	10,7	10,7	10,6	10,6
14	11,2	10,9	11,1	11,4	11,6	11,6	11,4	11,3	11,2	11,1	11	11,1
15	10,6	10,3	10,5	10,7	11	10,9	10,7	10,7	10,5	10,5	10,4	10,4
16	10,9	10,7	10,8	11,1	11,3	11,3	11,1	11,1	10,9	10,8	10,8	10,8
17	11,6	11,3	11,5	11,8	12,1	12,02	11,8	11,8	11,6	11,6	11,5	11,5
18	11,6	11,3	11,5	11,8	12	11,9	11,8	11,7	11,6	11,5	11,4	11,4
19	12,1	11,8	12	12,2	12,6	12,5	12,3	12,3	12,1	12	11,9	12
20	13	12,7	12,9	13,2	13,5	13,43	13,2	13,2	13	12,9	12,8	12,9
21	11,9	11,6	11,8	12,1	12,3	12,3	12,1	12,1	11,9	11,8	11,7	11,8
22	12,9	12,5	12,7	13,1	13,3	13,3	13,1	13	12,8	12,8	12,7	12,7
23	12,9	12,5	12,7	13,1	13,3	13,3	13,1	13	12,8	12,8	12,7	12,7
24	12,4	12,1	12,3	12,6	12,9	12,8	12,6	12,6	12,4	12,3	12,2	12,3
25	11,2	10,9	11,1	11,4	11,6	11,6	11,4	11,3	11,2	11,1	11	11,1

De los valores presentes en la Tabla 14, se tiene que en general los meses más fríos son febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre, los meses más calurosos son mayo, y junio. Para mayor ilustración, en la Figura 4 se presenta una gráfica que representa dicho comportamiento.

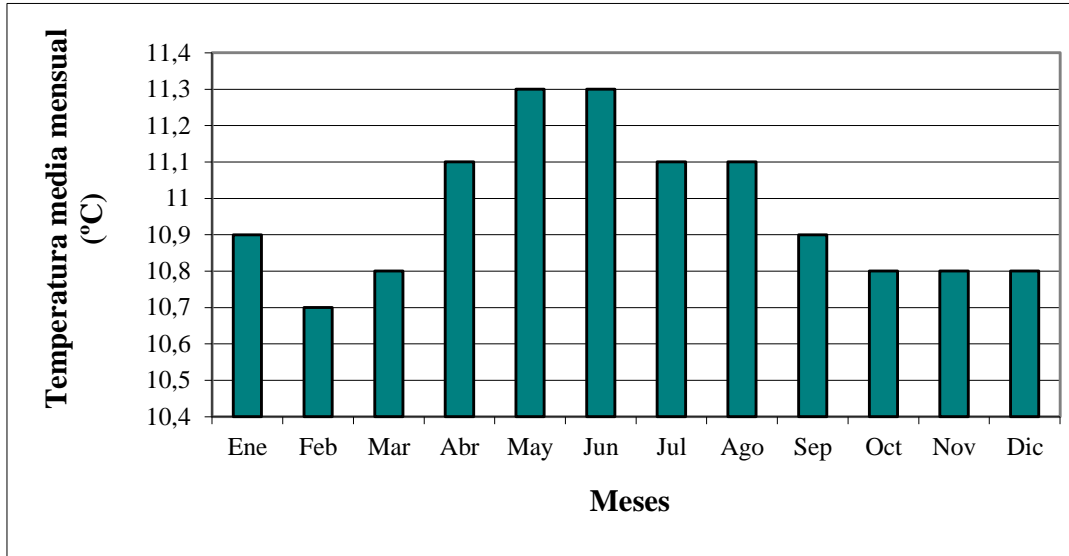


Figura 4. Temperatura media mensual (°C) estimada para la subcuenca de la quebrada Quebradona.

PRECIPITACIÓN MEDIA

En la Tabla 15 se presenta el área (km²) y la precipitación media anual (mm), correspondiente a cada subcuenca; la precipitación media anual en el área de estudio es de 1.847,4 mm.

Debido a su ubicación geográfica y a sus condiciones de relieve, Colombia tiene una precipitación media anual de 3.000 mm, que representa una riqueza importante de recursos hídricos, cuando es comparada con el promedio mundial de precipitación anual, equivalente a 900 mm y con el promedio anual de Suramérica, del orden de los 1.600 mm (Ministerio del Medio Ambiente 2002).

Como se puede apreciar del párrafo anterior, el área de estudio presenta una precipitación media anual menor que la precipitación media anual de Colombia, mayor que la precipitación media anual mundial y a la vez, mayor que el promedio anual de Suramérica.

Si se relaciona el promedio anual de lluvias en Colombia con su superficie continental (1.141.748 km²), se tiene un volumen anual de precipitación de 3.425 km³, equivalente al 3% del volumen de precipitación anual en el mundo y al 12% en el continente sudamericano. La característica de la precipitación en Colombia consiste en que el 88% del territorio registra lluvias anuales superiores a 2.000 mm, con un promedio anual cercano a los 3.000 mm (Ministerio del Medio Ambiente 2002).

Por otro lado si se relaciona el promedio anual de lluvias (1.874,4 mm) del área de estudio con su superficie (34.358,74 ha), se tiene un volumen anual de precipitación de 0,66 km³, equivalente al 0,019 % del volumen de precipitación anual en Colombia.

Tabla 15. Área (km²) y precipitación media anual (mm), correspondiente a cada subcuenca.

NÚMERO⁴	NOMBRE	ÁREA (km²)	PRECIPITACIÓN (mm/año)
1	Quebrada la Sucia	1	1.700
2	Quebrada Grande	3,06	1.749,6
3	Quebrada La Sopetrana	6,05	1.828,4
4	Quebrada Miranda	1,96	1.897,1
5	Quebrada Yuna	2,4	1.873,9
6	Quebrada La Nuarque	7,4	1.901,1
7	Quebrada Juan García	35,86	1.946,1
8	Quebrada de Rodas	0,48	1.750
9	Quebrada Pená	6,65	1.655,8
10	Quebrada San Pedro	4,3	1.552,7
11	Quebrada Tesorerito	1,65	1.663,1
12	Quebrada Santa María	18,9	1.724,4
13	Quebrada Santa Inés	27,1	1.886,2
14	Quebrada San José 1	5,3	2.075,5
15	Río San Andrés	33,5	2.002,5
16	Quebrada Quebradona	26,9	2.043
17	Quebrada El Valle	10,65	2.005,9
18	Quebrada Candelaria	33,8	2.027,1
19	Quebrada San José 2	11,37	2.006,5
20	Quebrada La Torura	15,43	1.975,3
21	Río Chico	80,98	1.944,2
22	Quebrada San Francisco	3,15	1.650,3
23	Quebrada El Herrero	0,21	1.650,3
24	Quebrada Los Laureles	0,35	1.625,3
25	Quebrada Quebradita	5,05	2.050,7

En la Tabla 16 se presenta la precipitación media mensual (mm) incidente en las subcuencas que forman parte del área de estudio.

⁴ El número al lado izquierdo del nombre de la subcuenca se empleará para posteriores referencias.

Observando los valores de precipitación presentes en la Tabla 16, se tiene que en general el régimen de precipitación en la zona se caracteriza por presentar dos periodos lluviosos intercalados por dos periodos con menor precipitación o “veranillos” que ocurren en diciembre – marzo el primero y en julio – agosto el segundo, perteneciendo este régimen a los patrones climáticos a nivel continental, ocasionados por la Zona de Convergencia Intertropical, que se manifiesta por una gran inestabilidad termodinámica originando abundante nubosidad tipo convectivo, vientos variables de poca intensidad, un alto nivel pluviométrico y un gran contenido de vapor de agua en la atmósfera (EPM 1991).

Tabla 16. Precipitación media mensual (mm) incidente en las subcuencas del área de estudio.

SUBCUENCA	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	56,1	78,2	112,2	180,2	205,7	153	134,3	139,4	176,8	207,4	161,5	95,2
2	57,73	80,48	115,47	185,45	211,7	157,5	138,2	143,5	181,95	213,4	166,2	97,9
3	60,3	84,1	120,7	193,8	221,2	164,6	144,4	149,9	190,2	223,1	173,7	102,4
4	62,6	87,3	125,2	201,1	229,6	170,7	149,9	155,6	197,3	231,5	180,2	106,2
5	61,8	86,2	123,7	198,6	226,7	168,6	148	153,7	194,9	228,6	178	104,9
6	62,7	87,4	125,5	201,5	230	171,1	150,2	155,9	197,7	231,9	180,6	106,5
7	64,2	89,5	128,4	206,3	235,5	175,2	153,7	159,6	202,4	237,4	184,9	109
8	57,75	80,5	115,5	185,5	211,8	157,5	138,25	143,5	182	213,5	166,3	98
9	54,6	76,2	109,3	175,5	200,4	149	130,8	135,8	172,2	202	157,3	92,7
10	51,2	71,4	102,5	164,6	187,9	139,7	122,7	127,3	161,5	189,4	147,5	86,9
11	54,9	76,5	109,8	176,3	202,2	149,7	131,4	136,4	172,9	202,9	158	93,1
12	56,9	79,3	113,8	182,8	208,7	155,2	136,2	141,4	179,3	210,4	163,8	96,6
13	62,2	86,8	124,5	199,9	228,2	169,8	149	154,7	196,2	230,1	179,2	105,6
14	68,5	95,5	136,9	220	251,1	186,8	164	170,2	215,9	253,2	197,2	116,2
15	66,1	92,1	132,2	212,3	242,3	180,2	158,2	164,2	208,3	244,3	190,2	112,1
16	67,4	93,9	134,8	216,6	247,2	183,9	161,4	167,5	212,5	249,3	194,1	114,4
17	66,2	92,3	132,4	212,6	242,7	180,5	158,5	164,5	208,6	244,7	190,6	112,3
18	66,9	93,3	133,8	214,9	245,3	182,4	160,1	166,2	210,8	247,3	192,6	113,5
19	66,2	92,3	132,4	212,7	242,8	180,6	158,5	164,5	208,7	244,8	190,6	112,4
20	65,2	90,9	130,4	209,4	239	177,8	156	162	205,4	241	187,6	110,6
21	64,2	89,4	128,3	206,1	235,3	174,9	153,6	159,4	202,2	237,2	184,7	108,9
22	54,6	75,9	108,9	174,9	199,7	148,5	130,4	135,3	171,6	201,3	156,8	92,4
23	54,6	75,9	108,9	174,9	199,7	148,5	130,4	135,3	171,6	201,3	156,8	92,4
24	53,6	74,8	107,3	172,3	196,6	146,3	128,4	133,3	169	198,3	154,4	91
25	67,7	94,3	135,3	217,4	248,1	184,6	162	168,2	213,3	250,2	194,8	114,8

De acuerdo con la Tabla 16 se puede observar que los meses más secos son enero y febrero, y los meses más húmedos son mayo y octubre.

En la Figura 5 se presenta a manera de ejemplo el histograma de distribución de la precipitación media mensual (mm) para la subcuenca Juan García.

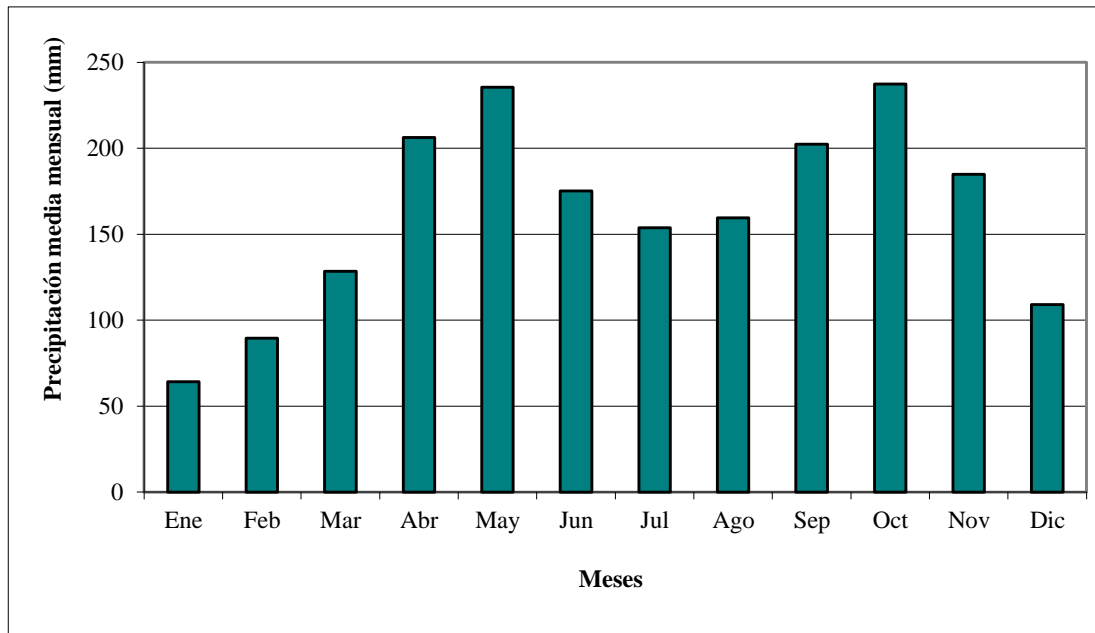


Figura 5. Histograma de distribución de la precipitación media mensual (mm) para la subcuenca Juan García.

CAUDALES MEDIOS

Luego de haber estimado los caudales medios por el “procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge”, se procedió a realizar la corrección o ajuste por rezago; éste se realizó para cuatro meses contiguos, seleccionando los porcentajes de rezago que, por tanteo, minimizaran la suma de cuadrados del error, además de que la gráfica correspondiente de cada subcuenca presentara un comportamiento lo más similar posible al presentado por la gráfica de los registros de la estación RG-10 “La Yé”, esto es, que los meses de precipitaciones máximas y mínimas coincidieran. Los porcentajes de rezago hallados fueron: 51,3% para el propio mes, 16,5% para el mes siguiente, 16,2% para el segundo mes siguiente y 16% para el tercer mes siguiente.

En la Figura 6 se presenta la gráfica empleada para la corrección por rezago, donde Q_{real} representa los porcentajes correspondientes a la estación RG-10 “La Yé” y $Q_{rezagado}$ representa los porcentajes

correspondientes a la Quebrada Juan García (empleada a manera de ejemplo en la representación); al hacer ésta comparación se obtuvo una suma de los cuadrados del error de 0,003.

La Figura 6 representa el comportamiento general de todas las subcuencas que forman parte del área de estudio; en el ejemplo presentado se aprecia que hay una subestimación (entre 0% y 2,67%) de los caudales para los meses de enero, febrero, marzo y abril, y una sobreestimación (entre 0% y 2,54%) para los meses de junio, julio, agosto y septiembre, para los demás meses en general los caudales se aproximan mucho al comportamiento presentado por unos registros reales de caudal para la estación “La Yé”. En general el comportamiento presentado por la gráfica “Qrezagado” se aproxima mucho al comportamiento presentado por la gráfica de una estación con registros reales de caudales como es la estación “La Yé” (Qreal), lo cual indica que los resultados obtenidos empleando el “procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge”, luego de ser corregidos, son confiables.

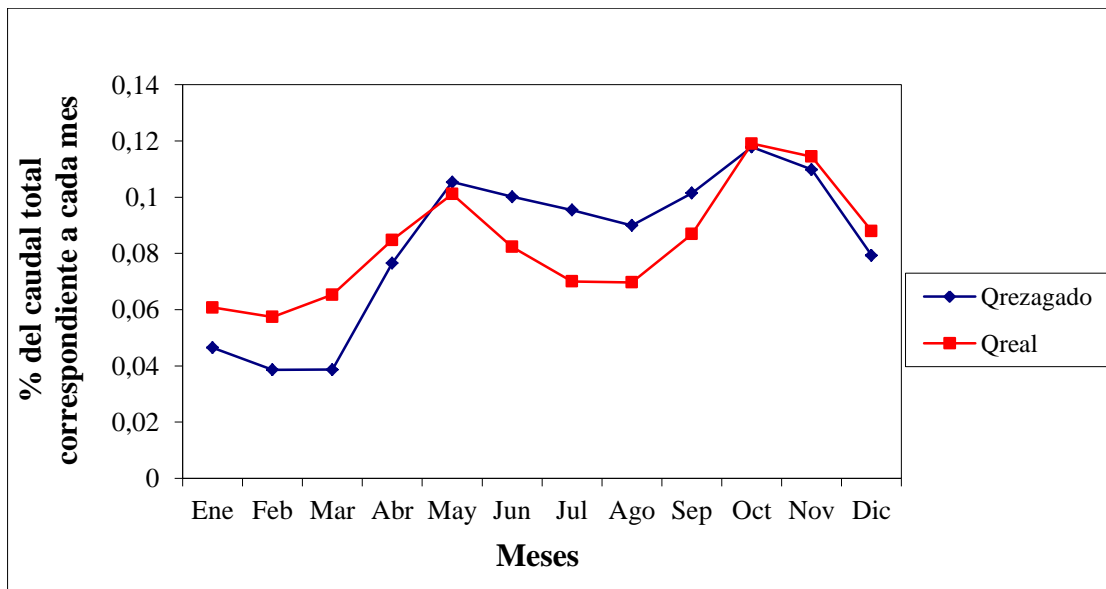


Figura 6. Distribución porcentual de los caudales estimados para la subcuenca Juan García, comparados con la distribución porcentual de los caudales registrados en la estación hidrométrica RG-10 (La Ye).

En la Tabla 17 se presenta el área (km²), el caudal medio anual (m³/s), el rendimiento hídrico (l/s/ha) y caudal anual total (m³/año), correspondientes a las subcuencas del área de estudio.

De la Tabla 17, se tiene que la oferta hídrica anual del Área de Manejo especial (AME) “Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño” es de 422.925.149,57 m³/año, equivalente a un caudal medio instantáneo de 13,41 m³/s.

La oferta hídrica que se produce en el AME está disponible para una porción del territorio de la región del “Medio Cauca” y de la región del Río Grande, correspondiendo a la primera una oferta anual de 240.729.236,532 m³/año, y a la segunda un caudal de 182.195.913,047 m³/año. El IDEAM (2000a) estimó para la cuenca del “Medio Cauca” una oferta media anual de 29.942 millones de metros cúbicos, y para la cuenca del Río Nechí una oferta media anual de 26.623 millones de metros cúbicos. De acuerdo a lo anterior, la oferta hídrica del AME aporta con un 0,804% a la oferta media anual de la cuenca del “Medio Cauca” y con un 0,684% a la oferta media anual de la cuenca del Río Nechí, ya que el río Grande es afluente del río Porce y éste a su vez del río Nechí.

La cuenca del Río Grande está localizada en la zona central del Departamento de Antioquia, entre 6° y 7° de latitud Norte y 75° y 76° de longitud Oeste, en jurisdicción de los municipios de San Pedro, Entreríos, Belmira, Don Matías y Santa Rosa de Osos. La estación RG-8 ubicada aguas abajo de la confluencia de los ríos Chico y Grande, con un área de captación de 1.062 km², presenta un rendimiento de 36 l/s/km² y un caudal promedio de 34,7 m³/s, por lo tanto el caudal total anual correspondiente a esta área de captación es de 1.094.299.200 m³/año. El área de las subcuencas del AME que drenan a estos ríos es de 187,54 km²; con respecto al área de captación de la estación RG-8, ésta superficie equivale al 17,66%. De acuerdo a lo anterior, la oferta hídrica del AME aporta el 16,65% de la oferta hídrica correspondiente al área de captación de la cuenca del Río Grande (incluida el Río Chico). Los caudales del río Grande hasta la estación RG-8 abastecen el embalse Riogrande II, formado por la presa del mismo nombre sobre la cota 2.272 m.s.n.m., localizada a 1,7 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Chico y Grande. Dicho embalse ocupa un área de espejo de agua de 1.100 ha, con una capacidad total de embalse de 200 millones de metros cúbicos, de los cuales 110 corresponden al volumen útil (Vásquez 1990).

El agua del embalse Riogrande II es aprovechada por las Empresas Públicas de Medellín, para el abastecimiento del acueducto con destino a la ciudad de Medellín y para algunos municipios del Valle de Aburrá, como también para la generación de energía. La localización del embalse con relación a la

ciudad – región, le permite al centro urbano tener garantizado su abastecimiento de agua potable hasta el año 2.015. El agua tomada para acueducto es la utilizada inicialmente en la generación de energía en la central hidroeléctrica de Niquía, la cual es tratada en la Planta de Manantiales (6,4 m³/s, proyectado para ampliación a 9,6 m³/s en una segunda etapa y para el largo plazo a 19,5 m³/s para abastecer a una población de 4 millones de habitantes, correspondiente a la población de saturación del Valle de Aburrá, según proyecciones de EPM). Es posible que en un futuro cercano se amplíe el aprovechamiento de este recurso, pues se va a dotar del servicio de acueducto a algunos municipios del occidente (San Jerónimo, Sopetrán y Santa Fé de Antioquia), los cuales presentarán mayores demandas de agua, en especial por la construcción del túnel Aburrá – Río Cauca (Molina 1997).

La energía es otro importante servicio que genera el aprovechamiento del recurso agua proveniente del Río Grande. La energía producida por las centrales hidroeléctricas de La Tasajera (303 MW, ubicada en la jurisdicción del municipio de Barbosa) y de Niquía (21 MW, ubicada en la jurisdicción del municipio de Bello), hacen parte del sistema interconectado nacional, por lo que de alguna manera provee energía no solo al Valle de Aburrá, sino también a otras zonas del Departamento y del País.

El agua proveniente del Río Grande, es utilizado para la recreación masiva en el parque de recreación acuática más grande del País, llamado el Parque de las Aguas (Venturópolis), localizado en el municipio de Girardota, una vez las aguas de la central hidroeléctrica La Tasajera, generan energía. La descarga de 35 m³/s, después de ser utilizada en la central hidroeléctrica La Tasajera y en el Parque de las Aguas, es vertida al Río Medellín, permitiendo disminuir los niveles de contaminación, bajo el fenómeno de la dilución, lo cual contribuye parcialmente a la recuperación del río.

Bedoya & Jaime (2001), presentaron como tesis de grado un estudio sobre la Valoración económica de los beneficios recreacionales proporcionados por el Parque de las Aguas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. El estudio presenta la valoración económica al tomar el agua como insumo gratuito en la prestación de servicios recreacionales. Para tal efecto, se empleó el método del costo de viaje y modelos econométricos que corrigen los sesgos de truncación y estratificación endógena. De acuerdo con el modelo seleccionado, el flujo de beneficios anuales para la proporción de individuos que visitan el Parque de las Aguas fue de US\$ 11.635.460, cifra que excede en más de nueve veces la inversión realizada por CORANTIOQUIA en el Área de Manejo Especial del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño en los últimos seis años.

Tabla 17. Área (km²), caudal medio anual (m³/s), rendimiento hídrico (l/s/ha) y caudal anual total (m³/año), correspondientes a las subcuencas del área de estudio.

NÚMERO⁵	NOMBRE	ÁREA (km²)	CAUDAL MEDIO ANUAL (m³/s)	REND. HÍDRICO (l/s/ha)	CAUDAL ANUAL (m³/año)
1	Quebrada la Sucia	1	0,031	0,310	995.897,431
2	Quebrada Grande	3,06	0,090	0,294	2.861.709,024
3	Quebrada La Sopetrana	6,05	0,188	0,311	5.934.672,646
4	Quebrada Miranda	1,96	0,064	0,327	2.056.841,498
5	Quebrada Yuna	2,4	0,082	0,342	2.590.186,164
6	Quebrada La Nuarque	7,4	0,250	0,338	7.969.594,825
7	Quebrada Juan García	35,86	1,352	0,377	42.742.492,832
8	Quebrada de Rodas	0,48	0,017	0,354	544.194,206
9	Quebrada Pená	6,65	0,188	0,283	5.963.441,965
10	Quebrada San Pedro	4,3	0,083	0,193	2.627.290,128
11	Quebrada Tesorerito	1,65	0,038	0,230	1.211.175,06
12	Quebrada Santa María	18,9	0,593	0,314	18.751.382,019
13	Quebrada Santa Inés	27,1	1,073	0,396	33.914.269,475
14	Quebrada San José 1	5,3	0,237	0,447	7.502.580,728
15	Río San Andrés	33,5	1,462	0,436	46.217.733,179
16	Quebrada Quebradona	26,9	1,189	0,442	37.599.110,705
17	Quebrada El Valle	10,65	0,444	0,417	14.045.114,139
18	Quebrada Candelaria	33,8	1,438	0,425	45.451.671,035
19	Quebrada San José 2	11,37	0,465	0,409	14.698.038,274
20	Quebrada La Torura	15,43	0,579	0,375	18.315.801,165
21	Río Chico	80,98	3,182	0,393	100.603.958,573
22	Quebrada San Francisco	3,15	0,089	0,283	2.805.174,309
23	Quebrada El Herrero	0,21	0,006	0,286	187.011,621
24	Quebrada Los Laureles	0,35	0,010	0,286	312.451,867
25	Quebrada Quebradita	5,05	0,222	0,440	7.023.356,711

⁵ El número al lado izquierdo del nombre de la cuenca se empleará para posteriores referencias.

En la Tabla 18 se presentan los caudales medios mensuales (m^3/s) correspondientes a cada subcuenca del área de estudio.

Tabla 18. Caudales medios mensuales (m^3/s) correspondientes a cada subcuenca del área de estudio.

SUBCUENCA	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0,018	0,013	0,014	0,029	0,040	0,038	0,036	0,034	0,039	0,045	0,042	0,030
2	0,051	0,030	0,035	0,082	0,116	0,111	0,105	0,099	0,113	0,133	0,124	0,086
3	0,107	0,063	0,073	0,170	0,239	0,230	0,218	0,204	0,234	0,277	0,257	0,178
4	0,037	0,024	0,026	0,059	0,083	0,079	0,075	0,071	0,081	0,095	0,088	0,062
5	0,046	0,033	0,035	0,075	0,104	0,099	0,094	0,089	0,101	0,118	0,110	0,078
6	0,142	0,099	0,106	0,230	0,320	0,307	0,291	0,274	0,312	0,366	0,339	0,239
7	0,754	0,627	0,627	1,242	1,710	1,625	1,548	1,460	1,647	1,912	1,782	1,287
8	0,010	0,008	0,008	0,016	0,022	0,021	0,020	0,019	0,021	0,024	0,022	0,016
9	0,107	0,066	0,075	0,171	0,241	0,231	0,219	0,205	0,235	0,277	0,257	0,179
10	0,050	0,021	0,002	0,070	0,109	0,101	0,100	0,093	0,111	0,137	0,125	0,077
11	0,022	0,010	0,006	0,034	0,050	0,047	0,046	0,042	0,050	0,061	0,055	0,036
12	0,333	0,241	0,255	0,541	0,754	0,720	0,684	0,643	0,731	0,855	0,794	0,563
13	0,634	0,540	0,541	0,993	1,336	1,274	1,218	1,153	1,290	1,483	1,387	1,024
14	0,143	0,123	0,123	0,220	0,294	0,281	0,269	0,255	0,284	0,326	0,305	0,227
15	0,886	0,762	0,764	1,357	1,808	1,728	1,654	1,568	1,747	2,001	1,874	1,397
16	0,718	0,616	0,617	1,103	1,473	1,407	1,347	1,276	1,423	1,631	1,527	1,136
17	0,261	0,222	0,222	0,411	0,554	0,528	0,505	0,478	0,535	0,616	0,576	0,424
18	0,850	0,725	0,725	1,331	1,791	1,708	1,633	1,545	1,727	1,988	1,859	1,372
19	0,269	0,227	0,228	0,430	0,582	0,555	0,530	0,500	0,561	0,648	0,605	0,443
20	0,324	0,258	0,270	0,524	0,738	0,693	0,667	0,633	0,700	0,830	0,760	0,552
21	1,833	1,545	1,547	2,935	3,992	3,799	3,628	3,427	3,847	4,447	4,152	3,033
22	0,050	0,030	0,035	0,080	0,113	0,109	0,103	0,097	0,111	0,131	0,121	0,084
23	0,003	0,002	0,002	0,005	0,008	0,007	0,007	0,006	0,007	0,009	0,008	0,006
24	0,006	0,004	0,004	0,009	0,013	0,012	0,011	0,011	0,012	0,014	0,013	0,009
25	0,133	0,114	0,114	0,206	0,276	0,263	0,252	0,239	0,266	0,305	0,286	0,212

Puesto que el AME comprende una extensión total de 34.358,74 ha, el rendimiento hídrico de dicha área es de 12.309,099 m³/año/ha ó 39,032 l/s/km². En términos del caudal específico de escorrentía superficial Colombia presenta un caudal de 58 l/s/km² tres veces mayor que el promedio suramericano (21 l/s/km²) y seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio a nivel mundial (10 l/s/km²) (Ministerio del Medio Ambiente 2002).

Del párrafo anterior se tiene que la oferta hídrica (l/s/km²) del AME, es menor que la oferta hídrica promedio de Colombia, mayor que la oferta hídrica promedio suramericana y a la vez, mayor que la oferta hídrica específica promedio a nivel mundial.

Según los estimativos del IDEAM (2000b) con base en la evaluación de los rendimientos hídricos de las 45 unidades hidrográficas de Colombia, la oferta hídrica total supera los 2.000 kilómetros cúbicos al año correspondientes a 57.000 metros cúbicos anuales por habitante. En cuanto a la oferta neta, en la cual se incorporan reducciones tanto por alteración de la calidad como por regulación natural, se alcanza apenas los 1.260 kilómetros cúbicos que corresponden a una disponibilidad de 34.000 metros cúbicos por habitante al año.

Si consideramos en Colombia una oferta hídrica de 2.000 (km³/año), la oferta hídrica del AME corresponde a un 0,02115% de dicha oferta nacional.

De acuerdo con los estimativos realizados a partir del balance hídrico por parte del IDEAM (2002), el ecosistema de Alta Montaña tiene un área de 4'686.751 ha, y cuenta con un volumen de oferta hídrica de 66,5 km³/año, que corresponde a un caudal de 2.109 m³/s, lo cual representa el 3% de la oferta hídrica total nacional. De acuerdo a lo anterior el área del AME corresponde al 0,73% del total del área del ecosistema de Alta Montaña, y su oferta hídrica aporta el 0,64% del total de la oferta hídrica de los ecosistemas de Alta Montaña.

La demanda anual estimada por el IDEAM (2000a) para la cuenca del “Medio Cauca” es de 179,7 millones de metros cúbicos, y para la cuenca del “Río Nechí” es de 250,64 millones de metros cúbicos; las dos demandas suman 430,34 millones de metros cúbicos. Sin descontar las reducciones tanto por alteración de la calidad como por regulación natural se puede decir que el AME puede cubrir un 98,277% de la demanda de las dos cuencas, lógicamente hay que tener en cuenta los limitantes físicos

para utilizar la oferta del AME, pero esta afirmación de cubrimiento de la demanda es para dimensionar la capacidad que tiene el AME como oferente del recurso hídrico.

En la Tabla 19 se presenta la oferta hídrica superficial en Colombia por altitud, en dicha tabla se puede apreciar que las regiones altas son pocas y que por ello su oferta hídrica representa un bajo porcentaje con respecto al total nacional, en cambio las regiones bajas ocupan la mayor parte del territorio colombiano, generando con ello la mayor oferta hídrica nacional.

Tabla 19. Oferta hídrica superficial en Colombia por altitud.

RANGO DE ALTURA (m.s.n.m.)	ÁREA (%)	POBLACIÓN (%)	OFERTA HÍDRICA (%)
>3000	9	1	4
1000-3000	35	66	34
<1000	56	33	62

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente 2002.

RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO

Empleando el procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge, se obtuvo los siguientes resultados:

Precipitación media anual en el área de estudio: 665.288.946,00 m³/año.

Evapotranspiración real: 242.363.796,00 m³/año.

Caudal medio anual: 422.925.149,57 m³/año.

Coefficiente de escorrentía: 63,6%.

Con el coeficiente de escorrentía encontrado se tiene que el 63,3% de la precipitación se convierte en escorrentía y el 36,43% restante se pierde por evapotranspiración.

Según Cavelier (1991), el valor promedio de la evapotranspiración para bosques montanos bajos es de 1.225 mm/año, con una gama entre 1.155 y 1.295 mm/año. Este promedio no es demasiado inferior al

registrado en bosques húmedos tropicales de tierras bajas, donde la evapotranspiración media es de 1.415 mm/año. Sin embargo, en los bosques nublados y páramos, la evapotranspiración es significativamente inferior a la de los bosques montanos de poca altitud debido a las bajas temperaturas y por lo tanto, a las menores posibilidades de evaporación. Lo anterior queda demostrado con el valor promedio de la evapotranspiración estimada para la zona de estudio, el cual es de 744,53 mm/año, presentando el área estudiada una altura media de 2.743,24 m.s.n.m.

CAUDALES MÍNIMOS

En la Tabla 20 se presenta los caudales mínimos medios anuales (m^3/s) para un periodo de retorno TR de las subcuencas del área de estudio.

Los resultados de la Tabla 20 se interpretan de la siguiente manera: por ejemplo, para la subcuenca del río Chico se tiene un caudal mínimo de $0,4122 m^3/s$ asociado a un periodo de retorno de 25 años, ello indica que se espera que ocurra una vez un caudal mínimo de $0,4122 m^3/s$ o superior durante ese tiempo. A medida que se estiman caudales mínimos con periodos de retorno cada vez mayores, existe la probabilidad de que el valor de los caudales mínimos disminuya.

El caudal mínimo promedio anual para el AME para un periodo de retorno de 10 años fue de $0,106 m^3/s$; para un periodo de retorno de 15 años fue de $0,095 m^3/s$; para un periodo de retorno de 20 años fue de $0,088 m^3/s$ y para un periodo de retorno de 25 años fue de $0,082 m^3/s$.

El estudio de eventos extremos siempre ha sido de gran importancia para la hidrología, ya que estos son definitivos para diseñar obras civiles que garanticen seguridad y mejores condiciones de vida a las comunidades. En el presente caso los resultados obtenidos para los caudales mínimos, pueden ser una guía para el diseño de obras civiles destinadas a la prestación del servicio de acueducto de la zona estudiada. Estos caudales representan la disponibilidad mínima del recurso hídrico de que dispondrá la comunidad de la zona en épocas de poca precipitación.

Tabla 20. Caudal mínimo medio anual (m^3/s) para varios periodos de retorno TR de las subcuencas del área de estudio.

NOMBRE	PERIODO DE RETORNO (años)			
	10	15	20	25
Quebrada la Sucia	0,0086	0,0080	0,0075	0,0072
Quebrada Grande	0,0250	0,0228	0,0214	0,0202
Quebrada La Sopetrana	0,0493	0,0448	0,0419	0,0397
Quebrada Miranda	0,0184	0,0171	0,0162	0,0155
Quebrada Yuna	0,0219	0,0202	0,0191	0,0182
Quebrada La Nuarque	0,0625	0,0569	0,0533	0,0505
Quebrada Juan García	0,2701	0,2406	0,2219	0,2072
Quebrada de Rodas	0,0046	0,0042	0,0040	0,0039
Quebrada Penà	0,0468	0,0418	0,0386	0,0361
Quebrada San Pedro	0,0288	0,0256	0,0236	0,0220
Quebrada Tesorerito	0,0133	0,0121	0,0114	0,0108
Quebrada Santa María	0,1272	0,1122	0,1026	0,0951
Quebrada Santa Inés	0,2005	0,1786	0,1647	0,1537
Quebrada San José 1	0,0516	0,0477	0,0452	0,0432
Río San Andrés	0,2645	0,2371	0,2197	0,2060
Quebrada Quebradona	0,2230	0,2012	0,1874	0,1765
Quebrada El Valle	0,0936	0,0854	0,0801	0,0760
Quebrada Candelaria	0,2713	0,2437	0,2261	0,2122
Quebrada San José 2	0,0994	0,0906	0,0850	0,0806
Quebrada La Torura	0,1285	0,1164	0,1086	0,1026
Río Chico	0,5603	0,4910	0,4469	0,4122
Quebrada San Francisco	0,0237	0,0214	0,0200	0,0188
Quebrada El Herrero	0,00198	0,00184	0,00176	0,00169
Quebrada Los Laureles	0,0031	0,0029	0,0027	0,0026
Quebrada Quebradita	0,0486	0,0449	0,0425	0,0406

VALIDACIÓN DE RESULTADOS

CAUDALES MEDIOS

Luego de haber calculado los caudales medios por los diferentes métodos, se procedió a realizar la corrección o ajuste por rezago; éste se realizó para cuatro meses contiguos, seleccionando los porcentajes de rezago que, por tanteo, minimizaran la suma de cuadrados del error, además de que la gráfica correspondiente a la cuenca presentara un comportamiento lo más similar posible al presentado por la gráfica de los registros de la estación RG – 10 “La Ye”, esto es, que los meses de precipitaciones máximas y mínimas coincidieran. Los porcentajes de rezago hallados fueron: 51,3% para el propio mes, 16,5% para el mes siguiente, 16,2% para el segundo mes siguiente y 16% para el tercer mes siguiente.

En la Tabla 21 se presentan los caudales medios mensuales en m^3/s observados y estimados mediante los métodos de Holdridge, de Thornthwaite, de Blaney – Criddle y de García – López, con la corrección por rezago, y en la Figura 7 se presenta caudales medios mensuales en m^3/s del Río Chico observados y estimados por los diferentes métodos antes mencionados.

Tabla 21. Caudales medios mensuales en m^3/s observados y estimados mediante los métodos de Holdridge, de Thornthwaite, de Blaney – Criddle y de García – López, con la corrección por rezago.

Método	Caudales en m^3/s											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Estación Hidrométrica	3,46	3,27	3,72	4,83	5,76	4,69	3,99	3,97	4,95	6,78	6,62	5,01
Holdridge	3,79	3,18	3,20	6,06	8,26	7,87	7,50	7,08	7,95	9,20	8,60	6,28
Thornthwaite	4,25	3,48	3,62	6,45	8,67	8,28	7,96	7,56	8,36	9,67	9,02	6,73
Blaney-Criddle	3,26	2,66	2,61	5,39	7,53	7,08	6,69	6,28	7,20	8,51	8,00	5,73
García-López	5,85	5,26	5,26	8,10	10,28	9,86	9,50	9,07	9,97	11,24	10,66	8,34

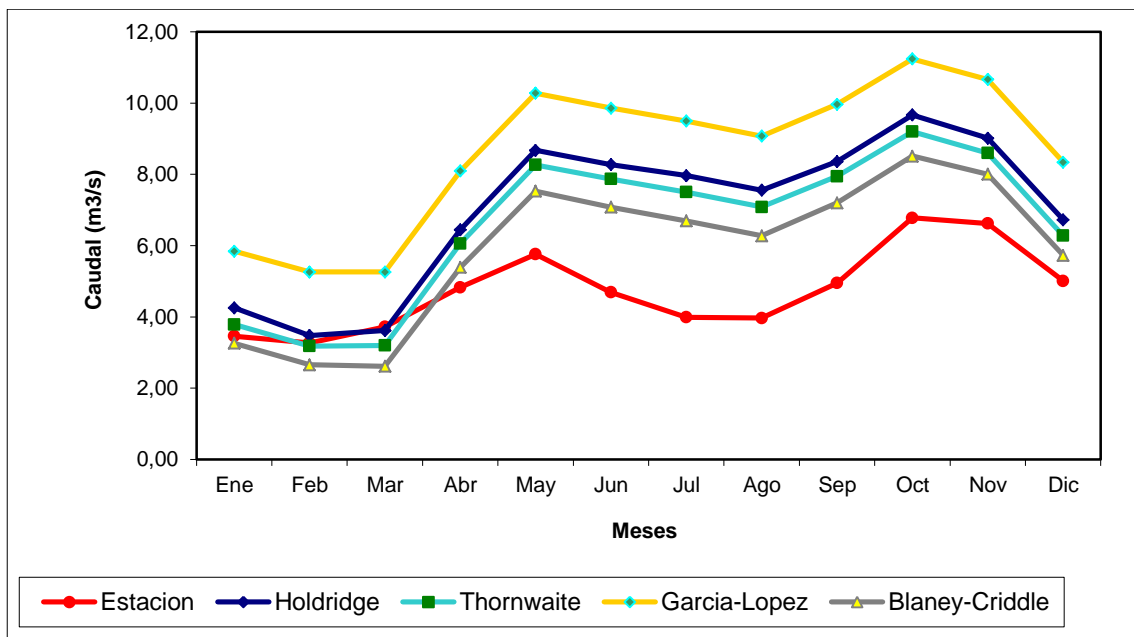


Figura 7. Caudales medios mensuales en m³/s del Río Chico, observados y estimados mediante los métodos de Holdridge, de Thornthwaite, de Blaney – Criddle y de García – López.

CRITERIOS PARA EVALUAR LOS DIFERENTES MÉTODOS

Relación porcentual y suma de los cuadrados del error

En la Tabla 22 se presentan los valores porcentuales y suma de los cuadrados del error para los diferentes métodos de cálculo de caudal.

Tabla 22. Valores porcentuales y suma de los cuadrados del error (sce) para los diferentes métodos de cálculo de caudal.

Método	%	sce
Holdridge	76.77	60.72
Thornthwaite	71.34	81.95
Blaney-Criddle	90.62	90.69
García-López	56.10	198.73

Según el marco de referencia, se puede observar que los valores porcentuales que están entre los rangos más similares, son los correspondientes a los métodos de Holdridge y Thornthwaite por lo tanto son los que mejor estimarían los caudales de la cuenca.

Observando los valores de la suma de los cuadrados del error en la Tabla 8, se puede determinar que el menor valor corresponde al resultado dado al aplicar el método de Holdridge, estableciéndose por medio de este criterio que este método es el que presenta los resultados más similares a los reales.

Prueba de rangos múltiples

Se realizó una prueba de rangos múltiples entre las medias de los caudales registrados en la estación RG – 10 “La Ye” y las medias de los caudales estimados mediante los diferentes modelos. Mediante la prueba de la mínima diferencia significativa (al 95% de confianza), se estableció que no existen diferencia estadísticamente significativas entre las medias de los registros de la estación y los modelos de Holdridge y Blaney-Criddle.

En la Figura 8 se presenta la prueba de rangos múltiples para caudales medios mensuales en m^3/s del Río Chico, observados (E) y estimados mediante los diferentes modelos (H = Holdridge, Bc = Blaney-Criddle, Th = Thornthwaite, GL = García-López).

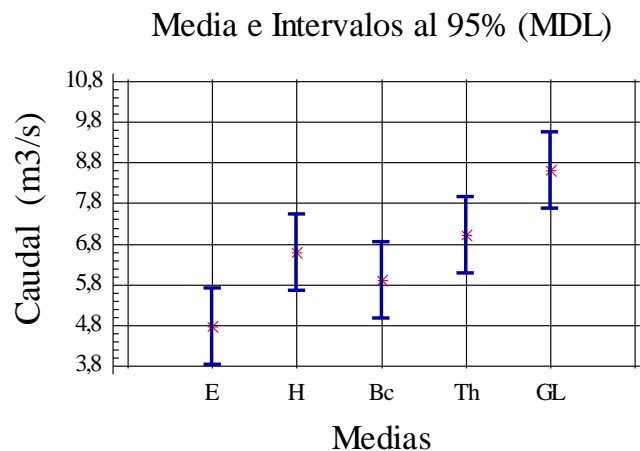


Figura 8. Prueba de rangos múltiples para caudales medios mensuales en m^3/s del Río Chico, observados (E) y estimados mediante los diferentes modelos (H = Holdridge, Bc = Blaney-Criddle, Th = Thornthwaite, GL = García-López).

CONCLUSIONES

La mayor importancia del Área de Manejo Especial (AME) “Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño”, radica en que es un área considerada como una verdadera “fábrica de agua”, en especial las zonas de páramo, ya que es allí donde se originan gran cantidad de fuentes de agua potable que abastecen y satisfacen las necesidades básicas de las poblaciones humanas y animales que ocupan áreas circunvecinas a éste y otras que indirectamente reciben igual beneficio de la oferta hídrica, como las grandes concentraciones de población ubicadas en la ciudad de Medellín, mediante el sistema de aprovechamiento múltiple de la cuenca de Río Grande, las cuales cada vez más, requieren de los servicios básicos por sus dinámicas de crecimiento.

Lo anterior queda demostrado con los resultados obtenidos en el presente estudio, a través de los cuales se puede apreciar, la importante oferta hídrica que provee dicho Sistema. Como lo demuestra el hecho de que el área estudiada contribuye con el 16,65% del agua que llega anualmente al embalse de Riogrande II.

El área de estudio presenta una precipitación media anual (1.847,4 mm), menor que la precipitación media anual de Colombia (3.000 mm) y mayor que el promedio anual de Suramérica (1.600 mm).

La oferta hídrica del Sistema estudiado (39,032 l/s/km²), es menor que la oferta hídrica promedia de Colombia (58 l/s/km²) y mayor que la oferta hídrica promedia suramericana (21 l/s/km²).

El área del AME corresponde al 0,73% del total del área del ecosistema de Alta Montaña de Colombia, y su oferta hídrica aporta el 0,64% del total de la oferta hídrica de los ecosistemas de Alta Montaña colombianos.

Si consideramos en Colombia una oferta hídrica de 2.000 (km³/año), la oferta hídrica del AME corresponde a un 0,02115% de dicha oferta nacional.

La estimación de caudales por métodos indirectos por medio de fórmulas predeterminadas, tienen un gran uso y son de gran utilidad en regiones o cuencas que no cuentan con registros climatológicos ni meteorológicos, lo importante es utilizar el método adecuado a la cuenca que estemos estudiando,

teniendo en cuenta los datos que se necesiten en cada modelo. El método “Procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge” fue el que resulto más adecuado para la cuenca del Río Chico en comparación con los datos registrados en la estación RG – 10 “La Ye”. En parte porque involucra factores como la biotemperatura en la cual está involucrado el factor calórico con respecto a la vegetación; también refleja el ritmo y volumen de procesos fisiológicos de las plantas como la fotosíntesis, respiración y la transpiración.

El cálculo de la evapotranspiración con los diferentes modelos puede resultar con una diferencia marcada por las variables empleadas, ya que la incidencia de factores como la radiación solar, la humedad relativa de la zona, la presión atmosférica, los vientos, el grado de humedad del suelo y el tipo de plantas, deberían tenerse en cuenta para un correcto cálculo.

BIBLIOGRAFÍA

- BEDOYA, J. & JAIME, M. 2001. Valoración económica de los beneficios recreacionales proporcionados por el Parque de las Aguas en el área metropolitana del Valle de Aburrá. Trabajo de grado Economía, Facultad de Ciencias Humanas y Económicas Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 64 p.
- BOLAÑOS, H. 1995. Regionalización de caudales mínimos en el departamento de Antioquia. Trabajo de grado Ingeniería Civil, Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 150 p.
- CAVELIER, J. 1991. El ciclo del agua en bosques montanos: p. 70-83. En: C. Uribe (ed.). Bosques de Niebla de Colombia. Banco de Occidente, Bogotá. 200 p.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA (CORANTIOQUIA). 1997. Conservación, Ordenamiento y Manejo del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño. Tomo I: Diagnóstico biofísico, socio-económico y socio-cultural, Medellín. 322 p.
- CHAVES, B. & JARAMILLO, A. 1999. Regionalización de la temperatura del aire en Colombia. Avances en Recursos Hidráulicos, 6: 37-42.
- CHOW, V.T., Maidment, D.R. & MAYS, L.W. 1994. Hidrología Aplicada. McGraw-Hill, USA. 584 p.
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN (EPM). 1991. Anuario hidrometeorológico, volumen 1. Medellín. 178 p.
- EWEL, J. & MADRIZ, A. 1968. Zonas de vida de Venezuela, memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Caracas. 265 p.

- GENTRY, A. 1991. El Bosque nublado de Colombia: p. 13-21. En: C. Uribe (ed.). Bosques de Niebla de Colombia. Banco de Occidente, Bogotá. 200 p.
- GUZMÁN, O. & CASTRO, M. A. 1985. Estudio comparativo de fórmulas de evapotranspiración potencial en Colombia. HIMAT. No. 50; p. 1-154. Bogotá.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2000a. Estudio nacional del agua. Bogotá. 253 p.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2000b. Oferta y demanda del recurso hídrico en Colombia. Bogotá. 29 p.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2001. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Bogotá. 271 p.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2002. Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición HotSpot & Global Climatic Tensor. Bogotá. 387 p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2002. Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua. Disponible en: http://www.col.ops-oms.org/DIAA/2002/MINAMB_lineamientos.htm (consultada en septiembre 11 de 2004).
- MOLINA, A.M. 1997. El patrimonio agua: Hacia una revaloración del recurso hídrico en la zona de influencia del Embalse Riogrande II. Volumen 2. Trabajo de grado Magíster en Estudios Urbano Regionales, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 197 p. Parte de: El recurso agua como elemento ordenador del territorio, zona de influencia del Embalse Riogrande II.
- MUNICIPIO DE BELMIRA. 1993. Plan de Desarrollo Municipal. Belmira: El Municipio.

MUNICIPIO DE ENTRERIOS. 1993. Plan de Desarrollo Municipal. Entrerrios: El Municipio.

MUNICIPIO DE LIBORINA. 1997. Programa Agropecuario Municipal (PAM). Liborina: Comité Técnico UMATA.

MUNICIPIO DE SAN JOSÉ DE LA MONTAÑA. 1995. Plan de Desarrollo Municipal. San José de la Montaña: El Municipio.

VÁSQUEZ, G. 1990. Aprovechamiento múltiple del Río Grande: Desarrollo de un proyecto de planificación de recursos hidráulicos. Trabajo de grado Magíster en Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 142 p.

VÉLEZ, J. I., POVEDA, G. & MESA, O. J. 2000. Balances Hidrológicos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Minas. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Primera edición. Medellín. 150 p.

ANEXOS

ANEXO 1. Evapotranspiración real (mm/año) correspondiente a las subcuencas del área de estudio, obtenida mediante el “procedimiento de contabilidad de aguas para efectuar el balance hídrico detallado según Holdridge”.

NOMBRE	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (mm/año)
Quebrada la Sucia	704,9
Quebrada Grande	814,7
Quebrada La Sopetrana	847,8
Quebrada Miranda	848,3
Quebrada Yuna	795,2
Quebrada La Nuarque	824,7
Quebrada Juan García	755,34
Quebrada de Rodas	617,5
Quebrada Pená	759,4
Quebrada San Pedro	942,1
Quebrada Tesorerito	929,4
Quebrada Santa María	732,95
Quebrada Santa Inés	635,88
Quebrada San José 1	661,16
Río San Andrés	624,06
Quebrada Quebradona	646,48
Quebrada El Valle	688,31
Quebrada Candelaria	683,59
Quebrada San José 2	715
Quebrada La Torura	768,94
Río Chico	703,03
Quebrada San Francisco	760,11
Quebrada El Herrero	760,11
Quebrada Los Laureles	733
Quebrada Quebradita	661,16