ANALISIS DE BALANCE HIDRICO

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPTIMIZACIÓN ACUEDUCTOS RURAL - MORTIÑAL SECTOR ESCUELA DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO – CONTRATO No 2025-06

CONTRATANTE:

EMPRESA DE RENOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA DE SOGAMOSO ERI SAS
NIT: 901.881.213-1

CONTRATISTA:

AQUACIVIL SAS BIC
NIT: 900.930.173-0

SUPERVISOR:

INGENIERO JULIAN URRUTIA

REPUBLICA DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ
MUNICIPIO DE SOGAMOSO
2025
INFORME FINAL

ANALISIS DE BALANCE HIDRICO

CÓDIGO:
DPTAP 01

Cargo	Responsable	Firma
Firma Consultoría	**AQUACIVIL SAS BIC**	
Ingeniero Hidráulico	**EDGAR LEONARDO PRECIADO M.** Ingeniero Civil – Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental	
Supervisor del contrato	**INGENIERO JULIAN URRUTIA**	

_____

EDGAR LEONARDO PRECIADO M.
Ingeniero Civil

ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA LAS FUENTES ABASTECEDORAS DEL ACUEDUCTO MORTIÑAL

SOGAMOSO
SEPTIEMBRE, 2005

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN 5
LOCALIZACIÓN 6
UNIDAD HIDROGRÁFICA OBJETO DE ANÁLISIS 14
HIDROLOGÍA 35
MODELO HIDROLÓGICO 49
METODOLOGÍAS DE AFORO DIRECTO EN NACIMIENTOS 77
ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... **¡Error! Marcador no definido.**

- INTRODUCCIÓN

El acueducto rural Mortiñal se ubica en la vereda Mortiñal, municipio de Sogamoso, Boyacá, y está destinado al abastecimiento domiciliario de la población veredal. La fuente de abastecimiento corresponde a un nacimiento (afloramiento natural) localizado en la cuenca alta del río Chicamocha, dentro de la microcuenca del río Monquirá [2403010905].

Aunque el punto de captación no constituye una fuente hídrica superficial con un área aferente amplia, se trata de un afloramiento natural situado en la parte alta de la microcuenca y, por tanto, su aporte depende de las características de recarga locales y de la dinámica hidrológica de la cabecera. La ubicación y la clasificación de la microcuenca se respaldan en la cartografía aprobada por el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Chicamocha – NSS [2403-1], aprobado mediante Resolución CORPOBOYACÁ No. 2012 de 30 de mayo de 2018, lo que sirve de base para la delimitación y manejo del recurso hídrico en la zona.

Asimismo, se incluyen aspectos relacionados con la normatividad ambiental vigente, considerando lineamientos de autoridades competentes como CORPOBOYACÁ y los instrumentos de planificación territorial, con el fin de asegurar que el uso del agua se dé en armonía con los objetivos de protección ambiental establecidos para el territorio.

Una vez captada, el agua es conducida por gravedad a través de una línea de aducción cerrada, compuesta por tubería resistente a las condiciones del terreno, la cual minimiza pérdidas y reduce el riesgo de contaminación, esta conducción permite trasladar el recurso hacia tanques de almacenamiento ubicados estratégicamente para regular el flujo y facilitar su posterior distribución. El sistema ha sido adaptado a la dinámica rural de la zona, permitiendo que el suministro llegue de manera continua y segura a los usuarios, incluso en momentos de alta demanda.

- LOCALIZACIÓN

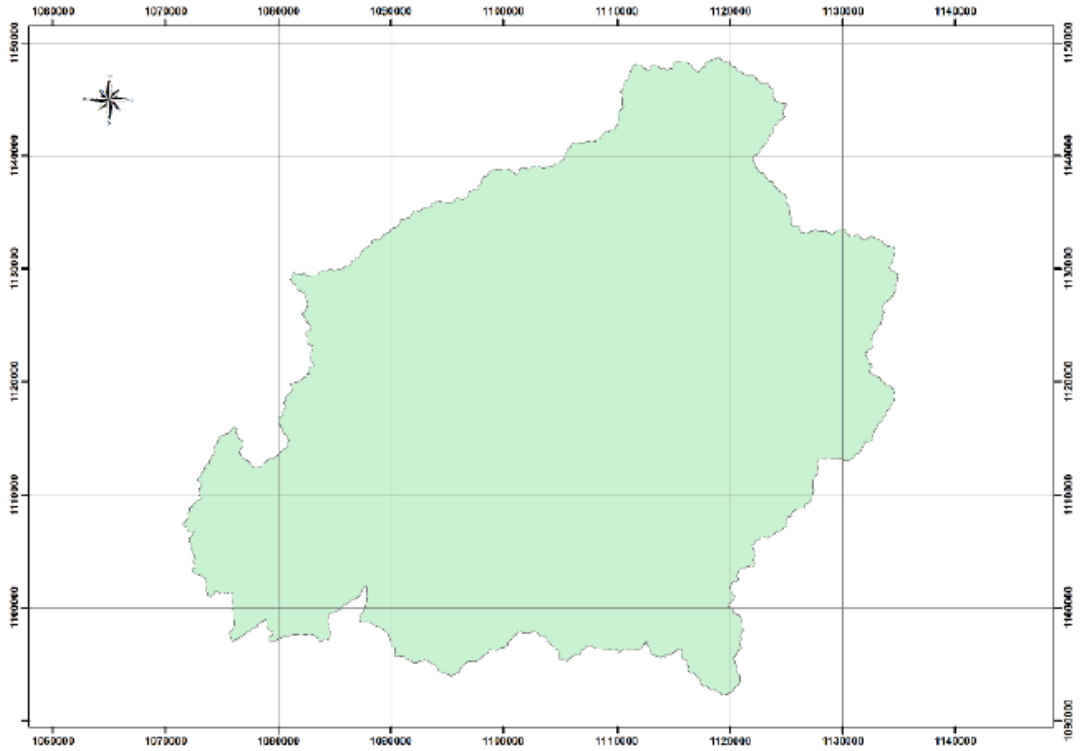
La cuenca alta del río Chicamocha comprende un total de 24 municipios correspondientes a Chivatá, Cómbita, Corrales, Cuítiva, Duitama, Firavitoba, Iza, Motavita, Nobsa, Oicatá, Paipa, Pesca, Santa Rosa de Viterbo, Siachoque, Sogamoso, Sora, Soracá, Sotaquirá, Tibasosa, Toca, Tópaga, Tota, Tunja y Tuta. Abarca un área total de 214591 hectáreas.

Tabla 1 Municipios contemplados dentro de la cuenta del río alto Chicamocha

No.	Municipio	Area municipal total (has)	Area municipal en cuenca (has)	% municipio en cuenca	% municipio total
1	CHIVATA	4953.23	4953.23	2.31	100.00
2	COMBITA	14523.68	9222.76	4.29	63.50
3	CORRALES	6085.17	328.28	0.15	5.39
4	CUITIVA	4413.32	2347.43	1.09	53.19
5	DUITAMA	23399.17	13835.26	6.44	59.13
6	FIRAVITOBA	10932.94	10932.94	5.09	100.00
7	IZA	3424.78	3424.74	1.59	100.00
8	MOTAVITA	6004.96	4427.53	2.06	73.73
9	NOBSA	5485.06	5476.80	2.55	99.85
10	OICATA	6030.22	6030.22	2.81	100.00
11	PAIPA	30511.16	17564.18	8.18	57.57
12	PESCA	26309.26	16670.79	7.76	63.36
13	SANTA ROSA DE VITERBO	11670.99	8384.61	3.90	71.84
14	SIACHOQUE	11922.30	11773.51	5.48	98.75
15	SOGAMOSO	20892.64	13129.07	6.11	62.84
16	SORA	4784.50	1124.91	0.52	23.51
17	SORACA	5575.78	3437.59	1.60	61.65
18	SOTAQUIRA	28508.38	19880.86	9.26	69.74
19	TIBASOSA	9374.99	9374.99	4.37	100.00
20	TOCA	16825.19	16825.19	7.83	100.00
21	TOPAGA	3362.82	482.26	0.22	14.34
22	TOTA	19604.61	9927.62	4.62	50.64
23	TUNJA	11972.25	8502.30	3.95	70.89
24	TUTA	16554.04	16554.04	7.71	100.00

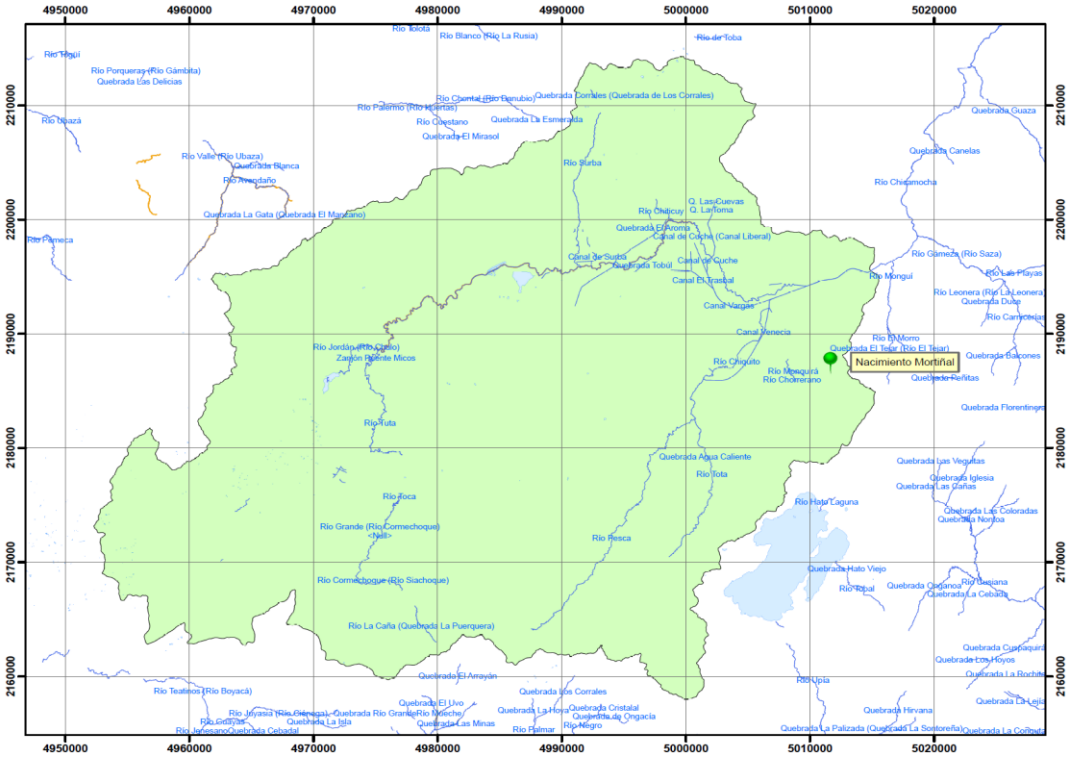
Fuente: Consorcio POMCA

Figura 1 Limite cuenca alto Chicamocha



Fuente: Consorcio POMCA

Figura 2 Georreferenciación del punto de abastecimiento del acueducto Mortiñal



Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

DELIMITACIÓN DE SUBCUENCAS Y MICROCUENCAS ABASTECEDORAS DE CENTROS URBANOS Y CENTROS POBLADOS.

La delimitación permite conocer la distribución de las unidades de menor jerarquía de la cuenca alta del río Chicamocha, lo cual tiene sentido para los fines de implementar las directrices de gestión y planificación ambiental del territorio, por otro lado, es importante tener identificadas las áreas de drenaje de nivel subsiguiente a la cuenca, puesto que tiene otras funcionalidades tales como:

- *"Identifica y define los límites y fronteras para el modelamiento de escenarios de estado y dinámica importante tener identificadas las áreas de drenaje de nivel subsiguiente de los recursos hídricos, facilita los estudios y cálculos de la disponibilidad, oferta y demanda del recurso hídrico, orienta el diseño de la red de monitoreo nacional de la calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas, Permite regionalizar variables de oferta, demanda, calidad y riesgo hidrológico para mejorar la evaluación integral del recurso hídrico en la cual se basan las acciones y estrategias de administración y manejo en el marco de la Gestión Integrada de Recurso Hídrico (GIRH), facilita la sistematización de información y generación de productos de valor agregado en el SIRH" (IDEAM, 2013)*

- *"Un área de menor jerarquía simplemente comprende una subparte dentro de la jerarquía de cuencas mayores" (IDEAM, 2013), por lo tanto la delimitación de las unidades de menor jerarquía, tienen en cuenta las mismas consideraciones técnicas mencionadas en el numeral 0, dado que estas definen las unidades dentro de las cuales se presenta el ciclo hidrológico en un "área que drena por un solo cauce a un afluente de mayor jerarquía permitiendo conocer el caudal total drenado" (OMM, Guía de Prácticas Hidrológicas, 2011).*

Después de realizado todo el trabajo de delimitación de las unidades subsiguientes a la cuenca alta del río Chicamocha, se establece que ésta se subdivide en 11 subcuencas y 46 microcuencas abastecedoras de centros poblados y urbanos.

CODIFICACIÓN DE SUBCUENCAS Y MICROCUENCAS ABASTECEDORAS DE CENTROS URBANOS Y CENTROS POBLADOS.

La codificación de unidades hidrográficas de Colombia parte de una división mayor en áreas hidrográficas que se asocian a grandes vertientes las cuales son: Atlántico, Pacifico, Orinoco, Amazonas y Magdalena-Cauca, si bien la zona hidrográfica Magdalena-Cauca tributa finalmente a la vertiente del Atlántico se analiza como un área independiente dada su gran importancia socioeconómica para el desarrollo del país (IDEAM, 2013).

El proceso de codificación es realizado posterior al proceso de delimitación de las unidades de orden subsiguiente a la cuenca alta del río Chicamocha y se realiza teniendo en cuenta el sistema utilizado por (IDEAM, 2013), el cual está compuesto por una llave primaria que corresponden a los tres dígitos iniciales establecidos a partir de la zonificación hidrográfica desarrollada por el IDEAM en colaboración con el IGAC; los dígitos restantes corresponden a la llave foránea, y se conforman de la siguiente manera: los dos dígitos iniciales codifican las unidades hidrográficas de nivel uno (1) otorgados por la Corporación Regional que posea la jurisdicción, dos dígitos seguidos a los dígitos anteriores que representan las unidades hidrográficas de nivel dos (2), para los niveles siguientes 3, 4, etc. se aplica la misma metodología de codificación que para el nivel dos (2). La Tabla 74, referencia la compresión de la metodología, donde la jerarquización permite generar un código de 10 dígitos que identifica la unidad hidrográfica dentro del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) de Colombia.

Tabla 2 Sistema de codificación de unidades hidrográficas

	Llave Primaria			Llave Foránea		
Nivel				1	2	3
Código	#	#	##	##	##	##
Descripción	Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Subzona Hidrográfica	Nivel I Unidades Hidrográficas	Nivel II Unidades Hidrográficas	Nivel III Unidades Hidrográficas

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM.

La cuenca alta del río Chicamocha corresponde a una unidad hidrográfica de Nivel I, la cual se enmarca dentro de la Subzona Hidrográfica del río Chicamocha y a su vez en la Zona Hidrográfica del río Sogamoso tributario del Área Hidrográfica del Magdalena-Cauca. Bajo este orden jerárquico el código que le corresponde a la cuenca alta del río Chicamocha se presenta a continuación.

2	4	0	3	0	1

Los primeros cuatro (4) dígitos corresponden a la zonificación hidrográfica nacional la cual es establecida por (IDEAM, 2013). El primer dígito corresponde al área hidrográfica (2 para Magdalena-Cauca), el segundo dígito hace referencia a la zona hidrográfica (4 para el río Sogamoso), el tercer y cuarto dígito se refieren a la subzona hidrográfica (03 para el río Chicamocha); finalmente los dígitos quinto y sexto son dados por (Corpoboyacá, 2014) y hacen referencia a la cuenca alta del río Chicamocha.

Tabla 3 Codificación de las subcuencas de la cuenca alta del río Chicamocha

Código					Nombre				
Llave Primaria			Llave Foránea						
Nivel			1	2	Nivel			1	2
2	4	3	1	01	Magdalena Cauca	Río Sogamoso	Río Chicamocha	Alto Chicamocha	Directos Alto Chicamocha
2	4	3	1	02					Río Chiticuy
2	4	3	1	03					Río Surba
2	4	3	1	04					Quebrada Toibita
2	4	3	1	05					Río Sotaquirá
2	4	3	1	06					Río de piedras
2	4	3	1	07					Río Jordán
2	4	3	1	08					Río Tuta
2	4	3	1	09					Río Chiquito
2	4	3	1	10					Quebrada El Aroma
2	4	3	1	11					Quebrada Honda Grande

Fuente: Consorcio POMCA

Tabla 4 Codificación de las microcuencas abastecedoras de la cuenca alta del río Chicamocha.

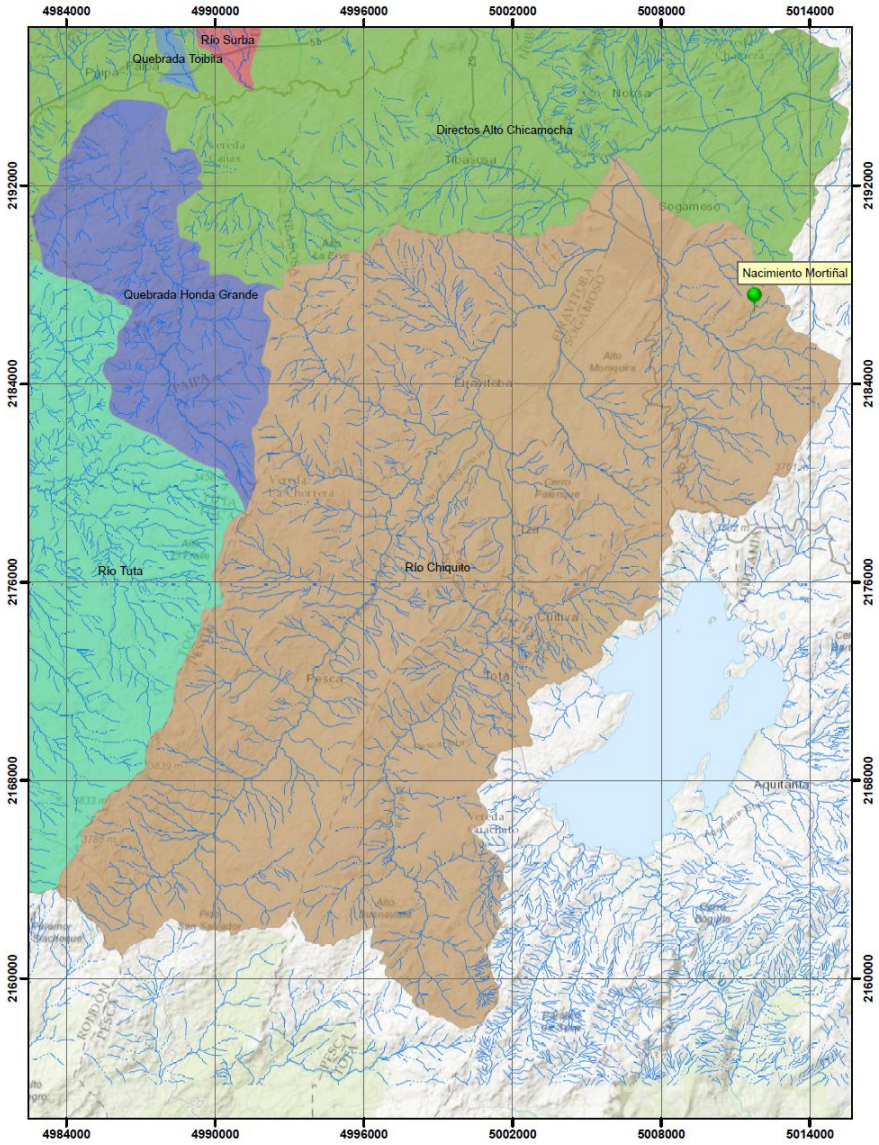
Código						Nombre					
Llave primaria			Llave foránea								
Nivel u.h.			1	2	3	Nivel u.h.			1	2	3
2	4	03	01	01	01	Magdalena-Cauca	Sogamoso	Río Chicamocha	Alto Chicamocha	Directos Alto Chicamocha	quebrada Chameza
2	4	03	01	01	02					Directos Alto Chicamocha	quebrada El Rosal
2	4	03	01	01	03					Directos Alto Chicamocha	quebrada Las Aguilas

2	4	03	01	01	04					Directos Alto Chicamocha	quebrada Maldita
2	4	03	01	01	05					Directos Alto Chicamocha	quebrada Las Despensas
2	4	03	01	01	06					Directos Alto Chicamocha	quebrada Varguitas
2	4	03	01	01	07					Directos Alto Chicamocha	quebrada La Selva
2	4	03	01	01	08					Directos Alto Chicamocha	quebrada Antonio
2	4	03	01	01	09					Directos Alto Chicamocha	quebrada La Chorrera
2	4	03	01	01	10					Directos Alto Chicamocha	Sin toponimia 1
2	4	03	01	01	11					Directos Alto Chicamocha	Sin toponimia 2
2	4	03	01	01	12					Directos Alto Chicamocha	quebrada Grande
2	4	03	01	02	01					Río Chiticuy	quebrada Munevar
2	4	03	01	02	02					Río Chiticuy	quebrada Honda (Q_Las Flores)
2	4	03	01	02	03					Río Chiticuy	quebrada Boyacogua
2	4	03	01	03	01					Río Surba	quebrada Las Ánimas
2	4	03	01	03	02					Río Surba	quebrada Jote
2	4	03	01	04	01					Quebrada Toibita	quebrada Chorro Blanco
2	4	03	01	04	02					Quebrada Toibita	quebrada del Coconuco
2	4	03	01	05	01					Río Sotaquirá	río Ocusa
2	4	03	01	05	02					Río Sotaquirá	río Sotaquirá_Nacimiento
2	4	03	01	05	03					Río Sotaquirá	río Vargas
2	4	03	01	05	04					Río Sotaquirá	Dir_río Sotaquirá_entre río Vargas y desembocadura (mi)
2	4	03	01	06	01					Río de Piedras	quebrada Puente Tierra
2	4	03	01	06	02					Río de Piedras	quebrada El Guate
2	4	03	01	06	03					Río de Piedras	quebrada Toledo
2	4	03	01	06	04					Río de Piedras	quebrada San Miguel
2	4	03	01	07	01					Río Jordán	quebrada Paso Grande
2	4	03	01	07	02					Río Jordán	quebrada de Cómbita
2	4	03	01	07	03					Río Jordán	quebrada La Chorrera
2	4	03	01	07	04					Río Jordán	río La Vega
2	4	03	01	07	05					Río Jordán	quebrada Colorada
2	4	03	01	07	06					Río Jordán	quebrada Honda
2	4	03	01	07	07					Río Jordán	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (md)
2	4	03	01	07	08					Río Jordán	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)
2	4	03	01	08	01					Río Tuta	río Cormichoque
2	4	03	01	08	02					Río Tuta	río Toca
2	4	03	01	08	03					Río Tuta	río Chorrera
2	4	03	01	09	01					Río Chiquito	Río Pesca
2	4	03	01	09	02					Río Chiquito	Río Tota
2	4	03	01	09	03					Río Chiquito	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)
2	4	03	01	09	04					Río Chiquito	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)
2	4	03	01	09	05					Río Chiquito	Río Monquirá
2	4	03	01	11	01					Quebrada Honda Grande	quebrada Canocas
2	4	03	01	11	02					Quebrada Honda Grande	Quebrada Honda Grande_Nacimiento
2	4	03	01	11	03					Quebrada Honda Grande	Quebrada Agua Tibia

Fuente: Consorcio POMCA

Una vez consultada la cartografía oficial aprobada en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Chicamocha – NSS [2403-1], se determina que el punto proyectado para la captación del acueducto veredal Mortiñal se localiza dentro de la subcuenca del río Chiquito [243109]. Esta subcuenca hace parte de la cuenca alta del río Chicamocha y constituye la unidad hidrográfica inmediata que drena el sector donde se presenta el afloramiento natural de agua utilizado como fuente de abastecimiento.

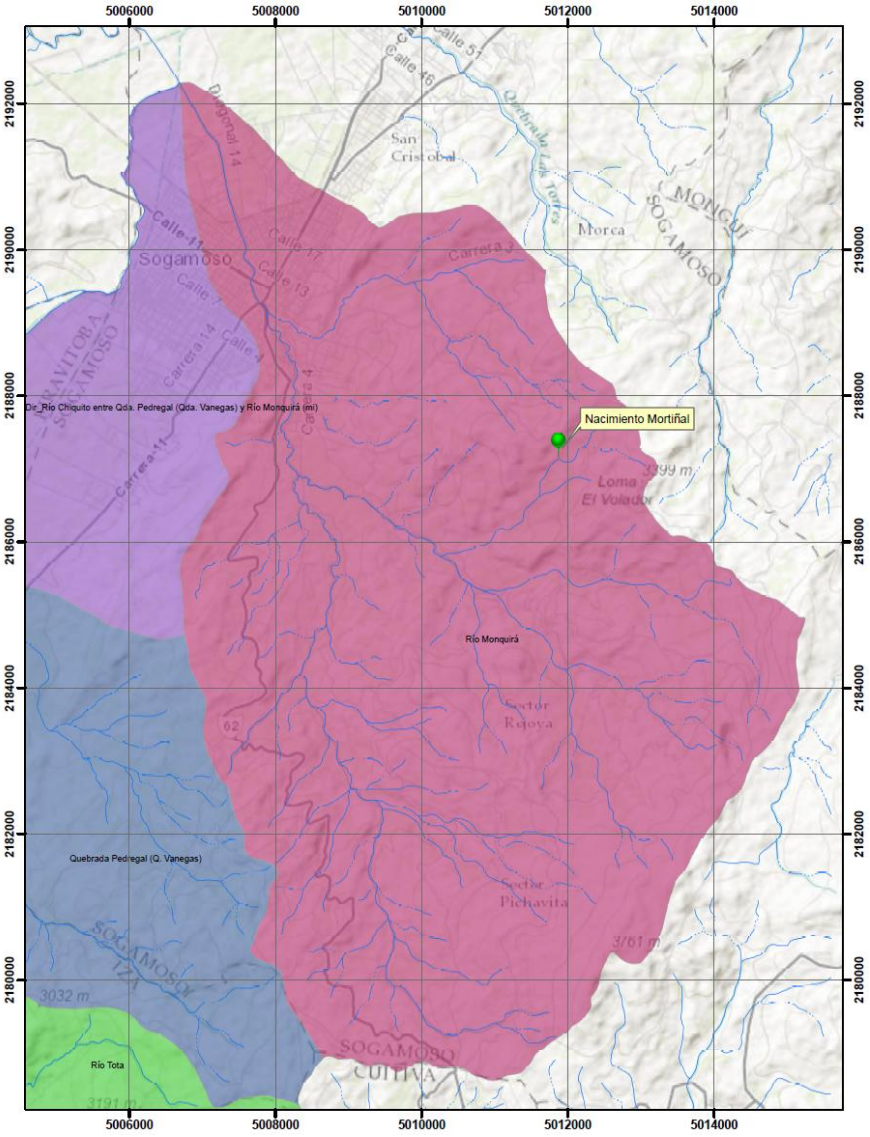
Figura 3 Georreferenciación de la subcuenca del río Chiquito



Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Posteriormente, al analizar el sistema de unidades hidrográficas subsiguientes dentro de la cuenca del río Chiquito [243109], se identifica que el nacimiento objeto de estudio se localiza específicamente en la microcuenca del río Moniquirá [2403010905]. Esta microcuenca constituye la unidad espacial inmediata donde se desarrolla la dinámica de recarga y descarga que da origen al afloramiento, y por tanto representa el ámbito hidrográfico relevante para la evaluación de la oferta hídrica del acueducto veredal Mortiñal.

Figura 4 Georreferenciación de la microcuenca del río Monquirá.



Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

- UNIDAD HIDROGRÁFICA OBJETO DE ANÁLISIS

La cuenca alta del río Chicamocha posee un sistema de drenaje compuesto por cuerpos de agua loticos como el río principal y los cauces tributarios, y cuerpos de agua lenticos como lagunas y embalses, posee un área total de 2147.70 km^2, con una longitud total de la red de drenaje de

4709.302 km, de lo cual se establece que tiene una densidad de la red de drenaje de 0.0219 m/m^2 es decir 0.0219 metros de cauces por cada m^2 de área, de acuerdo al grado de ramificación la cuenca alta del río Chicamocha es de orden siete (7).

En general la cuenca alta del río Chicamocha presenta en su mayoría un patrón de drenaje de tipo dendrítico en las partes con mayor elevación y un patrón de drenaje de tipo enrejado en las zonas de menor elevación, a partir de estas características se puede inferir que hay una erosión uniforme en la parte alta que no genera un control sobre la dirección de los cauces, y que en las partes de menor elevación hay una erosión más marcada o que se presentan una geología de rocas fracturadas de forma paralela. Referente al tipo de patrón de alineamiento, los cauces se conforman en un único canal de flujo, constituido por curvas de sentido contrario conectadas por tramos rectos, lo cual le da la forma meándrica, es decir serpenteante.

Las características principales de la red de drenaje de la subcuenca objeto de análisis se presentan en la siguiente tabla. Esta información incluye el código y nombre de la cuenca, el orden o jerarquía hidrográfica asignado a la unidad de subcuenca, la longitud total de la red de drenaje, el área de la subcuenca, así como el patrón de drenaje y el alineamiento dominante identificados a partir de la cartografía básica y temática disponible. Estos parámetros permiten caracterizar la estructura geomorfológica e hidrológica de la unidad hidrográfica, y constituyen la base para la interpretación del comportamiento del escurrimiento y de los procesos de recarga que influyen en la oferta hídrica del nacimiento utilizado por el acueducto veredal Mortiñal.

Tabla 5 Descripción del patrón del drenaje por subcuenca

Código Subcuenca	Nombre Subcuenca	Descripción del patrón de drenaje
		del cauce principal muestran alto grado de ramificación, estableciéndose para estos un patrón de drenaje de tipo dendrítico.
24030107	Río Jordán o (Río Jordán)	La cuenca presenta un alto grado de bifurcación y ramificación con similitud a las ramas de un árbol, de lo cual se establece que en general posee un patrón de drenaje dendrítico, pero con presencia de lagunas mostrando en algunos sectores un patrón de drenaje multicharca.
24030108	Río Tuta	Se identifica en gran parte de la unidad, la bifurcación de la red con similitud a la forma de un árbol , estableciendo un patrón de drenaje de tipo dendrítico, pero en algunos sectores los cauces poseen una estructura de patrón enrejado con cauces cortos que entran perpendicularmente a su efluente.
24030109	Río Chiquito	Los cauces tributarios en la parte alta presentan forma de árbol con alto grado de bifurcación generando un patrón de drenaje de tipo dendrítico, dichos cauces entran de forma perpendicular a un cauce central generando un patrón de drenaje de tipo enrejado.
24030110	Quebrada El Aroma	Los cauces de nivel subsiguiente se muestran alargados y prolongados, generando un patrón de drenaje de tipo paralelo.
24030111	Quebrada Honda Grande	Se aprecia un grado de bifurcación, a partir de lo cual se establece que posee un patrón de drenaje de tipo dendrítico.

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Tabla 6 Caracterización de la red de drenaje por unidades de subcuenca.

Código Subcuenca	Nombre Subcuenca	Orden	Long red de Drenaje (Km)	Área Subcuenca (Km2)	Densidad Red de Drenaje (Km/Km2)	Patrón de Drenaje	Patrón de Alineamiento
24030101	Directos Alto Chicamocha	7	744.483	401.742	1.853	Enrejado-Dendrítico	Meándrico
24030102	Río Chiticuy	5	237.223	82.028	2.892	Paralelo-Dendrítico	Meándrico
24030103	Río Surba	5	259.856	72.907	3.564	Dendrítico-Paralelo	Meándrico
24030104	Quebrada Toibita	4	71.509	19.264	3.712	Enrejado-Dendrítico	Meándrico
24030105	Río Sotaquirá	6	338.818	140.297	2.415	Dendrítico	Meándrico
24030106	Río de Piedras	5	128.629	54.824	2.346	Enrejado-Dendrítico	Meándrico
24030107	Río Jordán o (Río Jordán)	6	568.711	318.071	1.788	Dendrítico-Multicharca	Meándrico
24030108	Río Tuta	6	1090.699	445.411	2.449	Dendrítico-Enrejado	Meándrico
24030109	Río Chiquito	6	1074.4749	539.059	1.993	Enrejado-Dendrítico	Meándrico
24030110	Quebrada El Aroma	4	62.972	19.508	3.228	Paralelo	Meándrico
24030111	Quebrada Honda Grande	5	131.927	55.447	2.379	Dendrítico	Meándrico

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Posteriormente, se establecen las principales características de la red de drenaje para cada una de las microcuencas que conforman la subcuenca, así como la descripción del patrón de drenaje identificado en cada unidad hidrográfica. En el marco de este estudio, se destacan los resultados correspondientes a la microcuenca del río Moniquirá [2403010905], por tratarse de la unidad hidrográfica directamente asociada al nacimiento que abastece el acueducto veredal Mortiñal y, por lo tanto, constituir el objeto central del análisis hidrológico desarrollado.

Tabla 7 Descripción del patrón del drenaje por microcuencas

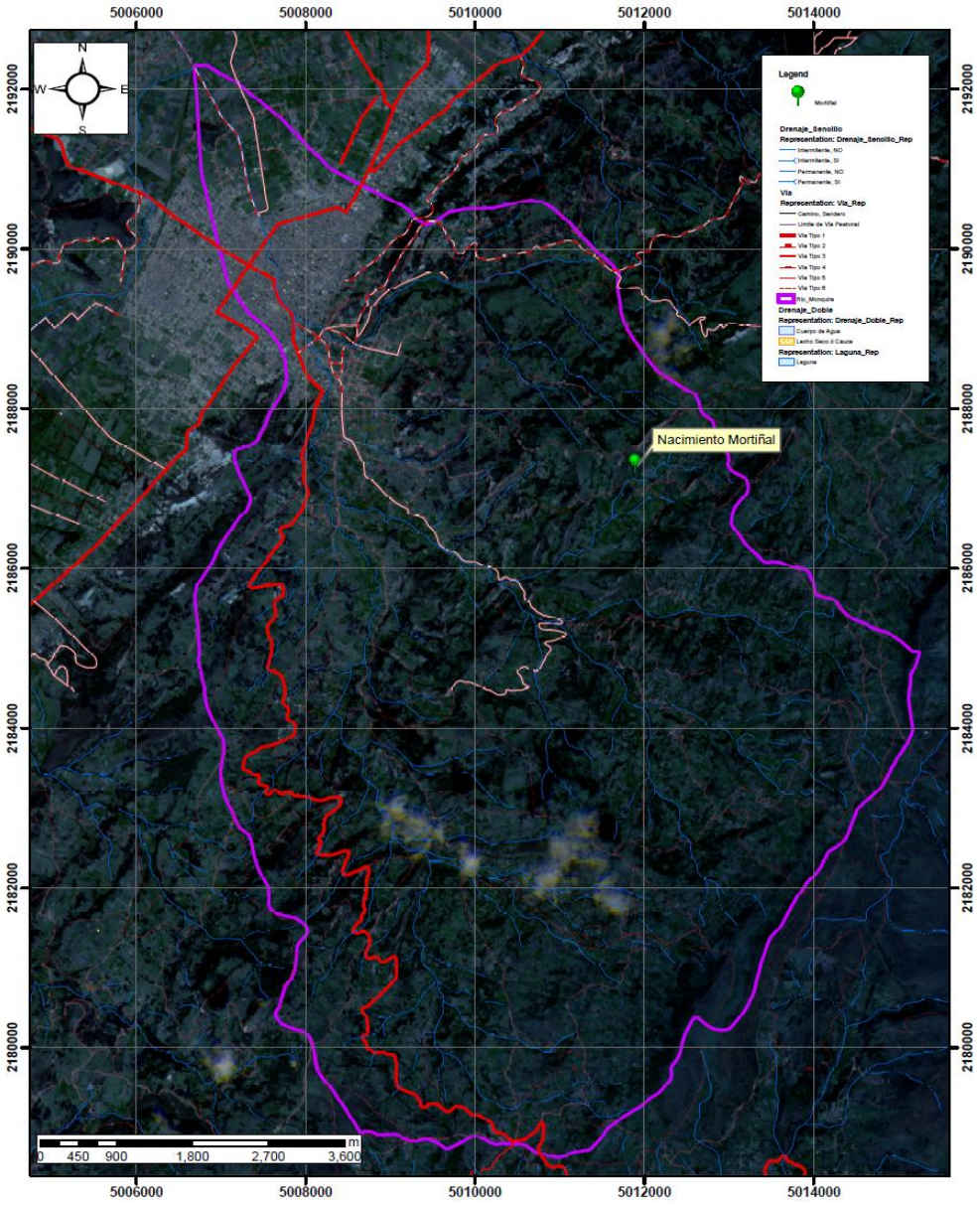
Código microcuenca	Nombre microcuenca	Descripción del patrón de drenaje
2403010707	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (m	Zonas altas: Los cauces tienen un comportamiento paralelo debido a la presencia de pendientes fuertes en dicha zona o la posible existencia de materiales con baja permeabilidad. Zonas bajas: Se evidencia un comportamiento rectangular en el cual se observa la llegada de los cauces al río principal de la unidad estudiada con ángulos de 90° aproximadamente y longitudes significativas.
2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	Predomina un comportamiento enrejado en el cual se evidencia la interacción de cauces cortos con ángulos de 90° aproximadamente.
2403010801	río Cormichoque	Zonas altas: Los cauces tributarios presentan forma de árbol con alto grado de bifurcación generando un patrón de drenaje de tipo dendrítico. Zonas bajas: Predomina un comportamiento enrejado en el cual se evidencia la interacción de cauces cortos con ángulos de 90° aproximadamente.
2403010802	río Toca	Los cauces tienen un comportamiento paralelo debido a la presencia de pendientes fuertes en dicha zona o la posible existencia de materiales con baja permeabilidad.
2403010803	río Chorrera	Los cauces tributarios presentan forma de árbol con alto grado de bifurcación generando un patrón de drenaje de tipo dendrítico.
2403010901	Río Pesca	Zonas altas: Predomina un comportamiento enrejado en el cual se evidencia la interacción de cauces cortos con ángulos de 90° aproximadamente. Zonas bajas: Los cauces tributarios presentan forma de árbol con alto grado de bifurcación generando un patrón de drenaje de tipo dendrítico.
2403010902	Río Tota	Zonas altas: Predomina un comportamiento enrejado en el cual se evidencia la interacción de cauces cortos con ángulos de 90° aproximadamente. Zonas bajas: Los cauces tributarios presentan forma de árbol con alto grado de bifurcación generando un patrón de drenaje de tipo dendrítico.
2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	Zonas altas: Los cauces tienen un comportamiento paralelo debido a la presencia de pendientes fuertes en dicha zona o la posible existencia de materiales con baja permeabilidad. Zonas bajas: Predomina un comportamiento enrejado en el cual se evidencia la interacción de cauces cortos con ángulos de 90° aproximadamente.
2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá	La cartografía base no relaciona cauces.
2403010905	Río Monquirá	Zonas altas: Los cauces tienen un comportamiento paralelo debido a la presencia de pendientes fuertes en dicha zona o la posible existencia de materiales con baja permeabilidad. Zonas bajas: Los cauces tributarios presentan forma de árbol con alto grado de bifurcación generando un patrón de drenaje de tipo dendrítico.

Tabla 8 Caracterización de la red de drenaje por unidades de microcuenca abastecedora.

Código microcuenca	Nombre microcuenca	Orden	Long. red de drenaje (Km)	Área microcuenca (Km2)	Densidad Red De Drenaje (Km/Km2)	Patrón De Drenaje	Patrón De Alineamiento
2403010705	quebrada Colorada	4	81.02	44.211	1.833	Dendrítico	Meándrico
2403010706	quebrada Honda	4	54.40	22.889	2.377	Dendrítico	Meándrico
2403010707	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (m	4	46.42	16.648	2.789	Paralelo-Rectangular	Meándrico
2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	2	56.15	5.264	10.667	Enrejado	Meándrico
2403010801	río Cormichoque	5	316.89	158.063	2.005	Dendrítico-Enrejado	Meándrico
2403010802	río Toca	3	54.46	28.555	1.907	Paralelo	Meándrico
2403010803	río Chorrera	5	192.84	66.774	2.888	Dendrítico	Meándrico
2403010901	Río Pesca	5	423.96	210.624	2.013	Enrejado-Dendrítico	Meándrico
2403010902	Río Tota	5	375.87	161.972	2.321	Enrejado-Dendrítico	Meándrico
2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	5	54.33	25.120	2.163	Paralelo-Enrejado	Meándrico
2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá	1	2.96	15.443	0.192		Meándrico
2403010905	Río Monquirá	6	125.67	71.172	1.766	Paralelo-Dendrítico	Meándrico
2403011101	quebrada Canocas	4	24.17	12.140	1.991	Enrejado-Rectangular	Meándrico
2403011102	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	3	30.48	12.023	2.535	Dendrítico	Meándrico
2403011103	Quebrada Agua Tibia	4	29.23	13.227	2.210	Dendrítico	Meándrico

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Figura 5 Cartografía base de la microcuenca objeto de análisis



ÁREA Y PERÍMETRO DE LA CUENCA

El área de la cuenca hidrográfica se define como la proyección horizontal delimitada por la línea de divorcio o parteaguas, siendo esta línea de divisoria la que define el límite de la cuenca uniendo los puntos topográficos de mayor elevación, la longitud de la línea de divorcio representa el perímetro de la cuenca.

La cuenca alta del río Chicamocha tiene un área correspondiente 2147.704 km^2 (214770.425 ha) y un perímetro de 262.402 km. Para los niveles II y III de unidades hidrográficas (subcuencas y microcuencas) se presenta a continuación el resumen del área y perímetro para cada una de ellas.

Tabla 9 Área y perímetro de las subcuencas del del río Chicamocha

Código	Nombre	Área		Perímetro (km)
		km2	ha	
Nivel I (Cuenca hidrográfica)				
240301	Cuenca alta del Río Chicamocha	2147.704	214770.425	262.402
Nivel II (Subcuencas hidrográfica)				
24030101	Directos Alto Chicamocha	366.077	36607.700	167.616
24030102	Río Chiticuy	82.028	8202.830	43.750
24030103	Río Surba	72.905	7290.531	53.972
24030104	Quebrada Toibita	19.263	1926.328	27.266
24030105	Río Sotaquirá	140.287	14028.708	59.833
24030106	Río de Piedras	54.818	5481.800	41.353
24030107	Río Jordán o (Río Jordán)	318.172	31817.220	100.249
24030108	Río Tuta	445.411	44541.137	95.561
24030109	Río Chiquito	539.059	53905.853	124.798
24030110	Quebrada El Aroma	28.301	2830.062	26.367
24030111	Quebrada Honda Grande	81.383	8138.255	49.221

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Tabla 10 Área y perímetro de las microcuencas del del río Chicamocha

Código	Nombre	Área		Perímetro
		km2	ha	(km)
2403010301	quebrada Las Ánimas	1.210	120.970	4.902
2403010302	quebrada Jote	1.534	153.409	6.945
2403010401	quebrada Chorro Blanco	6.712	671.199	12.444
2403010402	quebrada del Coconuco	4.740	474.011	9.336
2403010501	río Ocusa	80.882	8088.238	44.817
2403010502	río Sotaquirá_Nacimiento	6.896	689.626	12.720
2403010503	río Vargas	34.694	3469.365	24.868
2403010504	Dir_río Sotaquirá_entre río Vargas y desembocadura (mi)	3.844	384.444	10.826
2403010601	quebrada Puente Tierra	2.388	238.811	7.440
2403010602	quebrada El Guate	9.318	931.781	12.832
2403010603	quebrada Toledo	6.500	650.026	12.538
2403010604	quebrada San Miguel	7.808	780.756	12.050
2403010701	quebrada Paso Grande	20.551	2055.097	28.466
2403010702	quebrada de Cómbita	17.548	1754.824	18.468
2403010703	quebrada La Chorrera	10.984	1098.388	15.135
2403010704	río La Vega	78.254	7825.361	43.116
2403010705	quebrada Colorada	44.211	4421.088	37.627
2403010706	quebrada Honda	22.889	2288.920	22.434
2403010707	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (md)	16.648	1664.777	18.625
2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	5.264	526.378	12.991
2403010801	río Cormichoque	158.063	15806.314	54.195
2403010802	río Toca	28.555	2855.528	31.632
2403010803	río Chorrera	66.774	6677.373	40.402
2403010901	Río Pesca	210.624	21062.430	79.557
2403010902	Río Tota	161.972	16197.241	74.092
2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	25.120	2512.027	24.432
2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	15.443	1544.324	20.274
2403010905	Río Monquirá	71.172	7117.181	38.902

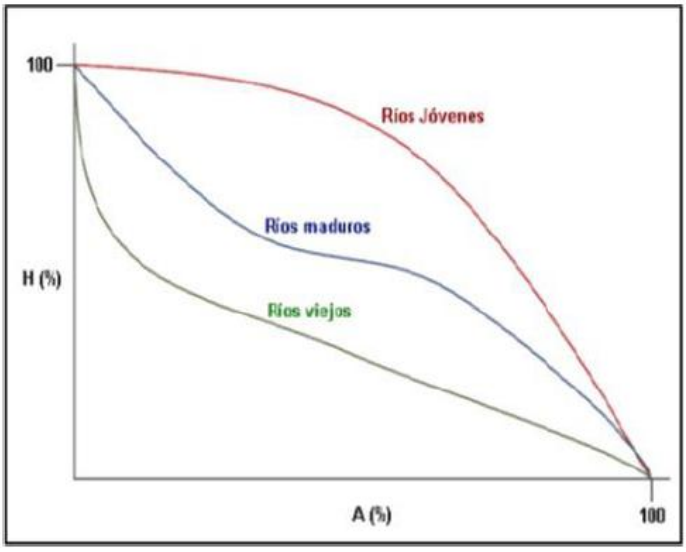
Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

RELIEVE DE LA CUENCA

Dentro de los aspectos a considerar en el relieve de la cuenca alta del río Chicamocha se tiene la curva hipsométrica, la elevación media de la cuenca y la pendiente media de la unidad hidrográfica.

La curva hipsométrica es la representación del relieve de la cuenca hidrográfica, donde se identifica la variación del terreno de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Esta variación se presenta por medio de un gráfico que representa el porcentaje de áreas de drenaje que existen por encima o por debajo de un nivel específico, las ordenadas de dicha gráfica corresponden a la elevación o cota, mientras que las abscisas representan el porcentaje de área acumulada de la cuenca hidrográfica

Figura 6 Curva hipsométrica



Fuente: Ibáñez Ascensio, 2004.

A partir del análisis de la curva hipsométrica se obtiene la relación hipsométrica (Rh), la cual corresponde a la relación entre el área sobre la curva (Ss) y el área bajo la curva (Si). Tanto el comportamiento de la curva hipsométrica, como el valor de la relación hipsométrica permiten clasificar la cuenca hidrográfica en función de su capacidad de transportar materiales y edad de la cuenca.

Tabla 11 Descripción de la relación hipsométrica

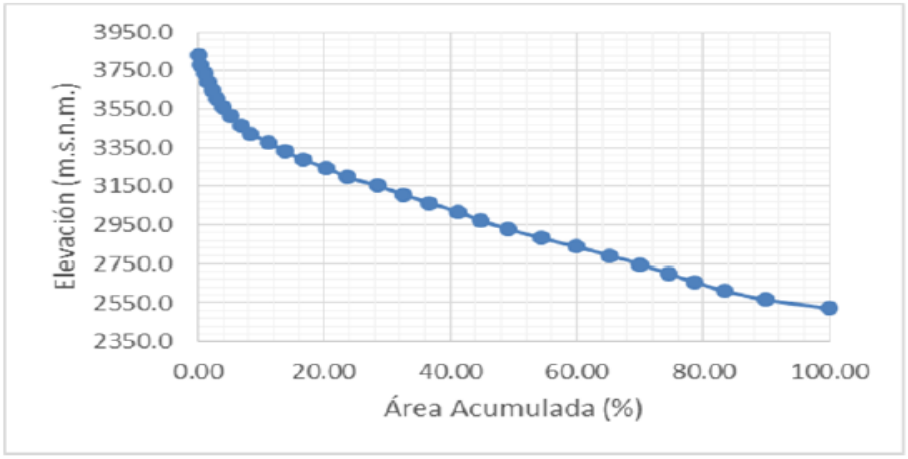
Relación hipsométrica (Rh)	Edad	Tipo de cuenca
Rh > 1.0	Viejo	Se considera como una cuenca de valle que deposita sedimentos.
Rh = 1.0	Maduro	Se considera como una cuenca intermedia y cuya función es transportar sedimentos.
Rh < 1.0	Joven	Este tipo de cuencas se consideran como cuencas de montaña altamente erosivas.

Fuente: Consorcio POMCA

Es de anotar que el área sobre la curva (Ss) y el área bajo la curva (Si) se obtienen gráficamente, donde se dibujan cada una de las curvas hipsométricas presentadas en este análisis.

En términos generales se puede concluir con respecto a la curva hipsométrica y la relación hipsométrica, que la cuenca alta del río Chicamocha tiene características de un río viejo, destacándose como un río que transporta sedimentos desde las zonas altas de la cuenca y los deposita en las zonas bajas de la misma.

Figura 7 Curva hipsométrica río Chiquito



Ss= 86516.39
Si= 43913.16
Rh= 2.0
Descripción= Río viejo. Cuenca de valle que deposita sedimentos.

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

ELEVACIÓN MEDIA

Corresponde a la elevación media con respecto al nivel del mar. Se estima a partir de análisis de estadística zonal incluidos en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Como insumo base, se considera el Modelo Digital de Elevación (MDE) de la cuenca alta del río Chicamocha con una resolución de celda de 8.0 x 8.0 metros. El MDE se intersecta con los Niveles I, II y III de unidades hidrográficas y mediante herramientas de estadística zonal se obtiene el valor de la elevación media de la cuenca alta del río Chicamocha

PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje. La pendiente media de la cuenca se obtiene mediante procesamiento SIG a partir del MDE, con el cual se elabora el mapa de pendientes y una vez definido dicho mapa se aplican herramientas de estadísticas zonales para determinar la pendiente media de la cuenca para los Niveles I, II y III de unidades hidrográficas

Tabla 12 Elevación media y pendiente media de las subcuencas del río Chicamocha

Código	Nombre	Elevación media (m.s.n.m.)	Pendiente media (%)
Nivel I (Cuenca hidrográfica)			
240301	Cuenca alta del Río Chicamocha	2873.5	17.4
Nivel II (Subcuencas hidrográfica)			
24030101	Directos Alto Chicamocha	2633.7	16.5
24030102	Río Chiticuy	3025.0	23.1
24030103	Río Surba	3186.1	31.8
24030104	Quebrada Toibita	2941.2	32.3
24030105	Río Sotaquirá	2930.9	22.9
24030106	Río de Piedras	2957.8	22.4
24030107	Río Jordán o (Río Jordán)	2855.6	13.3
24030108	Río Tuta	2933.3	12.6
24030109	Río Chiquito	2937.3	19.6
24030110	Quebrada El Aroma	2717.2	17.6
24030111	Quebrada Honda Grande	2722.1	13.8

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Tabla 13 Elevación media y pendiente media de las microcuencas del río Chicamocha

Código	Nombre	Elevación media (m.s.n.m.)	Pendiente media (%)
2403010112	quebrada Grande	2696.10	20.55
2403010201	quebrada Munevar	3056.64	21.94
2403010202	quebrada Honda (Q_Las Flores)	3319.09	28.32
2403010203	quebrada Boyacogua	3167.25	28.84
2403010301	quebrada Las Ánimas	3435.96	48.06
2403010302	quebrada Jote	2896.11	34.22
2403010401	quebrada Chorro Blanco	3153.52	40.12
2403010402	quebrada del Coconuco	3033.57	33.29
2403010501	río Ocusa	3012.20	23.01
2403010502	río Sotaquirá_Nacimiento	3128.21	44.13
2403010503	río Vargas	2804.04	20.66
2403010504	Dir_río Sotaquirá_entre río Vargas y desembocadura (mi)	2585.00	5.60
2403010601	quebrada Puente Tierra	2953.58	20.76
2403010602	quebrada El Guate	3198.19	30.67
2403010603	quebrada Toledo	2990.08	20.61
2403010604	quebrada San Miguel	2885.26	17.73
2403010701	quebrada Paso Grande	2912.40	15.91
2403010702	quebrada de Cómbita	2840.04	15.24
2403010703	quebrada La Chorrera	2981.13	18.49
2403010704	río La Vega	3014.36	17.06
2403010705	quebrada Colorada	2866.42	11.42
2403010706	quebrada Honda	2855.78	15.18
2403010707	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (md)	2814.93	15.49
2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	2639.27	6.56
2403010801	río Cormichoque	3040.46	12.44
2403010802	río Toca	3231.69	17.75
2403010803	río Chorrera	3026.31	13.60
2403010901	Río Pesca	2994.92	20.75
2403010902	Río Tota	3009.93	20.38
2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	2781.94	17.47
2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	2531.38	6.82
2403010905	Río Monquirá	2971.30	23.97
2403011101	quebrada Canocas	2658.47	13.73
2403011102	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	3008.89	18.35
2403011103	Quebrada Agua Tibia	2727.55	13.92

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

LONGITUD AXIAL Y ANCHO MÁXIMO DE LA CUENCA

La longitud axial de la cuenca se mide mediante una línea en forma aproximadamente paralela al cauce principal, desde la desembocadura hasta el punto más alto en los límites de la cuenca.

El ancho máximo de la cuenca se define como la línea que corta la cuenca en sentido transversal desde los puntos más extremos cortando en sentido perpendicular el cauce principal.

Finalmente se tiene que la cuenca alta del río Chicamocha tiene una *longitud axial de 87.15 km y un ancho de 53.37 km*.

FACTOR DE FORMA DE HORTON (kf)

Es la relación entre el ancho medio (W) y la longitud axial de la cuenca (Lax). Este factor permite la comparación entre cuencas hidrográficas, una cuenca con un factor de forma bajo (cercano a cero), tiene menor susceptibilidad a presentar eventos de crecientes máximas que otras cuencas con iguales áreas, pero mayor factor de forma.

El ancho promedio de la cuenca se define como la relación existente entre el área de la cuenca y su longitud axial; se denota con la letra W y matemáticamente se expresa como.

$$W \frac{Ac}{Lax}$$

Donde:
W: Ancho de la cuenca.
Ac: Área de la cuenca.
Lax: Longitud axial de la cuenca.

Por lo tanto, se puede concluir que el factor de forma de Horton se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Kf = \frac{W}{Lax} = \frac{\frac{Ac}{Lax}}{Lax} = \frac{Ac}{Lax^2}$$

Así para la cuenca alta del río Chicamocha se tiene un *factor de forma de Horton de 0.28* lo que representa un valor bajo y por lo tanto, la probabilidad de que se presenten eventos de crecientes máximas es menor.

Tabla 14 Longitud axial, ancho máximo y factor de forma de Horton de las subcuencas del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Área (km^2)	Perímetro (km)	Longitud Axial (km)	Ancho máximo de la cuenca (km)	Factor de forma de Horton (kf)
II	24030105	Río Sotaquirá	140.30	59.83	22.53	9.70	0.28
II	24030106	Río de Piedras	54.82	41.36	16.12	5.73	0.21
II	24030107	Río Jordán	318.07	100.61	32.62	16.24	0.30
II	24030108	Río Tuta	445.41	95.56	35.93	18.96	0.35
II	24030109	Río Chiquito	539.06	124.80	38.06	14.16	0.37
II	24030110	Quebrada El Aroma	19.51	22.65	10.17	3.55	0.19
II	24030111	Quebrada Honda Grande	55.45	39.68	9.93	7.87	0.56

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Tabla 15 Longitud axial, ancho máximo y factor de forma de Horton de las microcuencas del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Área (km^2)	Perímetro (km)	Longitud Axial (km)	Ancho máximo de la cuenca (km)	Factor de forma de Horton (kf)
III	2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	5.264	12.991	1.630	3.229	1.98
III	2403010801	río Cormichoque	158.063	54.195	18.613	8.492	0.46
III	2403010802	río Toca	28.555	31.632	12.700	2.248	0.18
III	2403010803	río Chorrera	66.774	40.402	14.735	4.532	0.31
III	2403010901	Río Pesca	210.624	79.557	27.702	7.603	0.27
III	2403010902	Río Tota	161.972	74.092	28.254	5.733	0.20
III	2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	25.120	24.432	10.048	2.500	0.25
III	2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	15.443	20.274	3.831	4.031	1.05
III	2403010905	Río Monquirá	71.172	38.902	13.878	5.128	0.37
III	2403011101	quebrada Canocas	12.140	15.641	5.721	2.122	0.37
III	2403011102	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	12.023	15.877	5.487	2.191	0.40
III	2403011103	Quebrada Agua Tibia	13.227	20.400	6.533	2.025	0.31

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

COEFICIENTE DE COMPACIDAD (kc)

Es la relación existente entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia con un área igual a la extensión de la cuenca. Una cuenca circular posee un coeficiente de compacidad mínimo igual a 1.0, a medida que kc se aproxime a la unidad hay una mayor tendencia a las crecientes.

Para la cuenca alta del río Chicamocha se determina un coeficiente de compacidad de 1.60, lo que indica que la cuenca tiene una forma oval-oblonga ratificando que la probabilidad de que se presentan crecientes máximas sea baja.

ÍNDICE DE ALARGAMIENTO (Ia)
Este índice muestra el comportamiento de la forma de la cuenca respecto a la tendencia de que dicha forma sea alargada en relación a la longitud axial (Lax) y el ancho de la cuenca (W), este índice de alargamiento fue propuesto igualmente por Horton y se define mediante la siguiente expresión.

$$Ia = \frac{Lax}{W}$$

Donde:
Ia: Índice de alargamiento.
Lax: Longitud axial de la cuenca.
W: Ancho de la cuenca.

En función del índice de alargamiento, la cuenca podrá ser clasificada acorde a los rangos presentados.

Tabla 16 Clasificación del Índice de alargamiento (Ia)

Rangos de $\boldsymbol{Ia}$	Clase de alargamiento
0.0 – 1.4	Poco alargada
1.5 – 2.8	Moderadamente alargada
2.9 – 4.2	Muy alargada

Tabla 17 Coeficiente de compacidad e Índice de alargamiento de las subcuencas del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Coeficiente de compacidad (kc)		Índice de Alargamiento	
Nivel I (Cuenca hidrográfica)						
I	240301	Alto Chicamocha	1.60	Oval Oblonga Rectangular Oblonga	1.63	Moderadamente alargada
Nivel II (Subcuencas hidrográfica)						
II	24030101	Directos Alto Chicamocha	2.19	Rectangular Oblonga	7.40	Muy Alargada
II	24030102	Río Chiticuy	1.36	Oval Redonda Oval Oblonga	1.97	Moderadamente alargada
II	24030103	Río Surba	1.78	Rectangular Oblonga	3.51	Muy Alargada
II	24030104	Quebrada Toibita	1.75	Rectangular Oblonga	2.51	Moderadamente alargada
II	24030105	Río Sotaquirá	1.43	Oval Redonda Oval Oblonga	2.32	Moderadamente alargada
II	24030106	Río de piedras	1.58	Oval Oblonga Rectangular Oblonga	2.81	Moderadamente alargada
II	24030107	Río Jordán	1.59	Oval Oblonga Rectangular Oblonga	2.01	Moderadamente alargada
II	24030108	Río Tuta	1.28	Oval Redonda Oval Oblonga	1.90	Moderadamente alargada
II	24030109	Río Chiquito	1.52	Oval Oblonga Rectangular Oblonga	2.69	Moderadamente alargada
II	24030110	Quebrada El Aroma	1.45	Oval Redonda Oval Oblonga	2.86	Moderadamente alargada
II	24030111	Quebrada Honda Grande	1.50	Oval Oblonga Rectangular Oblonga	1.26	Poco alargada

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Tabla 18 Coeficiente de compacidad e Índice de alargamiento de las microcuencas del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Coeficiente de compacidad (kc)		Índice de Alargamiento	
III	2403010602	quebrada El Guate	1.19	Redonda a oval redonda	2.02	Moderadamente alargada
III	2403010603	quebrada Toledo	1.39	Oval redonda a oval oblonga	2.60	Moderadamente alargada
III	2403010604	quebrada San Miguel	1.22	Redonda a oval redonda	1.62	Moderadamente alargada
III	2403010701	quebrada Paso Grande	1.77	Rectangular - muy lobulada	6.43	Muy alargada
III	2403010702	quebrada de Cómbita	1.24	Redonda a oval redonda	3.50	Muy alargada
III	2403010703	quebrada La Chorrera	1.29	Oval redonda a oval oblonga	3.69	Muy alargada
III	2403010704	río La Vega	1.37	Oval redonda a oval oblonga	4.07	Muy alargada
III	2403010705	quebrada Colorada	1.60	Oval oblonga a rectangular	3.54	Muy alargada
III	2403010706	quebrada Honda	1.32	Oval redonda a oval oblonga	2.19	Moderadamente alargada
III	2403010707	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (md)	1.29	Oval redonda a oval oblonga	0.95	Poco alargada
III	2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	1.60	Oval oblonga a rectangular	0.50	Poco alargada
III	2403010801	río Cormichoque	1.22	Redonda a oval redonda	2.19	Moderadamente alargada
III	2403010802	río Toca	1.67	Oval oblonga a rectangular	5.65	Muy alargada
III	2403010803	río Chorrera	1.39	Oval redonda a oval oblonga	3.25	Muy alargada
III	2403010901	Río Pesca	1.55	Oval oblonga a rectangular	3.64	Muy alargada
III	2403010902	Río Tota	1.64	Oval oblonga a rectangular	4.93	Muy alargada
III	2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	1.38	Oval redonda a oval oblonga	4.02	Muy alargada
III	2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	1.46	Oval redonda a oval oblonga	0.95	Poco alargada
III	2403010905	Río Monquirá	1.30	Oval redonda a oval oblonga	2.71	Moderadamente alargada
III	2403011101	quebrada Canocas	1.27	Oval redonda a oval oblonga	2.70	Moderadamente alargada
III	2403011102	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	1.29	Oval redonda a oval oblonga	2.50	Moderadamente alargada
III	2403011103	Quebrada Agua Tibia	1.58	Oval oblonga a rectangular	3.23	Muy alargada

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

ÍNDICE ASIMÉTRICO

El índice asimétrico de la cuenca describe el comportamiento de la actividad tectónica, la cual indica el grado de afectación sobre el patrón de sus cauces y capacidad de la cuenca para absorber la deformación tectónica. El índice de asimetría se define como una relación porcentual entre las áreas ocupadas por sus dos vertientes y el área total de la cuenca, se define como:

$$AF_D = \left(\frac{A_D}{A_T}\right) * 100$$

$$AF_i = 100 - AF_D$$

Donde AFD es el valor del índice de asimetría calculado para la vertiente derecha de la cuenca, AD es el área de la vertiente derecha y AT es el área total de la cuenca, AFi valor del índice asimétrico calculado para la vertiente izquierda.

Tabla 19

El índice de asimetría cuantifica la ausencia o existencia de basculamiento a escala de cuenca de drenaje, cuando el valor de la asimetría para cada una de las vertientes se aproxima al 50% indica que la influencia de la actividad tectónica en la cuenca es o ha sido baja, cuando este valor se aleja del 50% indica que la actividad tectónica ha tenido una gran influencia en la formación de la cuenca y la definición de su patrón de drenaje.

Tabla 20 Índice de asimetría de las subcuencas del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Índice de Asimetría				
			A_D	A_T	AF_D	AF_i	Descripción
Nivel I (Cuenca hidrográfica)							
I	240301	Alto Chicamocha	762.25	1385.45	35.49	64.51	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
Nivel II (subcuencas hidrográfica)							
II	24030101	Directos Alto Chicamocha	186.31	215.43	46.38	53.62	Simétrica.
II	24030102	Río Chiticuy	49.13	32.90	59.90	40.10	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente derecha.
II	24030103	Río Surba	20.76	52.15	28.47	71.53	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
II	24030104	Quebrada Toibita	7.51	11.75	39.00	61.00	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
II	24030105	Río Sotaquirá	49.47	90.83	35.26	64.74	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
II	24030106	Río de piedras	27.99	26.84	51.05	48.95	Simétrica.
II	24030107	Río Jordán	187.17	130.90	58.85	41.15	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente derecha.
II	24030108	Río Tuta	116.25	329.16	26.10	73.90	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
II	24030109	Río Chiquito	190.14	348.92	35.27	64.73	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
II	24030110	Quebrada El Aroma	8.84	10.67	45.32	54.68	Simétrica.
II	24030111	Quebrada Honda Grande	25.51	29.94	46.01	53.99	Simétrica.

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Tabla 21 Índice de asimetría de las microcuencas del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Índice de Asimetría				
			A_D	A_T	AF_D	AF_I	Descripción
III	2403010701	quebrada Paso Grande	14.976	5.575	72.9	27.1	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente derecha.
III	2403010702	quebrada de Cómbita	11.669	5.879	66.5	33.5	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente derecha.
III	2403010703	quebrada La Chorrera	3.979	7.005	36.2	63.8	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403010704	río La Vega	35.226	43.028	45.0	55.0	Simétrica
III	2403010705	quebrada Colorada	13.953	30.258	31.6	68.4	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403010706	quebrada Honda	8.336	14.553	36.4	63.6	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403010707	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (md)	16.648	0.000	100.0	0.0	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente derecha.
III	2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	0.000	5.264	0.0	100.0	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403010801	río Cormichoque	56.116	101.947	35.5	64.5	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403010802	río Toca	12.925	15.630	45.3	54.7	Simétrica
III	2403010803	río Chorrera	11.601	55.173	17.4	82.6	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403010901	Río Pesca	148.188	62.436	70.4	29.6	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente derecha.
III	2403010902	Río Tota	66.537	95.435	41.1	58.9	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	14.833	10.287	59.0	41.0	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente derecha.
III	2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	0.000	15.443	0.0	100.0	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403010905	Río Monquirá	30.884	40.288	43.4	56.6	Asimétrica. Basculamiento hacia vertiente izquierda.
III	2403011101	quebrada Canocas	5.529	6.611	45.5	54.5	Simétrica

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL

La longitud del cauce principal corresponde a la distancia medida desde el punto de desembocadura hasta el punto de nacimiento localizado en la parte alta de la cuenca, esta característica generalmente se expresa en kilómetros (km) y es de gran importancia en la definición de otras como la pendiente y el tiempo de concentración.

El cauce principal de la parte alta del río Chicamocha se forma por la confluencia de los ríos Jordán y Piedras, considerando la definición del cauce principal su longitud estará conformada por la distancia que hay desde la desembocadura del cauce hasta la confluencia de los ríos Jordán y Piedras, adicionalmente a esta distancia se suma la correspondiente al cauce principal del río Jordán por ser la que llega hasta el punto más alto de la cuenca alta del río Chicamocha así se configura la longitud total del cauce principal de la cuenca alta del río Chicamocha la cual equivale a *113.41 km.*

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL

La pendiente del cauce principal es un parámetro importante al momento de definir la velocidad de escurrimiento del agua por los canales fluviales de la cuenca, para su estimación se realiza el procesamiento de información cartográfica, principalmente el mapa de pendientes y la red de drenaje, mediante técnicas de análisis espacial utilizando SIG se obtiene la pendiente media del cauce principal para los Niveles I, II y III de la cuenca alta del río Chicamocha

Tabla 22 Longitud y Pendiente del cauce principal cuenca alta del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Longitud Cauce Principal (Km)	Pendiente Cauce Principal (%)
Nivel I (Cuenca hidrográfica)				
I	240301	Alto Chicamocha	113.4	12.2
Nivel II (subcuencas hidrográfica)				
II	24030101	Directos Alto Chicamocha	74.0	13.9
II	24030102	Río Chiticuy	17.6	17.9
II	24030103	Río Surba	22.9	17.9
II	24030104	Quebrada Toibita	11.8	23.7
II	24030105	Río Sotaquirá	31.6	18.8
II	24030106	Río de piedras	21.1	19.9
II	24030107	Río Jordán	39.4	10.6
II	24030108	Río Tuta	21.5*	10.0
II	24030109	Río Chiquito	32.4	3.0
II	24030110	Quebrada El Aroma	10.5	18.0

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Longitud Cauce Principal (Km)	Pendiente Cauce Principal (%)
II	24030111	Quebrada Honda Grande	19.0	17.0
Nivel III (Microcuencas hidrográfica)				
III	2403010101	quebrada Chameza	5.37	26.07
III	2403010102	quebrada El Rosal	6.62	23.27
III	2403010103	quebrada Las Aguilas	5.27	6.96
III	2403010104	quebrada Maldita	4.93	18.27
III	2403010105	quebrada Las Despensas	4.58	16.55
III	2403010106	quebrada Varguitas	7.37	15.06
III	2403010107	quebrada La Selva	6.29	12.24
III	2403010108	quebrada Antonio	1.64	18.08
III	2403010109	quebrada La Chorrera	6.98	23.08
III	2403010110	Sin toponimia 1	2.89	10.24
III	2403010111	Sin toponimia 2	1.67	12.54
III	2403010112	quebrada Grande	6.14	12.90
III	2403010201	quebrada Munevar	12.57	14.25
III	2403010202	quebrada Honda (Q_Las Flores)	6.58	18.20
III	2403010203	quebrada Boyacogua	8.12	25.25
III	2403010301	quebrada Las Ánimas	1.80	53.49
III	2403010302	quebrada Jote	2.63	19.85
III	2403010401	quebrada Chorro Blanco	4.49	48.09
III	2403010402	quebrada del Coconuco	2.53	28.48
III	2403010501	río Ocusa	27.86	19.50
III	2403010502	río Sotaquirá_Nacimiento	4.36	21.08
III	2403010503	río Vargas	9.44	17.12
III	2403010504	Dir_río Sotaquirá_entre río Vargas y desembocadura (mi)	1.31	4.77
III	2403010601	quebrada Puente Tierra	3.35	25.03
III	2403010602	quebrada El Guate	4.56	26.95
III	2403010603	quebrada Toledo	4.77	11.03
III	2403010604	quebrada San Miguel	4.82	8.72
III	2403010701	quebrada Paso Grande	14.33	14.08
III	2403010702	quebrada de Cómbita	8.84	18.46
III	2403010703	quebrada La Chorrera	6.98	23.08
III	2403010704	río La Vega	20.84	18.62
III	2403010705	quebrada Colorada	13.07	8.61
III	2403010706	quebrada Honda	6.51	4.21
III	2403010707	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (md)	3.33	10.70
III	2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	1.50	5.43
III	2403010801	río Cormichoque	25.01	13.33
III	2403010802	río Toca	13.17	18.56
III	2403010803	río Chorrera	19.76	13.21
III	2403010901	Río Pesca	32.39	14.32
III	2403010902	Río Tota	32.67	16.22
III	2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	6.03	4.50
III	2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	3.83	10.09
III	2403010905	Río Monquirá	12.05	5.74
III	2403011101	quebrada Canocas	6.57	4.32
III	2403011102	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	5.60	31.84

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se emplean diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca, donde se proponen diferentes ecuaciones empíricas reposadas en la literatura científica

Tabla 23 Tiempo de concentración cuenca alta del río Chicamocha

Método (Formulas Empíricas)	Tiempo concentración Tc	
	Horas	Minutos
Formula de Kirpich	5.69	341.44
Formula Californiana del U.S.B.R	5.66	339.61
Formula de Giandotti	3.77	226.28
Formula de Temez	6.79	407.50
Formula Bransby-Williams	18.85	1131.09
William	17.04	1022.40
Johntone y Cross	8.32	499.46
Ventura - Heras	6.52	391.11
V.T. Chow	11.04	662.52
Cuerpo de Ingenieros EE.UU	15.21	912.35

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

La selección del tiempo de concentración adecuado para la zona de estudio, se analiza el promedio de varios de los métodos empíricos, descartando del cálculo aquellos valores que se encuentren por encima y por debajo de una (1) desviación estándar del promedio de todos los métodos, y así obtener un valor más centralizado a los métodos presentados con anterioridad. En la Figura 198 se presenta dicho análisis, donde se puede apreciar que los tiempos de concentración que están dentro de los límites establecidos (+/- 1 desviación estándar) son Kirpich, Californiana, Temez, Johntone y Cross, Ventura–Heras, V.T. Chow y Cuerpo de ingenieros EE.UU. A partir del promedio de estos métodos se estima el tiempo de concentración para la zona de estudio, el cual es de Tc=8.46 horas (507.7 minutos). Bajo este mismo criterio se determina el tiempo de concentración para los Niveles I y II de unidades hidrográficas de la cuenca alta del Río Chicamocha.

Figura 8 Tiempos de concentración Nivel I de UH cuenca alta del río Chicamocha

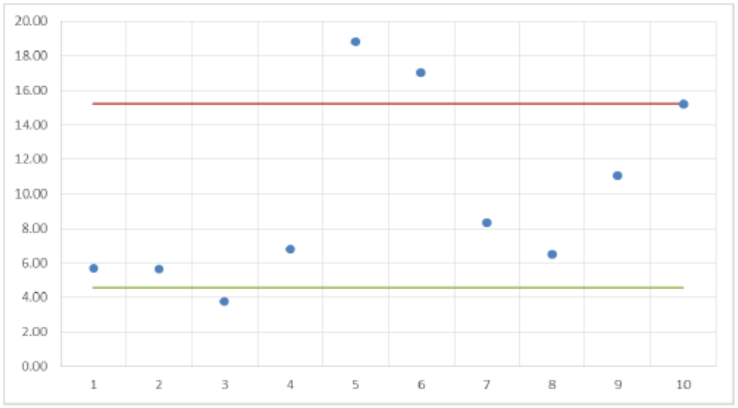


Tabla 24 Tiempo de concentración para Niveles I, II y III de unidades hidrográficas de la cuenca alta del río Chicamocha

Nivel de Unidad Hidrográfica	Código	Unidad Hidrográfica	Tiempo de Concentración (Hr)
Nivel I (Cuenca hidrográfica)			
I	240301	Alto Chicamocha	8.46
Nivel II (subcuencas hidrográficas)			
II	24030101	Directos Alto Chicamocha	6.08
II	24030102	Río Chiticuy	2.11
II	24030103	Río Surba	2.52
II	24030104	Quebrada Toibita	1.49
II	24030105	Río Sotaquirá	3.11
II	24030106	Río de piedras	2.33
II	24030107	Río Jordán	4.20
II	24030108	Río Tuta	2.81
II	24030109	Río Chiquito	5.14
II	24030110	Quebrada El Aroma	1.48
II	24030111	Quebrada Honda Grande	2.25
Nivel III (Microcuencas hidrográfica)			
III	2403010101	quebrada Chameza	0.95
III	2403010102	quebrada El Rosal	0.95
III	2403010103	quebrada Las Aguilas	1.38
III	2403010802	río Toca	1.90
III	2403010803	río Chorrera	2.73
III	2403010901	Río Pesca	3.84
III	2403010902	Río Tota	3.76
III	2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	2.01
III	2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	1.22
III	2403010905	Río Monquirá	3.15
III	2403011101	quebrada Canocas	2.12
III	2403011102	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	0.93
III	2403011103	Quebrada Agua Tibia	1.20

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

ÍNDICE MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD

Es la relación de índices morfométricos entre la densidad de drenaje, la pendiente media de la cuenca analizada y el coeficiente de compacidad de la misma, con el fin de identificar la vulnerabilidad de la zona a eventos torrenciales ante un evento de precipitación. Se relacionan los parámetros nombrados dado que "en conjunto definen la facilidad para concentrar la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca." (Maribel Rivas, 2009). El índice morfométrico de torrencialidad es uno de los insumos utilizados para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales dentro de la caracterización de las condiciones de riesgo de la cuenca.

Tabla 25 Categorías del índice morfométrico de torrencialidad para la cuenca alta del río Chicamocha y sus unidades hidrográficas de nivel II (subcuencas).

Código u.h.	Nombre U.H.	Categoría índice morfométrico.
240301	Alto Chicamocha	Moderada
24030101	Directos Alto Chicamocha	Moderada
24030102	Río Chiticuy	Alta
24030103	Río Surba	Muy Alta
24030104	Quebrada Toibita	Muy Alta
24030105	Río Sotaquirá	Alta
24030106	Río de Piedras	Moderada
24030107	Río Jordán	Moderada
24030108	Río Tuta	Moderada
24030109	Río Chiquito	Moderada
24030110	Quebrada El Aroma	Alta
24030111	Quebrada Honda Grande	Moderada

Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

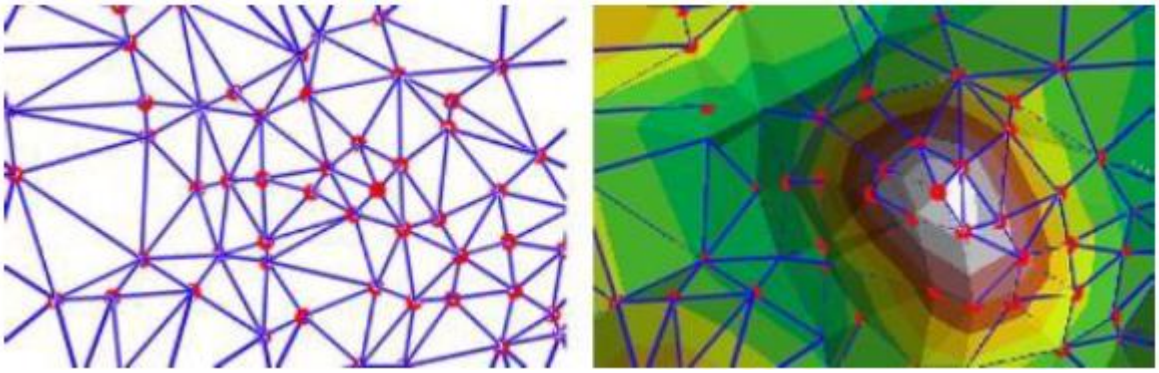
MODELO DIGITAL DE TERRENO:

Según el IGAC un modelo digital de terreno “Es la representación tridimensional de un área, mostrando la conformación del terreno modelado a escala horizontal para ilustrar con toda realidad las características artificiales y físicas naturales. La escala vertical normalmente se exagera para resaltar el aspecto del relieve. El modelo digital del terreno es un archivo de datos tipo Ráster con la representación tridimensional de las características del terreno; se utiliza en la orto-rectificación de imágenes, en estudios de perfiles, generación de curvas de nivel, etc.” (Codazzi, 2016)

Este es generado a partir de la información oficial entregada por el IGAC en escala 1:25.000, especialmente, la capa de relieve- Curvas de Nivel, la cual conlleva un proceso.

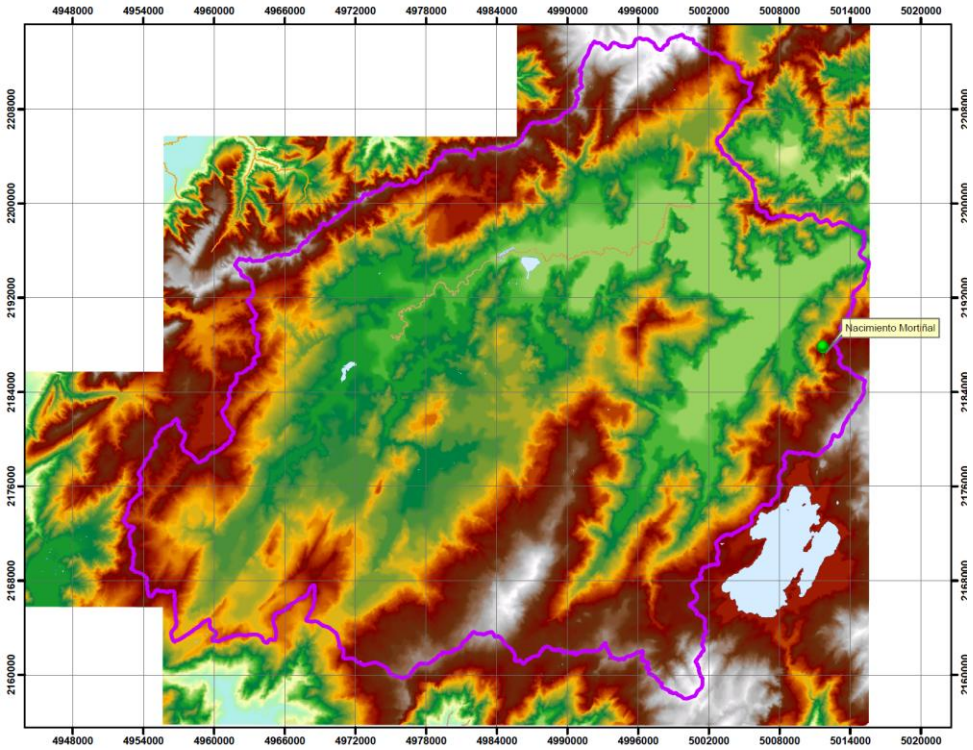
En primer lugar, se genera el TIN (Triangulated Irregular Network- Red irregular de triángulos) como parámetro principal el valor de la altura de la curva de nivel, el cual representa la morfología de la superficie por medio de triángulos construidos a partir de un conjunto de vértices que están conectados con una serie de aristas para formar la red. Existen varios métodos de interpolación para formar estos triángulos, como la triangulación de Delaunay39 o el orden de distancias. ArcGIS, software utilizado para la generación de productos.

Figura 9 Red Irregular de Triángulos- TIN



Fuente: http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm

Figura 10 Modelo Digital de Terreno de la Cuenca Alto Chicamocha.



Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

- HIDROLOGÍA

Al igual que la aplicación en la meteorología, es necesario comprender el comportamiento de la variación espacio temporal del flujo de agua, debido a la importancia e interacción con demás elementos del sistema del recurso hídrico, donde se satisfacen necesidades ecológicas y socioeconómicas, permitiendo su representación y comprensión para la toma de decisiones adecuadas en el marco de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) que busca “la utilización sostenible del agua y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos” (Jewitt, 2002). A lo largo de la historia se han implementado diferentes conceptualizaciones e instrumentos para medir los volúmenes de agua que trascurren por los cauces, y en los escenarios ausentes se han fundamentado diversos métodos con variaciones en su robustez, los cuales permiten modelar los volúmenes de agua partiendo de la relación existente entre el flujo de agua y las condiciones meteorológicas y físicas de la cuenca.

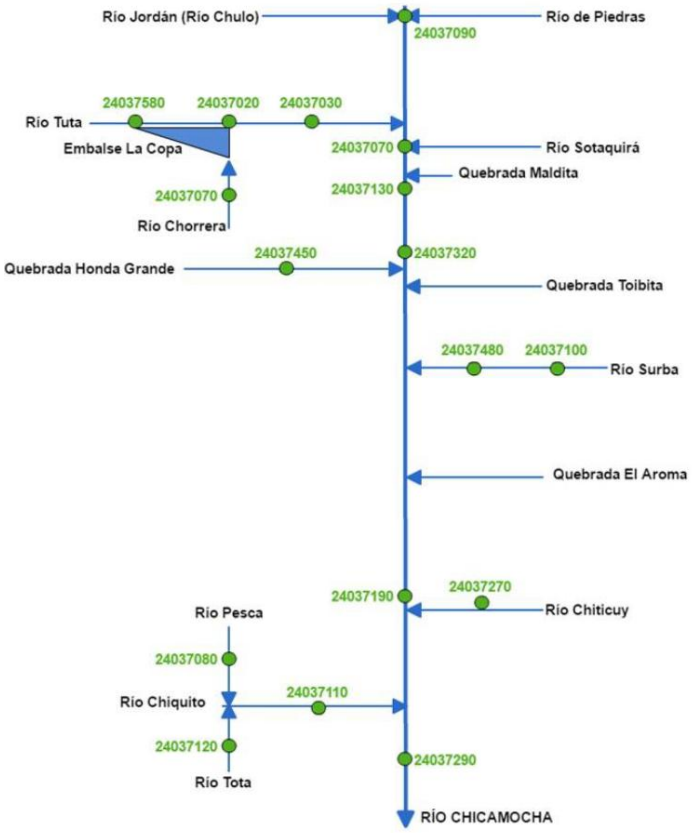
Un paso importante y previo a la caracterización del régimen hidrológico y estimación de caudales, es la identificación y análisis de la red de observación hidrométrica y meteorológica, según (OMM, Guía de Prácticas Hidrológicas, 2011) es necesario ir "verificando la homogeneidad y calidad de los registros utilizados; indispensable para una aplicación estadística valida", esto en busca de no perturbar e incluir ruido en los registros y análisis realizados, sin embargo, es importante mencionar que los flujos de agua que trascurren por los cauces no presenta una relación estricta entre estaciones, por lo cual es inadecuado verificar su homogeneidad.

La caracterización de la red meteorológica y el análisis requerido del clima en relación al capítulo de hidrología, fue desarrollada en el numeral correspondiente al componente de clima. En las secciones siguientes, se incluye la representación espacial y temporal del régimen hidrológico, el respectivo tratamiento de las estaciones hidrométricas, la caracterización de estructuras hidráulicas y los sistemas de cuerpos lenticos, la estimación de la oferta total y disponible, así como la demanda hídrica. Adicionalmente se calcula el Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH), Índice de Vulnerabilidad frente Eventos Torrenciales (IVET), Índice de Uso del Agua Superficial (IUA) e Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVH).

CARACTERIZACIÓN DE LA RED HIDROMÉTRICA.

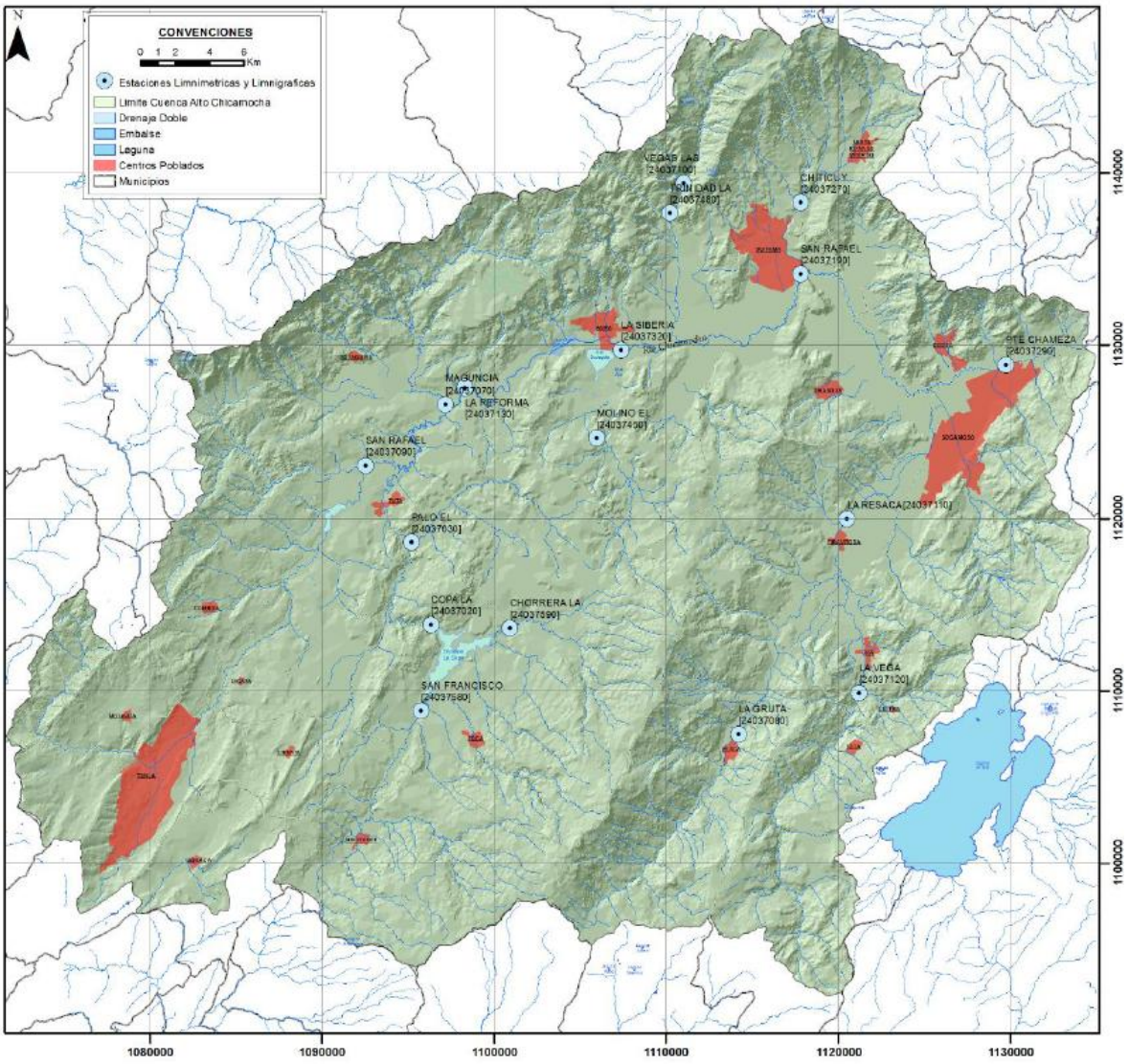
La caracterización preliminar de la cuenca hidrográfica se realizó teniendo en cuenta la información relacionada al catálogo disponible del IDEAM, donde se identificaron y preseleccionaron un total de 41 estaciones hidrométricas que se encuentran dentro y alrededor de la cuenca alta del río Chicamocha, sin embargo, fueron solicitadas aquellas que se encuentran dentro de la cuenca las cuales suman un total de 21 estaciones con catálogo revisado y registros relativamente extensos y actualizados.

Figura 11 Topología de la red de estaciones hidrométricas



Fuente: Consorcio POMCA

Figura 12 Localización estaciones hidrométricas.



Fuente: Consorcio POMCA

ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS HIDROMÉTRICOS.

El tratamiento de series hidrológicas caracteriza una fase de gran utilidad donde se identifica la calidad de las estaciones hidrométricas a partir de diversas pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas. La OMM señala la importancia del criterio conservador en cuanto a la alteración de las series mediante la eliminación y agregación de datos en vista de que los “supuestos a que respondan tales modificaciones estarán siempre fundamentados en evidencias, y no en conjeturas” para lo cual existe diversa cantidad de métodos gráficos y estadísticos que permiten tener cierta certeza de las condiciones de la serie en cuanto a homogeneidad, consistencia, aleatoriedad, detección de datos atípicos, análisis de tendencias y estimación de valores faltantes que fundamentan una caracterización representativa y cuidadosa.

Según la Organización Meteorológica Mundial "Homogeneidad significa que todos los elementos de la serie de datos provienen de una misma población". La alteración de la homogeneidad tiene diversas fuentes naturales y antrópicas, por lo tanto, el tratamiento estadístico debe considerar el comportamiento del parámetro hidroclimático. Entre las más persistentes modificaciones a las series históricas, se encuentran las crecidas de caudales, alteraciones en los instrumentos de medición, así como las modificaciones en el ambiente o las afectaciones producto de fenómenos de la variabilidad climática, sin embargo, según los resultados esta puede tratarse como tal.

Evaluando la homogeneidad de una serie se pretende determinar si la serie hidrométrica es estable en su media, esto a partir de subconjuntos de la serie donde la serie original es dividida en dos partes, y aplicando un test de comparación de medias como es el caso de U Mann-Whitney recomendado por la OMM. Siendo una prueba no paramétrica en las que se consideran las dos muestras de la serie de tamaño $p\ y\ q$ (siendo $p \leq q$), de tal modo que $N = p + q$, los datos son ordenados en rangos ascendentes y se suman los rangos asignados obteniendo el valor de R, adicionalmente se considera lo siguiente:

$$V = R - p(p-1)/2$$

$$W = pq - V$$

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), "Homogeneidad significa que todos los elementos de la serie de datos provienen de una misma población". La alteración de la homogeneidad tiene diversas fuentes naturales y antrópicas, por lo tanto, el tratamiento estadístico debe considerar el comportamiento del parámetro hidroclimático. Entre las más persistentes modificaciones a las series históricas, se encuentran las crecidas de caudales, alteraciones en los instrumentos de medición, así como las modificaciones en el ambiente o las afectaciones producto de fenómenos de la variabilidad climática, sin embargo, según los resultados esta puede tratarse como tal.

Evaluando la homogeneidad de una serie se pretende determinar si la serie hidrométrica es estable en su media, esto a partir de subconjuntos de la serie donde la serie original es dividida en dos partes, y aplicando un test de comparación de medias como es el caso de U Mann-Whitney recomendado por la OMM. Siendo una prueba no paramétrica en las que se consideran las dos muestras de la serie de tamaño $p\ y\ q$ (siendo $p \leq q$), de tal modo que $N = p + q$, los datos son ordenados en rangos ascendentes y se suman los rangos asignados obteniendo el valor de R, adicionalmente se considera lo siguiente:

$$V = R - p(p-1)/2$$

$$W = pq - V$$

Donde R es la suma de los rangos de los elementos de la primera muestra de tamaño p en la serie combinada, y $V\ y\ W$ son calculados a partir de R, p y q. La variable V representa el número de veces que un ejemplar de la muestra 1 sigue en rango a un ejemplar de la muestra dos (2), W puede calcularse también de modo análogo para la muestra dos (2) respecto a la muestra uno (1).

La estadística U se define mediante el menor de los valores de V y W. Cuando N>20 y p,q>3, verificándose la hipótesis de ecuanimidad de que ambas muestras provienen de la misma población, U presenta una distribución aproximadamente normal, cuya media (U) y varianza $Var(U)$ se definen como:

$$U = pq/2$$

$$Var(U) = \left[\frac{pq}{N(N-1)}\right]\left[\frac{N^3 - N}{12} - \sum T\right]$$

Donde T=(J3−J)/12 y J es el número de observaciones ligadas a un rango dado. La suma ΣT abarca todos los grupos de observaciones ligadas de ambas muestras de tamaño p y q. Para una prueba con un nivel de significancia dado, la cantidad es comparada con el cuartil normalizado $u\alpha$/2 para la significancia elegida:

$$Z = \left|\frac{U - \ddot{U}}{\sqrt{Var(U)}}\right|$$

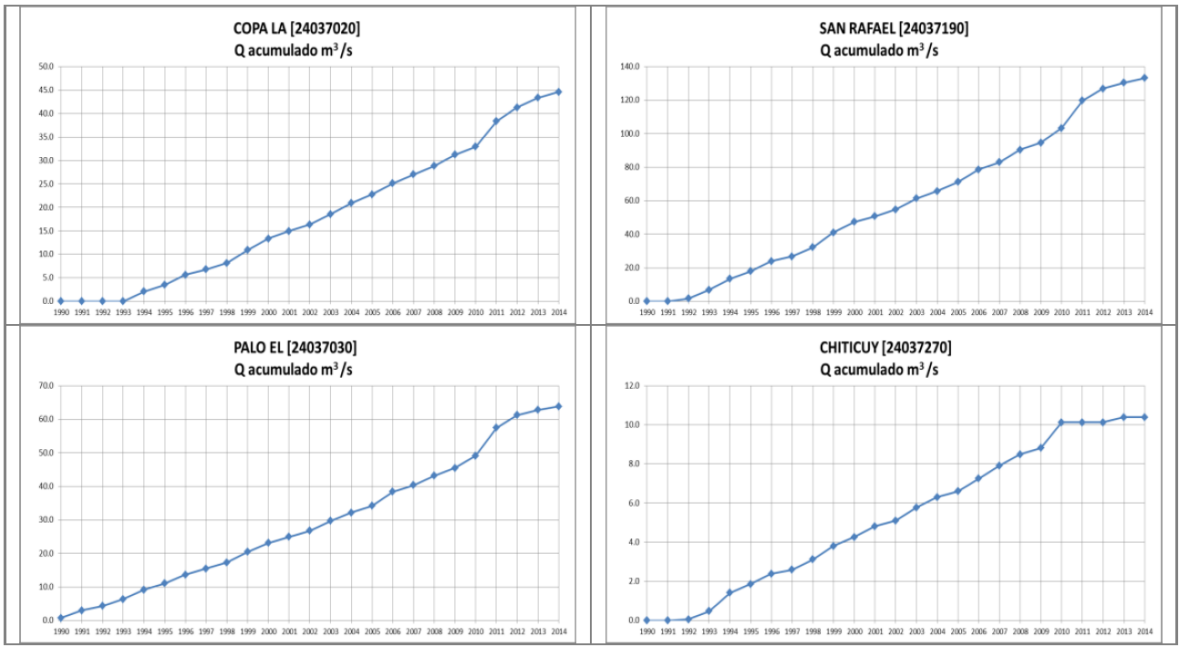
El análisis de homogeneidad se realizó en las series históricas de 17 estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca alta del río Chicamocha, presentando homogeneidad en 12 estaciones con estadísticos normales anexos en la Tabla 3. En este caso se seleccionó un nivel de significancia del 1% teniendo en cuenta la extensa variabilidad del parámetro en cuestión, aseverando el mayor número de estaciones caracterizadas, por lo tanto se acepta la hipótesis nula de no homogeneidad cuando Z > 2.58.

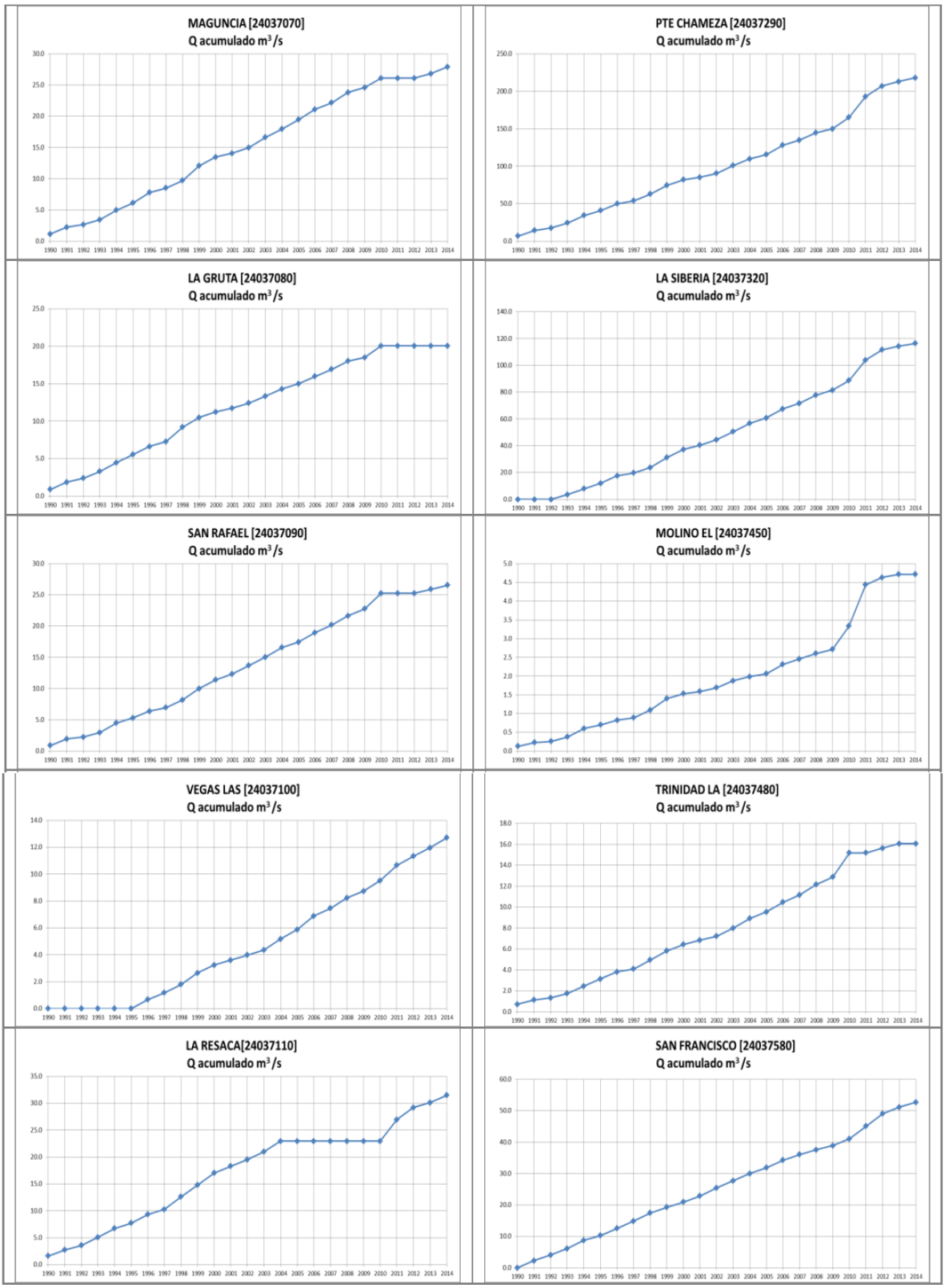
Tabla 26 Análisis de homogeneidad de estaciones hidrométricas.

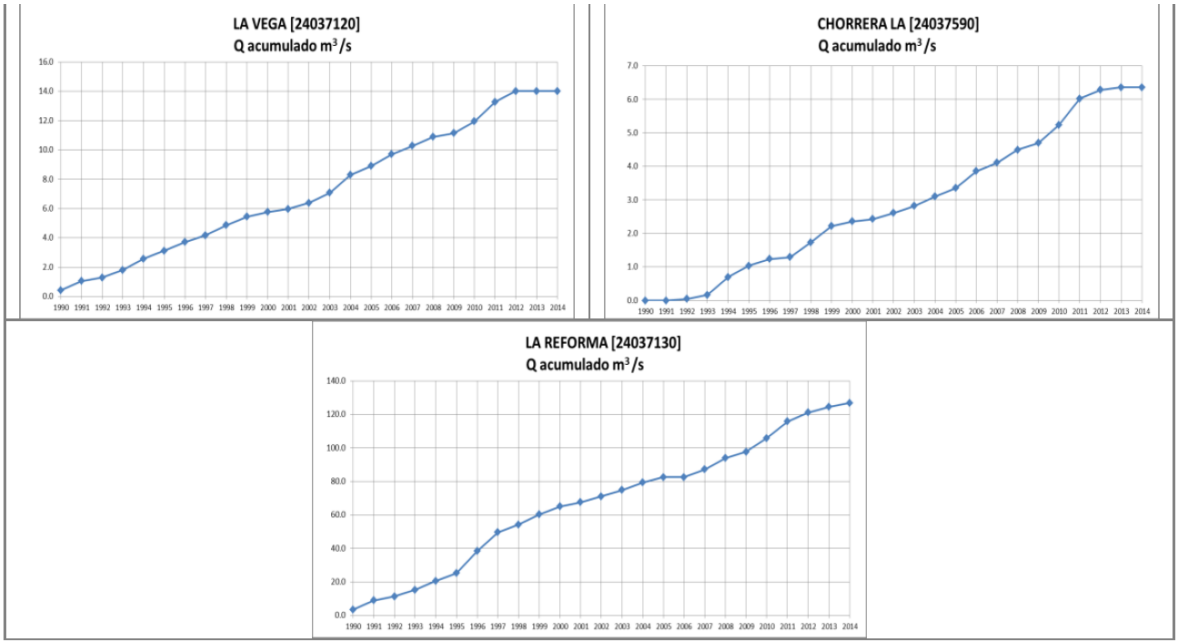
Estación [Código]	Z	Condición de Homogeneidad
Copa La [24037020]	3.87	*No Homogéneo*
Palo El [24037030]	3.72	*No Homogéneo*
Maguncia [24037070]	0.56	Homogéneo
La Gruta [24037080]	0.11	Homogéneo
San Rafael [24037090]	2.30	Homogéneo
Vegas Las [24037100]	1.25	Homogéneo
La Resaca[24037110]	1.33	Homogéneo
La Vega [24037120]	2.34	Homogéneo
La Reforma [24037130]	1.54	Homogéneo
San Rafael [24037190]	1.48	Homogéneo
Chiticuy [24037270]	0.52	Homogéneo
Pte Chameza [24037290]	2.66	*No Homogéneo*
La Siberia [24037320]	1.76	Homogéneo
Molino El [24037450]	1.78	Homogéneo
Trinidad La [24037480]	3.10	*No Homogéneo*
San Francisco [24037580]	0.79	Homogéneo
Chorrera La [24037590]	2.59	*No Homogéneo*

Fuente: Consorcio POMCA

Figura 13 Gráficas de Masas Simple Estaciones Hidrométricas.




MAGUNCIA [24037070]
Q acumulado m³/s
PTE CHAMEZA [24037290]
Q acumulado m³/s
LA GRUTA [24037080]
Q acumulado m³/s
LA SIBERIA [24037320]
Q acumulado m³/s
SAN RAFAEL [24037090]
Q acumulado m³/s
MOLINO EL [24037450]
Q acumulado m³/s
VEGAS LAS [24037100]
Q acumulado m³/s
TRINIDAD LA [24037480]
Q acumulado m³/s
LA RESACA[24037110]
Q acumulado m³/s
SAN FRANCISCO [24037580]
Q acumulado m³/s



ANÁLISIS DE TENDENCIAS

El análisis de tendencias en las series de caudal tiene como objetivo identificar cambios o alteraciones recientes en el comportamiento de la variable y establecer sí la serie presenta un comportamiento estacionario (no ha recibido alteraciones naturales o artificiales) o no estacionario. Para realizar este análisis se utilizaron las series de caudales de 17 estaciones del IDEAM ubicadas dentro y en áreas aferentes a la cuenca alta del río Chicamocha que registran dicho parámetro. Para el análisis de tendencias se usaron los estadísticos Rho de Spearman, Mann-Kendall, Pendiente Sen y Regresión Lineal. Las expresiones para el cálculo de los estadísticos son las siguientes003A

Rho de Spearman.

La prueba Rho de Spearman es una prueba de rango no paramétrica que determina la existencia de correlación entre pares de datos consecutivos en una serie de tiempo. Varía entre -1 y 1, donde 1 es correlación positiva perfecta y -1 es correlación negativa perfecta; valores cercanos a cero, representan ausencia de correlación.

$$p = 1 - \left[\frac{6\sum d^2}{N(N^2-1)}\right]$$

Donde,
N: Tamaño de la muestra
d: Diferencias de los rangos de los valores x-y

Para muestras grandes este se distribuye aproximadamente normal con una varianza $V(\rho)$:

$$V(p) = \frac{1}{N-1}$$

Y un estadístico Z estandarizado:

$$Z = \frac{p}{\sqrt{V(p)}}$$

Entonces para todo valor de Z>1.96 con un nivel de significancia de 5%, se rechaza la hipótesis nula de no tendencia.

Mann Kendall.

La prueba de Mann Kendall se basa en el cálculo del estadístico S, también indica si existe tendencia negativa o positiva en cuanto a otras variables hidroclimatológicas, la prueba se mide con el valor S y para una serie de datos n > 10, también se utiliza el estadístico Z. Si S es un valor altamente positivo, su calificador marca una tendencia positiva, en contraste, si S muestra un valor altamente negativo entonces calificará una tendencia claramente negativa. Valores obtenidos |Z|>1.96, a un nivel de significación de 5%, indican que se rechaza la hipótesis nula de no tendencia.

$$S = \sum_{i+1}^{n-1} \quad \sum_{j=i+1}^{n} sgn(X_j - X_i)$$

Si $(Xj-Xi)$>0 entonces $sgn(Xj-Xi)$=1.
Si $(Xj-Xi)$=0 entonces $sgn(Xj-Xi)$=0.
Si $(Xj-Xi)$<0 entonces $sgn(Xj-Xi)$=−1.

Pendiente de Sen.

La tendencia es representada por una expresión lineal, sus variaciones tienen la siguiente forma:

$$f(t)=B+Q*t$$

Donde,

Q Es la pendiente, B es una constante y t es el tiempo. Para obtener la estimación de Q, primero se calculan todas las pendientes considerando los pares de datos mediante la siguiente expresión:

$$Q_i = \frac{X_i - X_k}{j - K}$$

Donde xi y xk son los datos en el tiempo j y k (j > k), respectivamente. Si hay n valores en la serie de tiempo habrá tantos como N = $n(n-1)/2$ pendientes estimadas Qi. La mediana de los N valores es el estimador de la pendiente de Sen.

Regresión Lineal.

El método de regresión lineal consiste en eliminar las observaciones con datos incompletos y ajustar la ecuación de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios para predecir los valores de $\hat{y}$ que permitan determinar el comportamiento con una tendencia lineal de la variable. Al estimar la ecuación de regresión se deben validar los supuestos de normalidad, homogeneidad de la varianza e independencia en los errores o perturbación aleatoria del modelo, esto con el fin de que las conclusiones obtenidas sean válidas estadísticamente. El modelo es:

$$Y=\beta 0+ \beta 1x+e$$

Donde, e Es el error o perturbación aleatoria, $\beta 0$ es el intercepto y $\beta 1$ es la pendiente del modelo que representa las unidades de cambio en la variable dependiente por unidad de cambio en la variable independiente.

La metodología para establecer la tendencia significativa de las estaciones hidroclimatológicas aferentes, consististe en seleccionar aquellas que cumplan la evaluación de *Tendencia* en tres de los cuatro métodos referenciados, especialmente en los criterios de Rho de Spearman y Mann Kendall. En cuanto a las estaciones de la cuenca alta del Río Chicamocha se identifican tendencias positivas con una significancia del 5% en dos (2) de las diecisiete (17) estaciones evaluadas.

Se determina que la cuenca Alta del río Chicamocha posee un régimen de caudales de tipo bimodal en algunos sectores y un régimen monomodal en otros. El régimen bimodal presenta dos periodos de altos caudales entre los meses de abril a junio y los meses de octubre a diciembre, donde el mayor caudal se presenta en los meses de mayo y noviembre. Entre estos periodos se encuentran los periodos de bajos caudales en los meses de enero a marzo y julio a septiembre, los flujos altos de caudales responden a la llegada de las precipitaciones a la cuenca y los flujos de bajos caudales responden a la reducción de la precipitación siendo estos periodos donde el caudal base es el flujo más persistente.

La precipitación genera una respuesta directa sobre los caudales, influenciada principalmente por los movimientos de la ZCIT. Las zonas de la cuenca con presencia del régimen monomodal se localizan al noreste de la cuenca, con mayor fuerza en las estaciones San Francisco, La Copa, El Palo, La Gruta, La Vega y La Resaca. A escala intranual se identifica alto flujo de caudal en el periodo de abril a septiembre con su máximo registro en el mes de agosto, y un bajo flujo de caudal entre los meses de enero a marzo, y octubre a diciembre.

Figura 14 Variabilidad interanual de los caudales medios (m3/s) a nivel de estación hidrométrica.

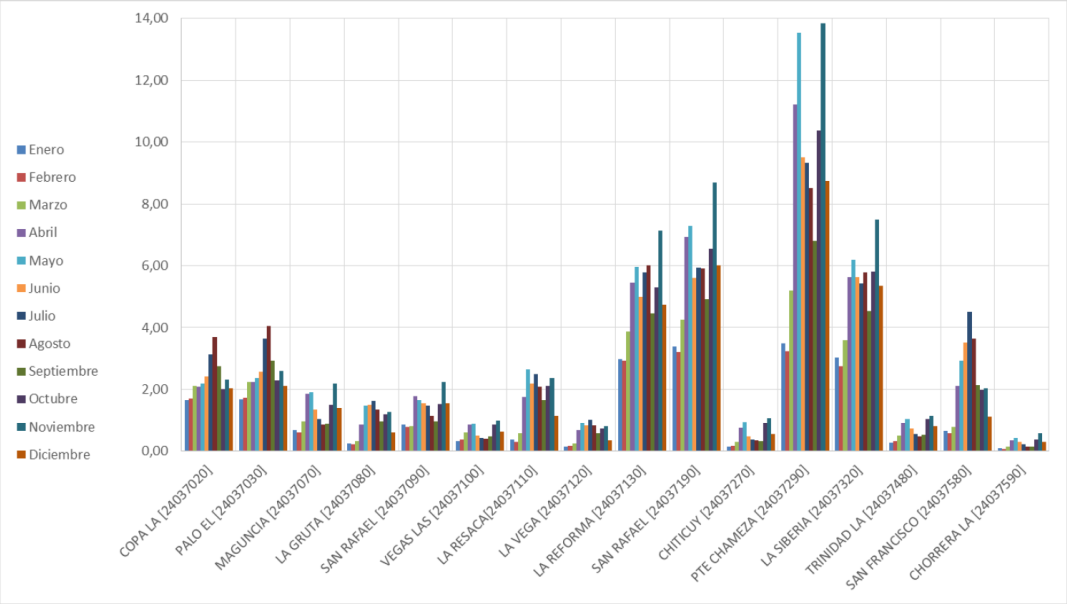


Figura 15 Variabilidad promedio anual (m3/s) a nivel de estación hidrométrica.

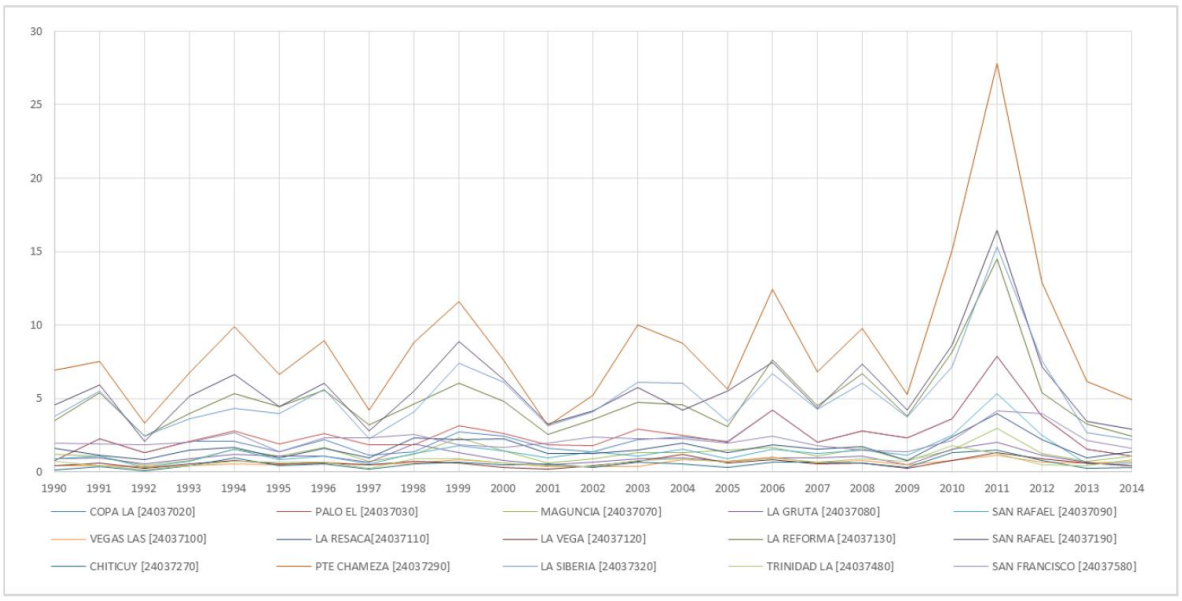
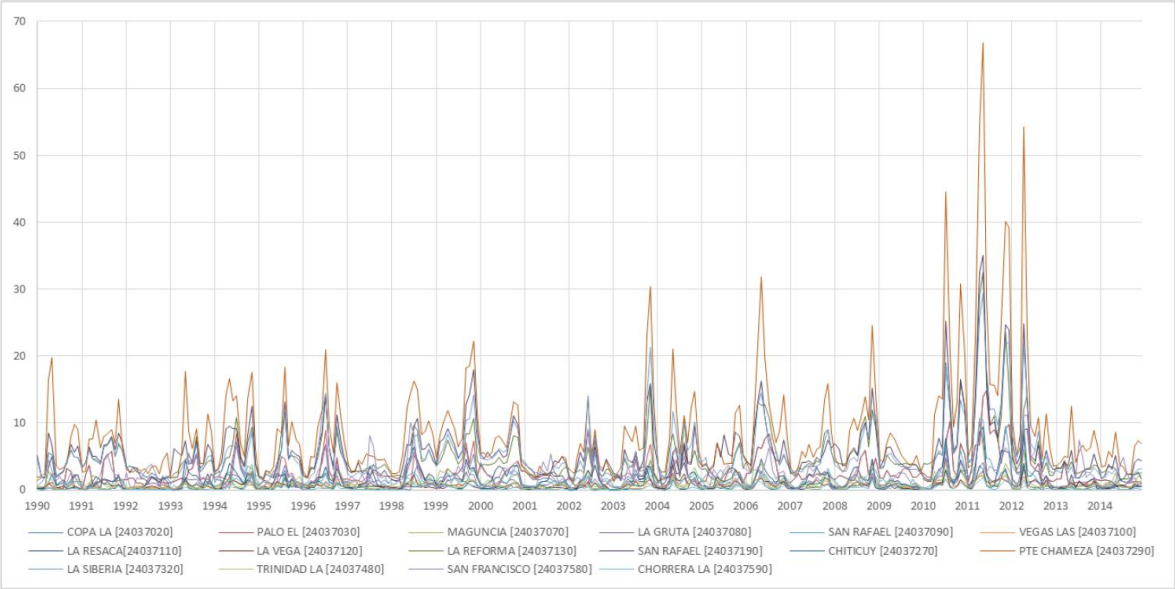


Figura 16 Variabilidad interanual de caudales medios (m3/s) a nivel de estación hidrométrica.



ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS.

Para realizar el respectivo análisis de caudales máximos y mínimos, se revisan los registros a nivel medio mensual multianual y absolutos mensuales, con el fin de abarcar el mayor volumen de información

La variación anual a nivel mensual multianual de caudales máximos y mínimos, representa un régimen de caudales consistente con el caracterizado en el análisis de valores medios, aunque destaca una mayor claridad en caudales máximos, dado que el sistema responde fácilmente con mayor volumen de escorrentía a los altos volúmenes de precipitación. Los caudales mínimos muestran un régimen no tan claro pero si identificable, particularmente hay menor volumen de precipitación por lo que el sistema hidrológico responde con menor proporción, manifestado flujos de agua que a lo largo del año que oscilan en un rango muy cerrado, interpretándose como flujo base del cauce aportado principalmente por la interacción entre el acuífero y la cuenca, páramo y cuenca o por ambas.

Figura 17 Variación anual de caudales mínimos a nivel de estación hidrométrica.

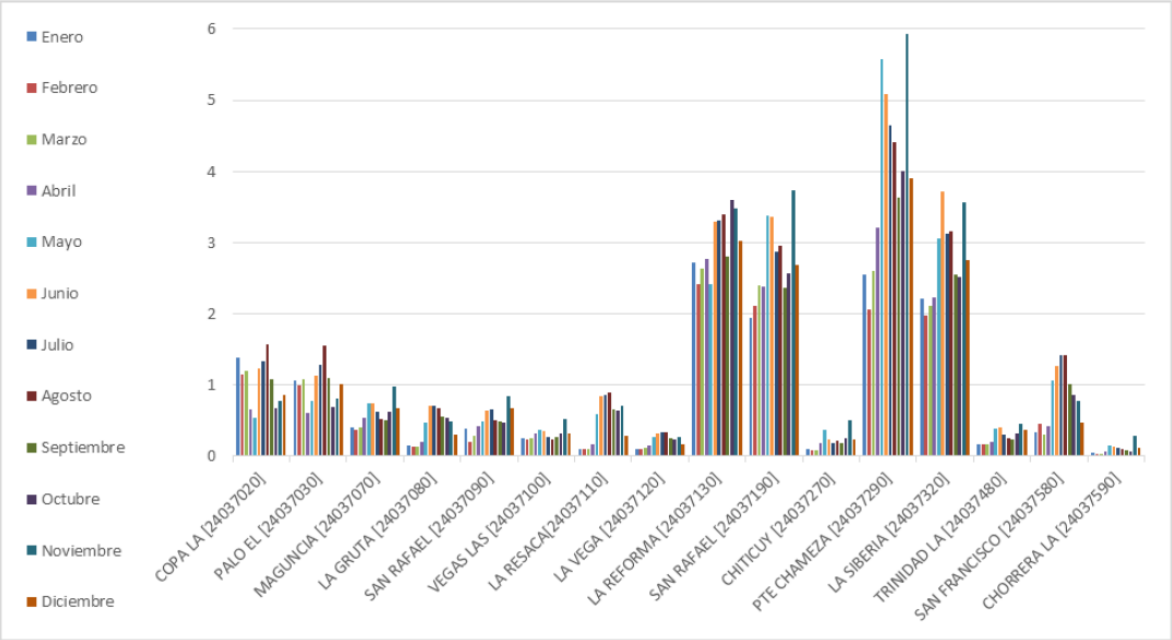
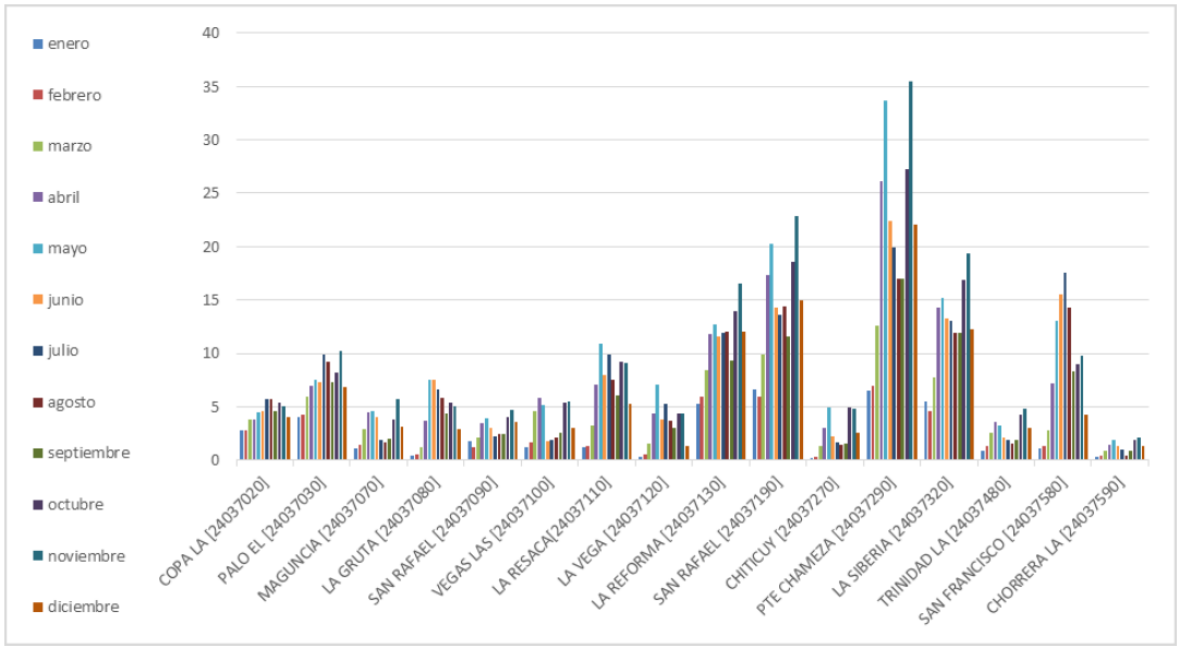


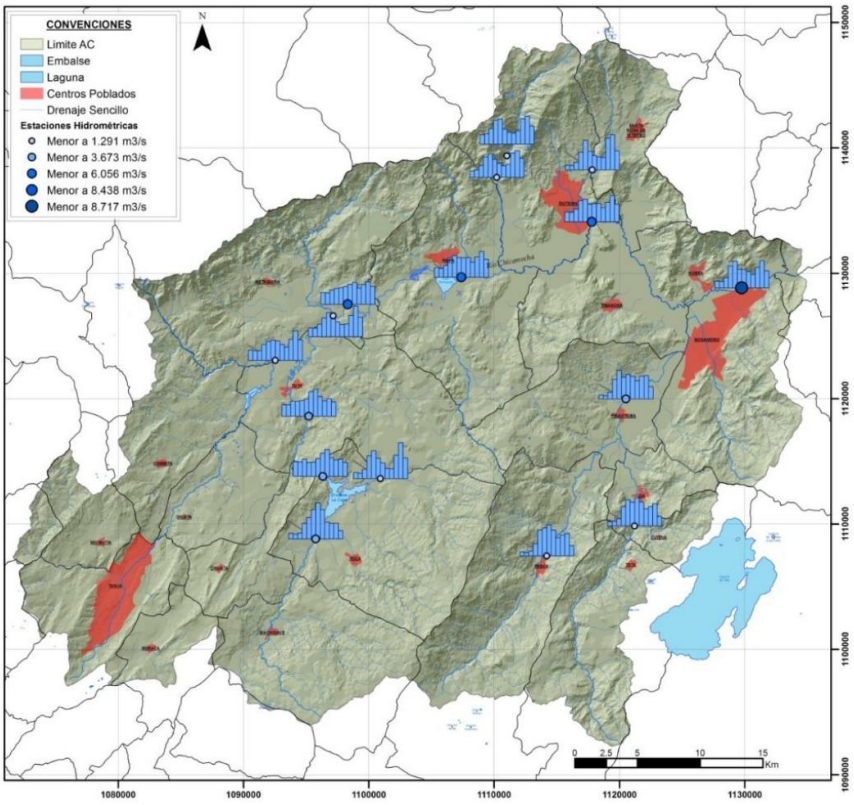
Figura 18 Variación anual de caudales máximos a nivel de estación hidrométrica.



Respecto a la variación anual de caudales máximos y mínimos absolutos40, se percibe que los caudales mínimos no poseen tendencia alguna, dichos valores varían aleatoriamente registrándose

en cualquier periodo del año, con la particularidad de presentar meses donde no se registra caudal, lo cual puede coincidir con un uso inadecuado del recurso hídrico o a un fenómeno de variabilidad climática, con presencia de precipitaciones bajas o nulas con larga duración que no permite la recarga del acuífero, generando en respuesta niveles nulos de caudal. En los caudales máximos se observa un régimen, donde se advierte que para algunas estaciones con régimen bimodal hay influencia del régimen monomodal de precipitaciones, debido a la presencia de un pico en el periodo julio a agosto. Se infiere que en condiciones de variabilidad climática con alta y frecuente precipitación (Niña), la ZCIT tiene un rango de movimiento más amplio dentro de la cuenca, afectando zonas que comúnmente no lo hace. Los valores de tipo absoluto por las características de la ventana de tiempo seleccionada.

Figura 19 Variabilidad espacial de caudales medios.

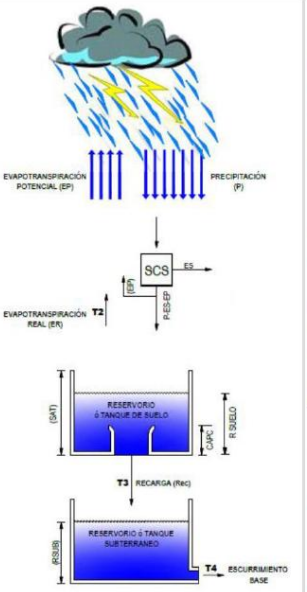


MODELO HIDROLÓGICO

Los modelos son herramientas fundamentadas con base matemática y física, desarrollados con el objetivo principal de representar el sistema hidrológico, es decir, estimar la respuesta hidrológica o la escorrentía superficial resultante de acuerdo a las características de los atributos físicos, fisiográficos y estadísticos del estado del tiempo de la unidad estudiada o área de cuenca. Esto conlleva a que la información generada en la temática de *Clima* tenga alta relevancia en la construcción del modelo. *"Un modelo de sistema hidrológico es una representación simplificada de fenómenos que ocurren durante el ciclo hidrológico, tales como precipitación, evaporación,*

escorrentía y otros; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas del sistema" (Chow, 2008). Hay numerables tipos de modelos hidrológicos, los cuales varían principalmente de acuerdo a la escala espacial, temporal y a la consideración de los parámetros del sistema. Para el caso específico de la cuenca del alta del río Chicamocha, se emplea un modelo determinístico conceptual concentrado en escala mensual.

Figura 20 Esquema conceptual del modelo hidrológico SMAP.



Balance de masas

$$Rsolo(t+1) = Rsolo(t) + P(t+1) - Es(t+1) - Er(t+1) - Rec(t+1)$$

Donde,

P: Precipitación

Es: Escurrimiento superficial

Er: Evapotranspiración real

Rec: Recarga subterránea

$$Rsub(t+1) = Rsub(t) + Rec(t+1) - Eb(t+1)$$

Donde,

Eb: Escurrimiento Base

Rec: Recarga subterránea

$$Q(t+1) = (Es(t+1) + Eb(t+1)) * Ad/2630$$

Donde,

Q: Caudal (m^3/s)

Es: Escurrimiento Superficial (m^3/s)

Eb: Caudal Base (m^3/s)

Ad: Área de la drenaje (km^2)

Funciones de transferencia

$T1$: Escurrimiento superficial (ES)

$$Es = (Rsolo/str)^{pes} * P$$

$T2$: Evapotranspiración Real (ER)

$$Er = (Rsolo/str) * Ep$$

$T3$: Recarga de agua subterránea (Rec)

$$Rec = Crec * (Rsolo/Str)4 * Rsolo$$

$T4$: Escurrimiento Base (Eb)

$$Eb = (1 - Kk) * Rsub.$$

Figura 21 Unidades de modelación hidrológica.

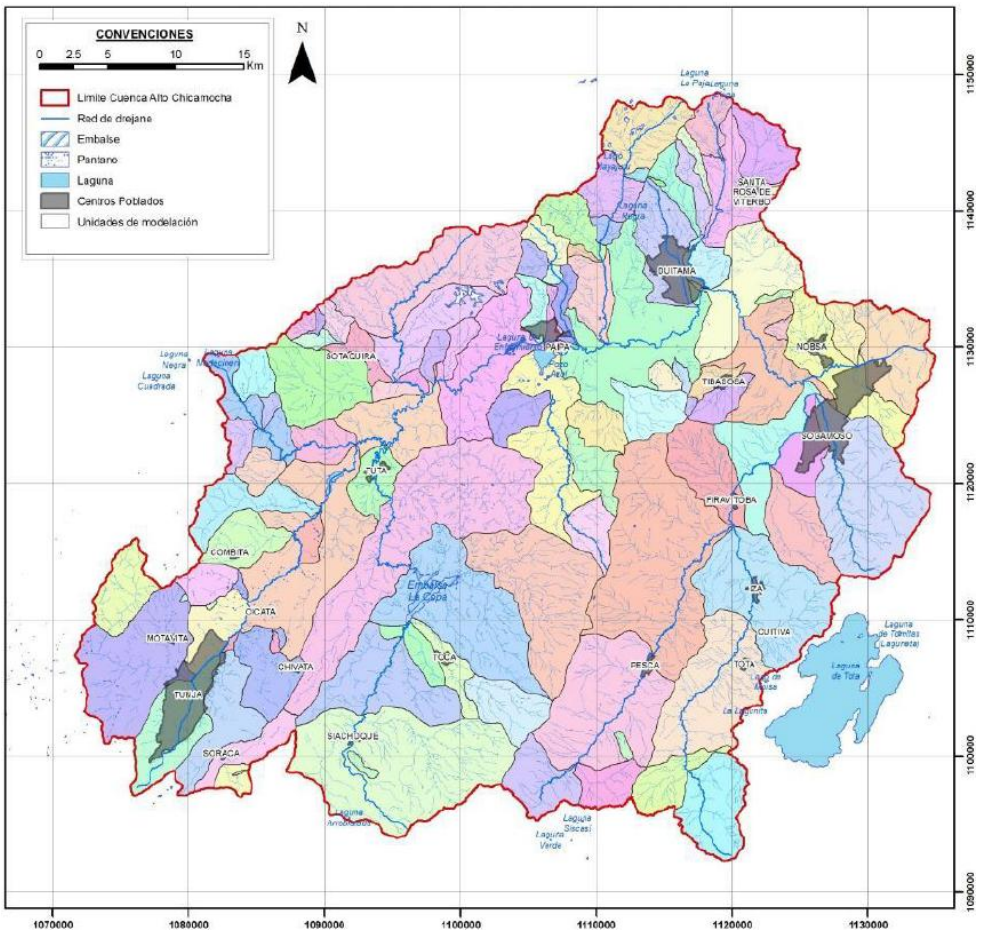


Figura 22 Precipitación interanual por unidad de modelación.

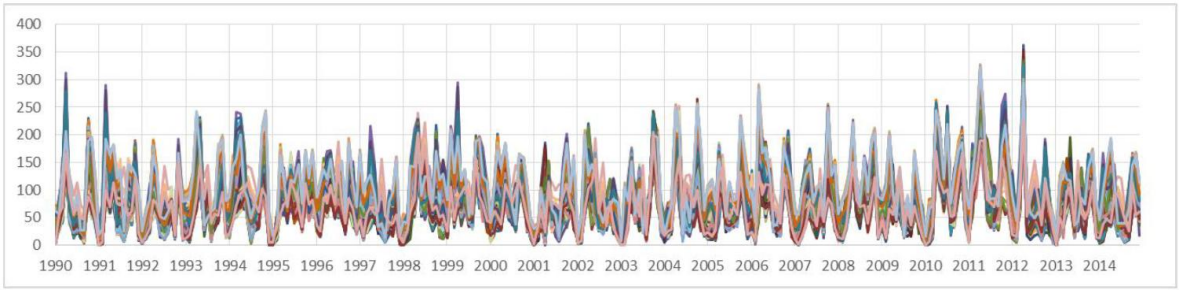


Figura 23 Evapotranspiración media interanual por unidad de modelación.

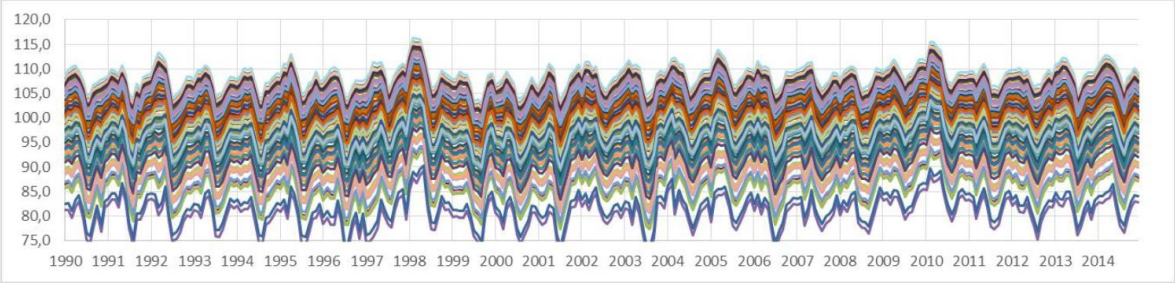


Figura 24 Variabilidad temporal de los caudales medios mensuales multianuales (m3/s), para las subcuencas de la Cuenca Alto Chicamocha

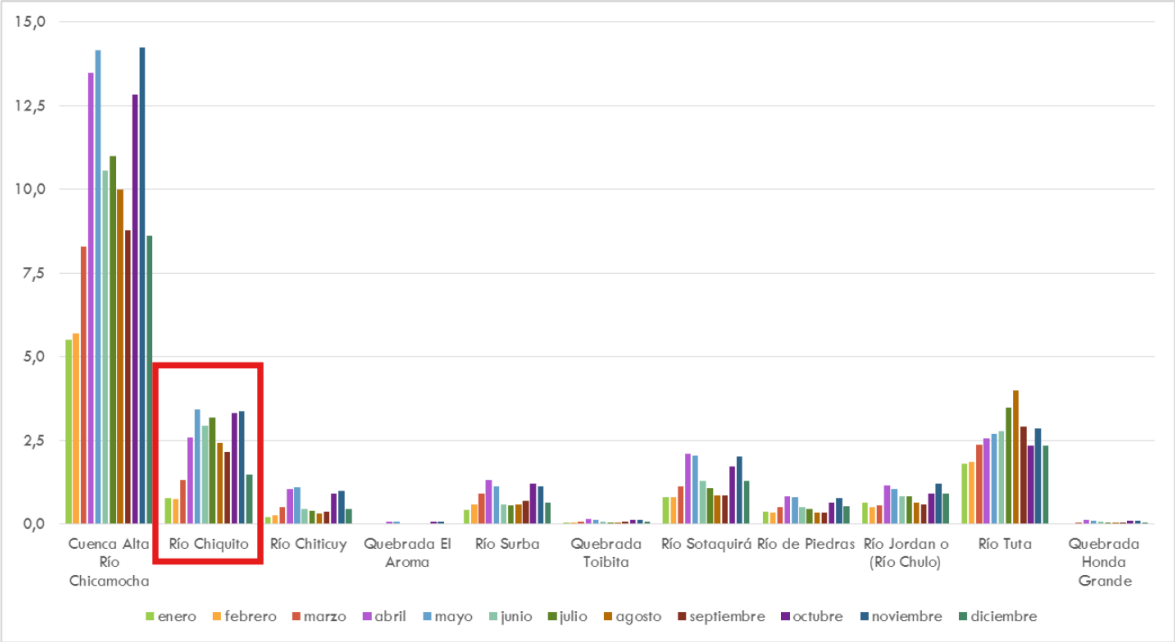
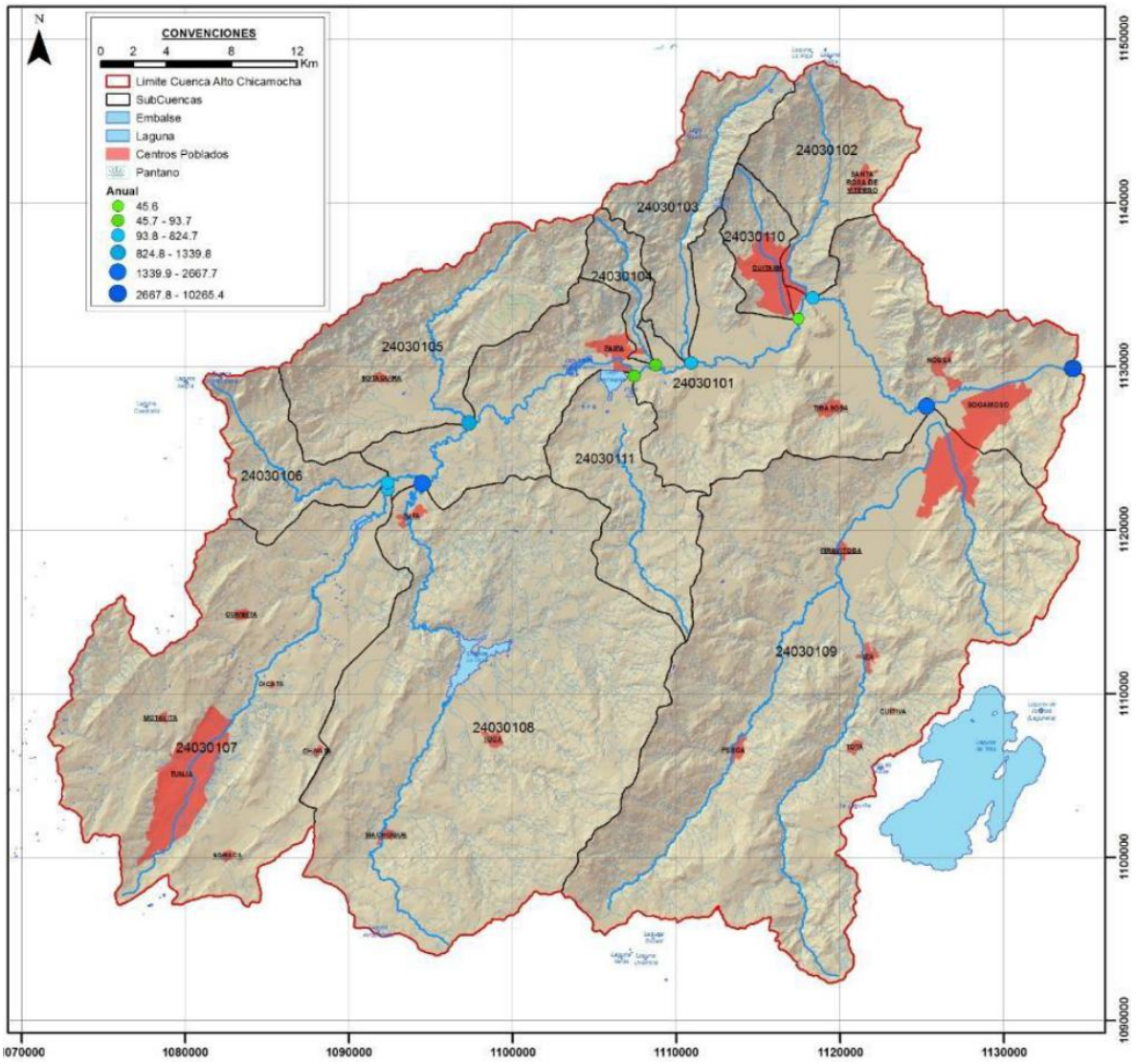


Figura 25 Variabilidad espacial de los caudales medios simulados (m3/s) para las subcuencas de la Cuenca Alto Chicamocha



El modelo desarrollado para la cuenca Alta del río Chicamocha descrito en los numerales anteriores, permite generar valores de caudales medios mensuales, impidiéndole el cálculo de valores máximos y mínimos absolutos, dicha información fue generada a partir de la metodología aplicada en el ENA 2014 en el contexto de las unidades de análisis. Los valores de caudales son calculados como la relación entre los caudales máximos o mínimos (Según sea el caso) de una estación de monitoreo respecto al caudal medio de la misma estación, multiplicado por el caudal medio modelado de las unidades de subcuenca o microcuenca cercanas al área de aferencia de la estación. Como resultado los caudales máximos y mínimos obtenidos poseen el régimen fundado por el modelo de caudales medios, y los máximos o mínimos se encontrarán por encima o debajo de este según la proporción calculada mediante la relación de caudales máximos o mínimos con respecto a la media en la estación de monitoreo.

Figura 26 Variación anual de caudales máximos y mínimos para las unidades de subcuencas.



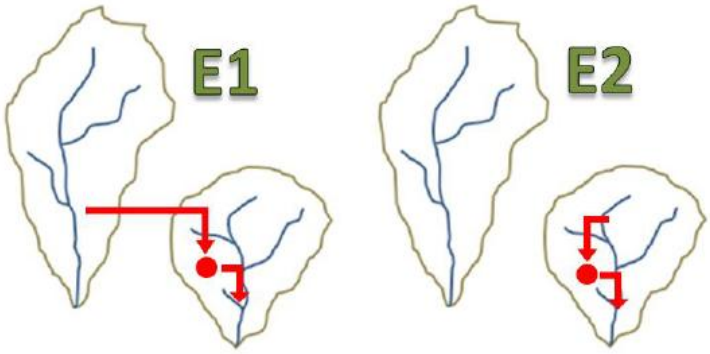
INDICADORES HÍDRICOS

Los indicadores emitidos por el IDEAM, buscan evaluar el estado de la cantidad y calidad de agua, teniendo en cuenta la disponibilidad y afectación de orden antrópico, esto es posible dado que los índices poseen una relación conexa entre las variables de la oferta hídrica, la demanda asociada y las características físicas de la cuenca. Los índices que comprenden la temática de Hidrología son:

- Índices de Regulación y Retención hídrica (IRH).
- Índice de Uso del Agua (IUA).
- Índice de Vulnerabilidad Por desabastecimiento Hídrico (IVH).
- Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET).

El análisis del sistema del recurso hídrico, se realiza considerando dos (2) escenarios de interacción entre la demanda y oferta hídrica definidos principalmente en su conceptualización. El escenario uno (E1) referencia la dinámica teniendo en cuenta los trasvases que abastecen diferentes usos dentro del área de estudio, relacionado a las ganancias de oferta hídrica por importación de agua de cuencas hidrográficas externas y no la generada por procesos hidrológicos propios de la cuenca objeto de ordenación. El escenario dos (E2) define la conceptualización de la interacción entre dichos elementos del sistema de recursos hídricos, considerando que los actuales trasvases se satisfacen con los aportes hídricos derivados únicamente del ciclo hidrológico de la cuenca en ordenación. Es necesario resaltar que todos los análisis donde no se referencie el escenario, corresponden al escenario uno (E1) teniendo en cuenta los respectivos trasvases.

Figura 27 Esquema conceptual de los escenarios con trasvases (E1) y sin trasvases (E2).



Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

La curva de duración de caudales es una herramienta útil para comprender las condiciones de regulación al caracterizar la pendiente y su forma, materializando la estimación del IRH. La curva de duración de caudales resulta del análisis de frecuencia de la serie histórica de caudales medios mensuales, donde se indica el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales igualan o exceden un valor dado.

El IRH evalúa la capacidad de la unidad para mantener un régimen de caudales, se calcula como la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales diarios. *"El índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencia acumuladas"* (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Figura 28 Calificación del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

Descripción	Rango del Indicador	Color
Muy Baja retención y regulación de humedad	<0.50	Muy Baja
Baja retención y regulación de humedad	0.50-0.65	Baja
Media retención y regulación de humedad	0.65-0.75	Moderada
Alta retención y regulación de humedad	0.75-0.85	Alta
Muy alta retención y regulación de humedad	>0.85	Muy Alta

En la siguiente figura se puede observar la distribución del Índice de Retención y Regulación Hídrica para las subcuencas de la cuenca Alta del río Chicamocha, en general la cuenca presenta una baja a muy baja retención de la humedad.

Figura 29 Distribución espacial del IRH a nivel de subcuencas.

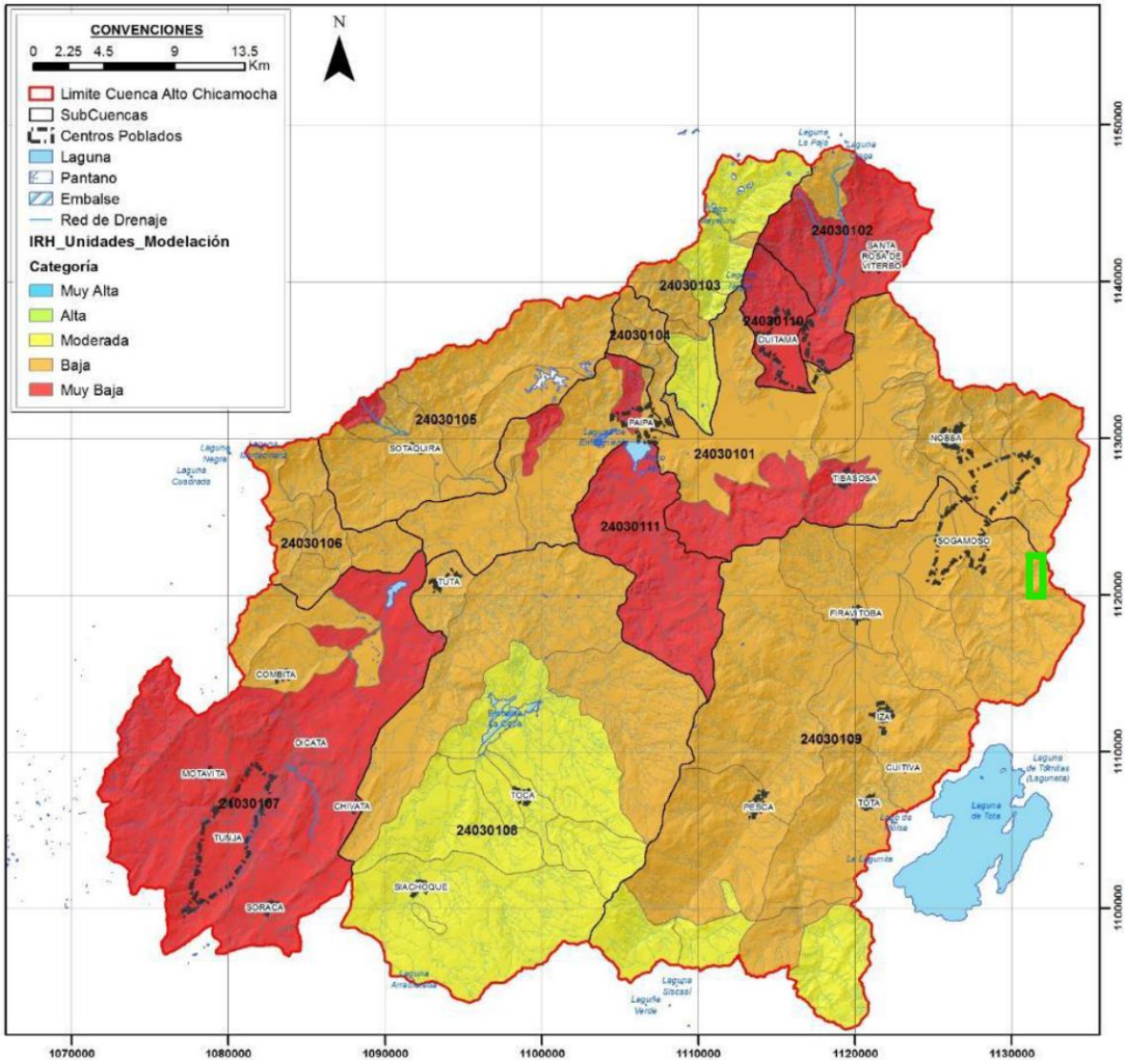


Tabla 27 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) a nivel de subcuencas.

Tipo Unidad	Nombre Unidad	Vt	Vp	IRH	Categoría IRH
CH	Cuenca alta del río Chicamocha	8.3595	4.8243	0.577	Baja
SCH	Río Chiquito	2.2178	1.3918	0.628	Baja
SCH	Río Chiticuy	0.5802	0.2742	0.473	Muy Baja
SCH	Quebrada El Aroma	0.0489	0.0218	0.447	Muy Baja
SCH	Río Surba	0.7308	0.4763	0.652	Moderada
SCH	Quebrada Toibita	0.0946	0.0539	0.570	Baja
SCH	Río Sotaquirá	1.1942	0.6535	0.547	Baja
SCH	Río de Piedras	0.4602	0.2651	0.576	Baja
SCH	Río Jordán o (Río Jordán)	0.7675	0.3778	0.492	Muy Baja
SCH	Río Tuta	2.5436	1.4259	0.561	Baja
SCH	Quebrada Honda Grande	0.0797	0.0355	0.445	Muy Baja
SCH	Directos Alto Chicamocha	8.3595	4.8243	0.577	Baja

Tabla 28 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) a nivel de microcuencas abastecedoras

Tipo Unidad	Nombre Unidad	Vt	Vp	IRH	Categoría IRH
MCH	río Toca	0.3987	0.2610	0.655	Moderada
MCH	río Chorrera	0.2712	0.1440	0.531	Baja
MCH	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	0.0064	0.0030	0.465	Muy Baja
MCH	Quebrada Agua Tibia	0.0113	0.0053	0.467	Muy Baja
MCH	quebrada Canocas	0.0176	0.0075	0.4260	Muy Baja
MCH	quebrada Maldita	0.0363	0.0206	0.5677	Baja
MCH	quebrada Las Aguilas	0.0294	0.0135	0.458	Muy Baja
MCH	quebrada El Rosal	0.0289	0.0127	0.440	Muy Baja
MCH	quebrada Las Despensas	0.0129	0.0058	0.448	Muy Baja
MCH	quebrada Varguitas	0.0111	0.0047	0.418	Muy Baja
MCH	Sin toponimia 1	0.0017	0.0007	0.398	Muy Baja
MCH	Sin toponimia 2	0.0008	0.0003	0.393	Muy Baja
MCH	quebrada Grande	0.0175	0.0073	0.416	Muy Baja
MCH	quebrada La Selva	0.0244	0.0100	0.410	Muy Baja
MCH	quebrada Chameza	0.0281	0.0150	0.532	Baja
MCH	quebrada Antonio	0.0067	0.0034	0.5072	Baja
MCH	quebrada La Chorrera_1	0.0055	0.0029	0.5175	Baja
MCH	Río Pesca	0.8186	0.5281	0.6451	Baja
MCH	Río Tota	0.7555	0.4790	0.6340	Baja
MCH	Río Monquirá	0.4778	0.3001	0.628	Baja
MCH	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	0.0918	0.0502	0.547	Baja
MCH	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	0.0394	0.0198	0.502	Baja
MCH	quebrada Chorro Blanco	0.0472	0.0278	0.589	Baja
MCH	quebrada del Coconuco	0.0283	0.0163	0.577	Baja
MCH	quebrada Jote	0.0059	0.0031	0.525	Baja
MCH	quebrada Las Ánimas	0.0145	0.0093	0.642	Baja
MCH	quebrada Honda (Q_Las Flores)	0.0335	0.0162	0.484	Muy Baja
MCH	quebrada Boyacogua	0.0745	0.0357	0.480	Muy Baja

Índice de Variabilidad (IV)

Este índice se obtiene al igual que el índice de regulación hídrica con soporte en la curva de duración de caudales. La pequeña variabilidad en los caudales tienen concordancia a flujos de agua constante por los cauces, típicamente presentes en los cauces de llanura, por el contrario las variabilidades

altas conciernen a unidades con pendientes altas con flujos de agua muy variables donde la respuesta hidrológica a las precipitaciones altas y de baja duración, es muy rápida.

El índice de variabilidad (IV) se estima mediante la siguiente ecuación y se categoriza de acuerdo a los rangos presentados en la 0.

$$IV = \frac{\log(Qi) - \log(Qf)}{\log(Xi) - \log(Xf)}$$

Donde,
Qi: Caudal correspondiente al 5% de excedencia de la CDC.
Qf: Caudal correspondiente al 95% de excedencia de la CDC.
Xi: Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi.
Xf: Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qf.

Tabla 29 Clasificación del índice de variabilidad.

Índice de Variabilidad	Vulnerabilidad
<10°	Muy baja
10°-37°	Baja
37°-47°	Media
47°-51°	Alta
>55°	Muy alta

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2013).

Tabla 30 Índice de Variabilidad (IV) a nivel de subcuencas.

Tipo Unidad	Nombre Unidad	$Qi(Xi=5\%)$	$Qf(Xf=95\%)$	Índice de Variabilidad	Variabilidad
CH	Alto Chicamocha	25.22	4.2	29.60	Baja
SCH	Río Chiquito	5.72	0.6	34.94	Baja
SCH	Río Chiticuy	1.83	0.2	36.77	Baja
SCH	Quebrada El Aroma	0.17	0.0	33.11	Baja
SCH	Río Surba	1.78	0.3	29.73	Baja
SCH	Quebrada Toibita	0.26	0.0	36.51	Baja
SCH	Río Sotaquirá	3.50	0.5	31.88	Baja
SCH	Río de Piedras	1.31	0.2	31.35	Baja
SCH	Río Jordan o (Río Jordán)	2.46	0.3	32.99	Baja
SCH	Río Tuta	8.27	0.9	33.89	Baja
SCH	Quebrada Honda Grande	0.26	0.0	32.03	Baja

Fuente: Consorcio POMCA.

Tabla 31 Índice de Variabilidad (IV) a nivel de microcuencas abastecedoras.

Tipo Unidad	Nombre Unidad	$Qi(Xi=5\%)$	$Qf(Xf=95\%)$	Índice de Variabilidad	Variabilidad
MCH	quebrada Munevar	1.30	0.1	37.49	Media
MCH	río Ocusa	2.15	0.3	31.77	Baja
MCH	río La Vega	0.67	0.1	32.44	Baja
MCH	quebrada La Chorrera	0.13	0.0	33.62	Baja
MCH	Dir_río Jordán_ río La Vega a Qda. La Chorrera (md)	0.10	0.0	32.98	Baja
MCH	quebrada Colorada	0.26	0.0	31.61	Baja
MCH	quebrada Honda	0.08	0.0	30.96	Baja
MCH	quebrada de Cómbita	0.28	0.0	34.60	Baja
MCH	quebrada Paso Grande	0.36	0.0	34.37	Baja
MCH	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	0.04	0.0	33.64	Baja
MCH	quebrada San Miguel	0.15	0.0	32.88	Baja
MCH	quebrada Toledo	0.16	0.0	32.17	Baja
MCH	quebrada El Guate	0.32	0.1	29.96	Baja
MCH	quebrada Puente Tierra	0.06	0.0	31.19	Baja
MCH	río Sotaquirá_Nacimiento	0.32	0.0	33.81	Baja
MCH	río Vargas	0.80	0.1	33.69	Baja
MCH	Dir_río Sotaquirá_entre río Vargas y desembocadura (mi)	0.05	0.0	34.15	Baja
MCH	río Cormichoque	5.23	0.5	34.95	Baja
MCH	río Toca	1.03	0.1	36.05	Baja
MCH	río Chorrera	0.78	0.1	36.61	Baja
MCH	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	0.02	0.0	29.91	Baja
MCH	Quebrada Agua Tibia	0.04	0.0	29.74	Baja
MCH	quebrada Canocas	0.06	0.0	34.50	Baja
MCH	quebrada Maldita	0.10	0.0	35.61	Baja
MCH	quebrada Las Aguilas	0.10	0.0	34.39	Baja
MCH	quebrada El Rosal	0.10	0.0	33.41	Baja
MCH	quebrada Las Despensas	0.04	0.0	31.91	Baja
MCH	quebrada Varguitas	0.04	0.0	32.54	Baja
MCH	Sin toponimia 1	0.01	0.0	34.49	Baja
MCH	Sin toponimia 2	0.00	0.0	34.04	Baja
MCH	quebrada Grande	0.05	0.0	34.27	Baja
MCH	quebrada La Selva	0.07	0.0	34.25	Baja
MCH	quebrada Chameza	0.08	0.0	36.38	Baja
MCH	quebrada Antonio	0.02	0.0	35.10	Baja
MCH	quebrada La Chorrera_1	0.02	0.0	36.01	Baja
MCH	Río Pesca	1.98	0.2	33.61	Baja
MCH	Río Tota	1.96	0.2	36.95	Baja
MCH	Río Monquirá	1.26	0.1	36.49	Baja
MCH	Quebrada Pedregal (Q. Vaneqas)	0.28	0.0	37.13	Media
MCH	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	0.13	0.0	37.03	Media
MCH	quebrada Chorro Blanco	0.13	0.0	36.50	Baja
MCH	quebrada del Coconuco	0.08	0.0	36.49	Baja
MCH	quebrada Jote	0.02	0.0	36.53	Baja

La cuenca alta del río Chicamocha posee en general una variabilidad *Baja*, y a nivel de subcuencas, se diferencia el río Chiticuy con variabilidad *Media*; en relación a microcuencas abastecedoras, se identifica variabilidad *Media* en la quebrada Munevar perteneciente al río Chiticuy y las unidades Quebrada Pedregal y Dir Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi).

Índice de Uso del Agua (IUA)

El IUA se calcula como la relación porcentual entre la demanda de agua total realizada por los diferentes sectores usuarios, con respecto a la oferta hídrica disponible o aprovechable, en un periodo de tiempo y a una unidad de estudio determinada. Este índice se divide en cinco categorías que son de utilidad para observar el grado de afectación del recurso hídrico referente a la presión que se ejerce por los diferentes usos.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IUA = \left(\frac{Dh}{Oh}\right) * 100$$

Donde,

Dh: Demanda hídrica total solicitada por los diferentes sectores establecidos dentro de la cuenca.
Oh: Oferta hídrica superficial disponible o aprovechable.

Tabla 32 Rangos y categorías índice de uso del agua.

Significado	Rango	Categoría
La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible	>50%	Muy Alto
La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible	20%-50%	Alto
La presión de la demanda es moderada respecto a la oferta disponible	10%-20%	Moderado
La presión de la demanda es bajo con respecto a la oferta disponible	1%-10%	Bajo
La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible	≤1	Muy bajo

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

Demanda hídrica

Para estimar el IUA es necesario realizar una estimación del volumen de agua demandado por todos los sectores establecidos dentro de la cuenca. La demanda hídrica se encuentra definida básicamente como "La sustracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades y los requerimientos de consumo humano, producción sectorial y demandas esenciales de los ecosistemas existentes sean intervenidos o no (IDEAM, Estudio Nacional del Agua, 2014). La Resolución 865 de 2004 define las diferentes demandas sectoriales consideradas para la estimación del Índice, donde dichas presiones se encuentran asociadas principalmente a un uso del agua. Los procesos metodológicos para la estimación de la demanda hídrica, tienen relación al Estudio Nacional del Agua (2014), considerando la clasificación de usos contemplados en el decreto único 1076 de 2015.

Las demandas hídricas estimadas para la cuenca Alta del río Chicamocha, sectorizadas por la clasificación mencionada con anterioridad y espacializada a nivel de subcuenca y microcuenca abastecedoras, se establecen teniendo en cuenta información asociada a las concesiones correspondientes a las diferentes presiones del uso del agua otorgadas por la Corporación Autónoma Regional (Corpoboyacá), para los sectores agrícolas, industriales, recreativos y algunos domésticos de carácter rural. En el caso de demandas hídricas domésticas relacionadas a extensos centros poblados, la estimación se define a partir de la metodología propuesta en el ENA 2014, basada en la asignación de la dotación de agua para consumo humano de la Reglamentación Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

La demanda hídrica incluida para el estudio comprende el uso doméstico, uso pecuario, uso agrícola, uso industrial y uso recreativo, por tal razón la demanda hídrica total se calculará como:

$$DH=DUD+DUI+DUA+DUP+DUR+DUPisicola+DUM$$

Donde,
DH: Demanda hídrica total.
DUD: Demanda de agua para uso doméstico.

DUI: Demanda de agua para uso industrial.
DUA: Demanda de agua para uso agrícola.
DUP: Demanda de agua para uso pecuario.
DUM: Demanda de agua para uso mixto.
$DUPiscicola$: Demanda de agua para uso piscícola.

Tabla 33 Demandas de principales cabeceras municipales de la Cuenca Alto Chicamocha

Municipio	Población (Hab.)	Nivel de Complejidad	Dotación Neta Min (l/Hab-día)	Pérdidas admisibles máximas (%)	Caudal Medio Diario Qmd (m3/s)	Caudal Medio Diario Qmd (l/s)
Tunja	199008	Alto	140	20%	0.40308	403.08
Chivatá	3016	Medio	115	30%	0.00573	5.73
Cómbita	1230	Bajo	90	40%	0.00214	2.14
Cuítiva	214	Bajo	90	40%	0.00037	0.37
Duitama	104828	Alto	140	20%	0.21233	212.33
Firavitoba	2107	Bajo	90	40%	0.00366	3.66
Iza	1081	Bajo	90	40%	0.00188	1.88
Motavita	994	Bajo	90	40%	0.00173	1.73
Nobsa	6755	Medio	115	30%	0.01284	12.84
Oicatá	314	Bajo	90	40%	0.00055	0.55
Paipa	20500	Medio Alto	125	25%	0.03954	39.54
Pesca	1935	Bajo	90	40%	0.00336	3.36
Santa Rosa de Viterbo	7136	Medio	115	30%	0.01357	13.57
Siachoque	1625	Bajo	90	40%	0.00282	2.82
Sogamoso	97900	Alto	140	20%	0.19829	198.29

Tabla 34 Demandas domésticas de las subcuencas y microcuencas abastecedoras de la Cuenca Alto Chicamocha

Tipo unidad	Código	Nombre Unidad	Caudal Medio Diario Qmd (l/s) rural	Caudal Medio Diario Qmd (l/s) Municipal	Caudal Medio Diario Qmd (l/s) Total
CH	240301	Cuenca alta río Chicamocha	79.8	58.7	138.4
SCH	24030109	Río Chiquito	11.8	0.7	12.5
SCH	24030102	Río Chiticuy	11.6	6.7	18.3
SCH	24030110	Quebrada El Aroma	0.1	0.0	0.1
SCH	24030104	Río Surba	1.1	137.1	138.2
SCH	24030104	Quebrada Toibita	2.6	39.5	42.1
SCH	24030105	Río Sotaquirá	5.4	0.2	5.7
SCH	24030106	Río de Piedras	5.2	5.4	10.6
MCH	2403010905	Río Monquirá	0.1	0.0	0.1
MCH	2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	0.0	0.0	0.0
MCH	2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	0.1	0.0	0.1
MCH	2403010401	quebrada Chorro Blanco	0.1	0.0	0.1
MCH	2403010402	quebrada del Coconuco	2.2	0.0	2.2
MCH	2403010402	quebrada Jote	0.0	0.0	0.0
MCH	2403010401	quebrada Las Ánimas	0.1	0.0	0.1
MCH	2403010202	quebrada Honda (Q_Las Flores)	0.3	0.0	0.3
MCH	2403010203	quebrada Boyacogua	0.6	4.0	4.7

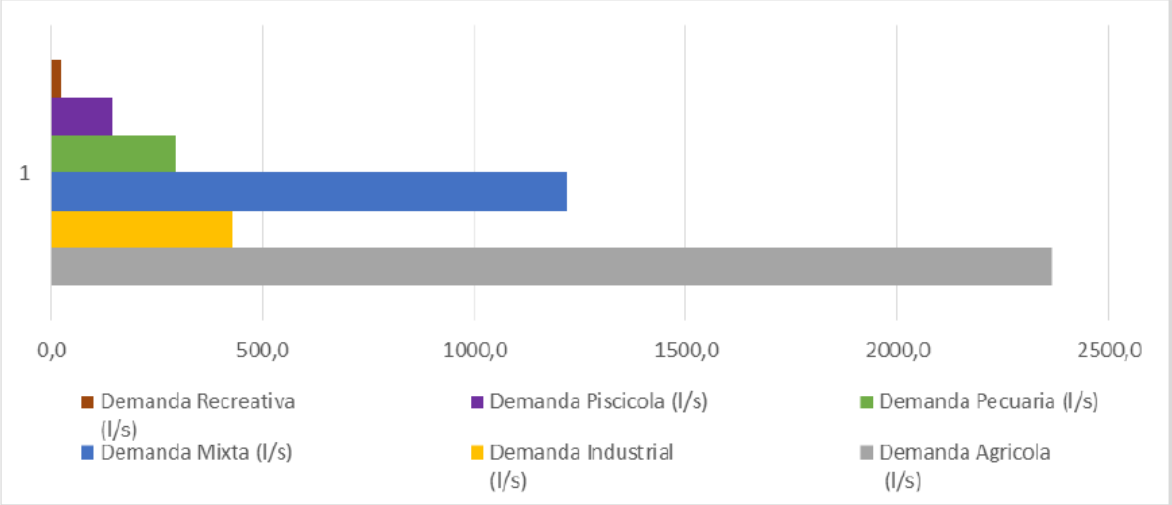
Tabla 35 Demanda hídrica pecuaria por municipio.

MUNICIPIO	Demanda hídrica en fase de cría, levante y terminación (l/s)	Demanda hídrica Caprinos, Equinos y Ovinos (l/s)	Demanda hídrica Porcina fase de cría levante y terminación (l/s)	Demanda hídrica Avícola (l/s)	Demanda hídrica Total (l/s)
Chivatá	1.2	0.3	0.1	0.0	1.5
Cómbita	3.1	0.6	0.1	5.5	9.4
Corrales	0.6	0.4	0.0	0.0	1.0
Cuítivá	0.7	0.7	0.0	0.0	1.4
Duitama	5.3	0.3	0.3	19.0	25.0
Firavitoba	3.9	0.7	0.2	0.0	4.8
Iza	1.0	0.4	0.0	0.0	1.4
Motavita	2.3	0.6	0.2	0.0	3.1
Nobsa	0.5	0.3	0.0	11.9	12.8
Oicatá	2.0	0.3	0.2	0.6	3.1
Paipa	8.8	0.4	0.4	12.0	21.6
Pesca	2.6	2.1	0.1	0.0	4.8
Santa Rosa de Viterbo	1.5	0.4	0.0	0.0	1.9
Siachoque	2.2	0.5	0.1	0.0	2.8
Sogamoso	3.3	1.8	0.8	2.3	8.2
Sora	0.5	0.2	0.1	0.0	0.9
Soracá	2.7	0.2	0.0	1.2	4.1
Sotaquirá	10.9	0.4	0.1	55.1	66.4
Tibasosa	3.5	0.7	0.3	75.6	80.1
Toca	3.5	0.9	0.3	1.4	6.1
Tópaga	0.5	0.6	0.0	0.0	1.1
Tota	2.3	2.9	0.2	0.0	5.5
Tunja	3.7	1.4	0.6	0.0	5.7
Tuta	6.7	0.6	0.1	78.3	85.8

La asignación de las demandas de los expedientes a cada unidad de estudio se realiza con el apoyo de la ubicación geográfica del punto de captación de la demanda (demandas industriales, pecuarias, agrícolas, recreacionales y domésticas de las cuales existe pleno conocimiento de la localización geográfica de sus captaciones, encontrados en los expedientes de concesiones y en otra información secundaria). Cada punto requiere la identificación de la unidad de estudio en la cual está contenida, sin embargo, para las los expedientes de uso pecuario, la información recabada no posee el nivel detalle suficiente e identificar la ubicación de la captación individualizada se convierte en un trabajo dispendioso, por tal motivo se generalizó y se aplicó la metodología de densidad poblacional utilizando herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), estimando el valor estadístico que pondera el volumen demandado total por unidad de estudio.

Las demandas de mayor envergadura de la cuenca se encuentran en la parte baja sobre el cauce principal, subcuenca directos alto Chicamocha y río Chiquito, que en conjunto equivale al 81.76% de la demanda total. El uso que mayor presión ejerce sobre la cuenca es el agrícola requiriendo el 63.67% del total de las demandas. Particularmente los distritos de riego con razón social USOCHICAMOCHA equivalen al 52.56% del total de las demandas y al 82.56% de las demandas agrícolas con un caudal total concesionado de 1.8 m3/s. En orden de consumo relacionado, los usos establecidos en la cuenca son: uso agrícola 63.67%, uso industrial 20.77%, uso pecuario 8.30%, uso doméstico 6.49% y uso recreativo 0.77%.

Figura 30 Distribución de la demanda por uso de agua.



Fuente: Consorcio POMCA.

Figura 31 Demanda hídrica por uso de agua para las unidades de subcuencas hidrográficas, microcuencas hidrográficas, y cuenca hidrográfica.

Código	Nombre Unidad	Demanda Doméstica (l/s)	Demanda Agrícola (l/s)	Demanda Industrial (l/s)	Demanda Mixta (l/s)	Demanda Pecuaria (l/s)	Demanda Piscícola (l/s)	Demanda Recreativa (l/s)	Demanda Total real (l/s)
24030109	Río Chiquito	12.5	324.2	12.9	145.8	25.3	0.0	0.8	520.8
24030102	Río Chiticuy	18.3	0.7	0.2	83.7	3.5	0.0	0.0	106.4
24030110	Quebrada El Aroma	0.1	0.3	0.0	14.8	3.0	0.0	0.0	18.2
24030104	Río Surba	138.2	0.3	0.6	22.0	7.1	0.0	0.0	168.1
24030104	Quebrada Toibita	42.1	0.0	0.0	26.4	1.4	1.8	0.0	69.9
24030105	Río Sotaquirá	5.7	27.6	0.0	70.4	32.5	143.1	0.0	136.2
24030106	Río de Piedras	10.6	3.1	0.0	28.9	9.2	1.0	0.0	51.9
24030107	Río Jordan o (Río Jordán)	11.1	32.6	7.1	71.5	24.6	0.0	0.0	147.0
24030108	Río Tuta	16.9	199.2	1.0	477.6	67.1	0.0	0.0	761.8
24030111	Quebrada Honda Grande	3.0	37.8	0.0	23.6	6.7	0.0	25.6	71.1
24030101	Cuenca alta río Chicamocha	138.4	2367.1	429.1	1221.5	294.5	145.9	26.4	4450.7

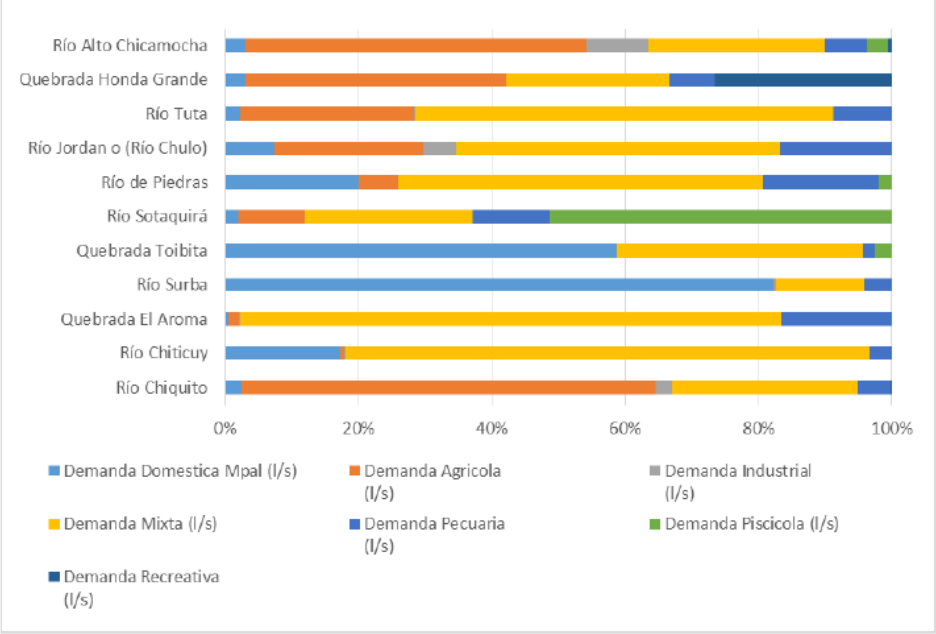
Fuente: Consorcio POMCA.

Figura 32 Demanda hídrica por uso de agua para las unidades de, microcuencas hidrográficas.

Código	Nombre Unidad	Demanda Doméstica (l/s)	Demanda Agrícola (l/s)	Demanda Industrial (l/s)	Demanda Mixta (l/s)	Demanda Pecuaria (l/s)	Demanda Piscícola (l/s)	Demanda Recreativa (l/s)	Demanda Total real (l/s)
2403010708	Dir_río Jordán_Qda. Soca a Qda. Agua Blanca (mi)	0.2	2.3	0.0	0.4	0.3	0.0	0.0	3.2
2403010604	quebrada San Miguel	2.6	0.3	0.0	8.2	0.5	0.0	0.0	11.5
2403010603	quebrada Toledo	0.1	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.9
2403010602	quebrada El Guate	0.2	0.8	0.0	2.5	2.2	0.0	0.0	5.5
2403010601	quebrada Puente Tierra	0.0	0.0	0.0	0.9	0.6	0.0	0.0	1.5
2403010502	río Sotaquirá_Nacimiento	1.2	0.0	0.0	6.9	1.6	0.0	0.0	9.7
2403010503	río Vargas	0.7	0.4	0.0	13.1	8.1	0.0	0.0	22.3
2403010504	Dir_río Sotaquirá_entre río Vargas y desembocadura (mi)	0.0	0.0	0.0	1.7	0.9	0.0	0.0	2.6
2403010801	río Cormichoque	5.7	64.1	0.7	193.9	4.1	0.0	0.0	268.6
2403010802	río Toca	2.1	0.0	0.0	4.0	1.0	0.0	0.0	7.1
2403010803	río Chorrera	2.7	103.1	0.0	60.8	12.1	0.0	0.0	178.8
2403011102	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	1.5	0.0	0.0	1.4	1.9	0.0	0.0	4.8
2403011104	Quebrada Agua Tibia	0.5	0.7	0.0	7.7	0.8	0.0	0.0	9.7
2403011101	quebrada Canocas	0.1	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	2.9
2403010104	quebrada Maldita	0.4	1.4	0.0	2.9	1.2	0.0	0.0	5.9
2403010104	quebrada Las Aguilas	0.0	0.4	0.0	3.5	1.1	0.0	0.0	5.0
2403010102	quebrada El Rosal	0.9	0.0	0.0	3.3	0.5	0.0	0.0	4.6
2403010105	quebrada Las Despensas	0.0	0.3	0.0	5.4	5.8	0.0	0.0	11.5
2403010106	quebrada Varquitas	0.2	0.2	1.1	7.7	0.8	0.0	0.0	10.0
2403010110	Sin toponimia 1	0.1	0.0	0.0	0.9	0.5	0.0	0.0	1.5
2403010111	Sin toponimia 2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.6
2403010112	quebrada Grande	3.1	0.1	0.5	0.5	5.2	0.0	0.0	9.3
2403010107	quebrada La Selva	0.5	0.0	0.0	5.1	7.5	0.0	0.0	13.1
2403010101	quebrada Chameza	0.2	0.3	0.0	2.2	2.0	0.0	0.0	4.6
2403010108	quebrada Antonio	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.6
2403010109	quebrada La Chorrera_1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3
2403010901	Río Pesca	9.5	62.8	4.9	54.1	9.2	0.0	0.0	140.4
2403010902	Río Tota	2.8	109.1	4.6	5.5	5.0	0.0	0.8	127.0
2403010905	Río Monquirá	0.1	148.2	3.5	2.0	2.8	0.0	0.0	156.6
2403010903	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	0.0	2.0	0.0	80.3	1.0	0.0	0.0	83.3
2403010904	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	0.1	0.4	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	1.1

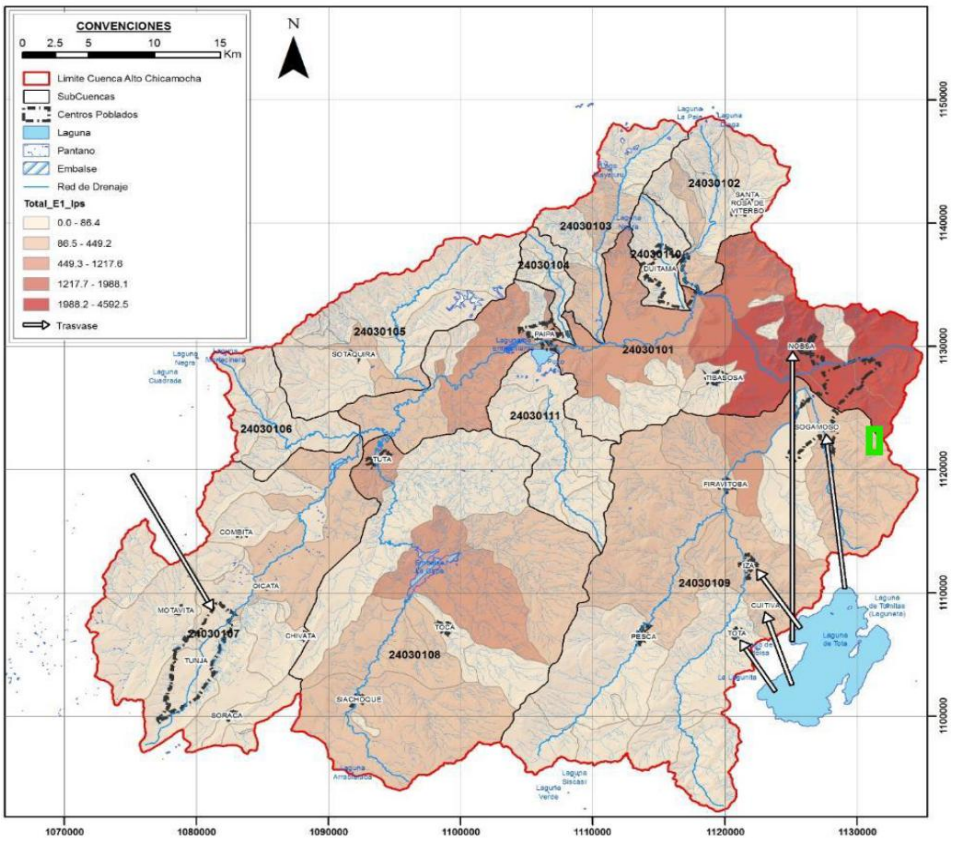
Fuente: Consorcio POMCA.

Figura 33 Distribución porcentual de la demanda hídrica total a nivel de subcuencas



Fuente: Consorcio POMCA.

Figura 34 Demanda hídrica total a nivel de subcuencas



Oferta hídrica disponible

La oferta hídrica disponible sobre la cual se puede realizar un aprovechamiento para desarrollar actividades productivas dentro de la cuenca son los mostrados a continuación a nivel anual entendiéndose la oferta hídrica disponible, como aquella que permite la conservación de los ecosistemas naturales.

Tabla 36 Oferta hídrica disponible a nivel de cuenca y subcuenca hidrográfica.

Tipo Unidad	Nombre Unidad	Año normal			Año Seco		
		Oh=Ototal -QIRH (l/s)	Oh=Ototal -Q97.5% (l/s)	Oh=Ototal -Q25% (l/s)	Oh=Ototal -QIRH (l/s)	Oh=Ototal -Q97.5% (l/s)	Oh=Ototal -Q25% (l/s)
SCH	Río Jordán o (Río Jordán)	946.9	1833.6	2128.1	503.8	975.7	1132.3
SCH	Río de Piedras	285.7	454.6	536.2	78.5	124.9	147.3
SCH	Río Tuta	13.5	26.6	41.1	0.2	0.3	0.5
SCH	Río Sotaquirá	303.5	590.1	708.6	163.9	318.7	382.6
SCH	Río Surba	43.9	74.0	81.5	1.3	2.2	2.4
SCH	Quebrada Honda Grande	540.1	898.9	1136.2	163.2	271.6	343.3
SCH	Quebrada Toibita	211.0	368.5	454.4	80.6	140.7	173.5
SCH	Quebrada El Aroma	326.0	543.4	696.0	48.9	81.5	104.3
SCH	Río Chiticuy	962.9	1928.2	2217.4	409.6	820.3	943.3
SCH	Río Chiquito	17.6	38.9	64.5	0.3	0.6	1.0
CH	Cuenca alta río Chicamocha	3237.2	6448.5	8886.6	1411.2	2811.1	3873.9

Categorización del IUA.

Teniendo en cuenta la categoría del índice IUA, se establece que las unidades de estudio críticas son aquellas que poseen alta presión antrópica y por lo tanto un IUA con categoría *Alta* a *Muy Alta*, condicionando escenarios con implementación de programas de conservación y nuevas tecnologías o diseño de planes de producción que optimicen el uso del recurso hídrico, con el fin de reducir los conflictos del agua por déficit de la disponibilidad hídrica.

El IUA refleja que la situación actual en la cuenca es crítica, hay latente conflicto entre los usos cotidianos del agua y los ecosistemas establecidos, específicamente en las unidades de quebrada Honda Grande, quebrada Toibita y quebrada el Aroma, identificada por una relación entre la oferta disponible y demanda hídrica mayor al 100%. A nivel de microcuencas abastecedoras la situación es similar para las unidades de quebrada Colorada, río Chorrera, quebrada Honda Grande Nacimiento, quebrada Agua Tibia, quebrada Las Despensas, quebrada Varguitas, Sin Toponimia 1, Sin Toponimia 2, quebrada Grande, quebrada La Selva, quebrada Pedregal y quebrada Jote.

Tabla 37 Índice de Uso del Agua (IUA) a nivel de cuenca y subcuenca hidrográfica.

Tipo Unidad	Nombre Unidad	Oferta Hídrica Superficial Disponible Oh=Ototal-QIRH (l/s)	Demanda Hídrica Total (l/s)	IUA QIRH	Categoría IUA QIRH
SCH	Río Chiquito	946.9	520.8	55.00%	Muy Alto
SCH	Río Chiticuy	285.7	105.3	36.86%	Alto
SCH	Quebrada El Aroma	13.5	18.2	134.67%	Muy Alto
SCH	Río Surba	303.5	177.5	58.50%	Muy Alto
SCH	Quebrada Toibita	43.9	69.9	159.34%	Muy Alto
SCH	Río Sotaquirá	540.1	136.2	25.22%	Alto
SCH	Río de Piedras	211.0	51.9	24.60%	Alto
SCH	Río Jordán o (Río Jordán)	326.0	147.0	45.09%	Alto
SCH	Río Tuta	962.9	761.8	79.12%	Muy Alto
SCH	Quebrada Honda Grande	17.6	71.1	404.82%	Muy Alto
CH	Cuenca alta río Chicamocha	3237.2	2532.8	78.24%	Muy Alto

Fuente: Consorcio POMCA.

Tabla 38 Índice de Uso del Agua (IUA) a nivel de microcuenca abastecedora.

Tipo Unidad	Nombre Unidad	Oferta Hídrica Superficial Disponible Oh=Ototal-QIRH (m3/s)	Demanda Hídrica Total (m3/s)	IUA QIRH	Categoría IUA QIRH
MCH	río Vargas	116.6	22.3	19.09%	Moderado
MCH	Dir_río Sotaquirá_entre río Vargas y desembocadura (mi)	7.4	2.6	34.54%	Alto
MCH	río Cormichoque	813.6	268.6	33.01%	Alto
MCH	río Toca	169.1	7.1	4.21%	Bajo
MCH	río Chorrera	132.5	178.8	134.89%	Muy Alto
MCH	Quebrada Honda Grande_Nacimiento	1.5	4.8	329.06%	Muy Alto
MCH	Quebrada Agua Tibia	0.8	9.7	1227.02%	Muy Alto
MCH	quebrada Canocas	6.8	2.9	43.28%	Alto
MCH	quebrada Maldita	17.7	5.9	33.45%	Alto
MCH	quebrada Las Aguilas	8.9	5.0	55.34%	Muy Alto
MCH	quebrada El Rosal	7.9	4.6	58.72%	Muy Alto
MCH	quebrada Las Despensas	2.5	11.5	451.55%	Muy Alto
MCH	quebrada Varguitas	2.9	10.0	348.01%	Muy Alto
MCH	Sin toponimia 1	0.5	1.5	274.57%	Muy Alto
MCH	Sin toponimia 2	0.2	0.6	253.04%	Muy Alto
MCH	quebrada Grande	7.5	8.3	111.07%	Muy Alto
MCH	quebrada La Selva	10.6	13.1	123.06%	Muy Alto
MCH	quebrada Chameza	13.8	4.6	33.29%	Alto
MCH	quebrada Antonio	3.1	0.6	17.60%	Moderado
MCH	quebrada La Chorrera_1	2.6	0.3	10.70%	Moderado
MCH	Río Pesca	342.1	140.4	41.05%	Alto
MCH	Río Tota	380.9	127.0	33.35%	Alto
MCH	Río Monquirá	203.4	156.6	76.99%	Muy Alto
MCH	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	42.7	83.3	195.03%	Muy Alto
MCH	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	19.4	1.1	5.46%	Bajo

Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).

De acuerdo al ENA 2014 y a la Guía Técnica para la Formulación de POMCAS, el IVH permite calificar el grado de fragilidad en el sistema del recurso hídrico, definiendo el riesgo potencial por desabastecimiento de la fuente hídrica ante amenazas tales como la variabilidad climática, entre otros. El IVH se estima al contrastar los calificadores del Índice del Uso del Agua (IUA) y el Índice de Regulación y Retención Hídrica (IRH), analizados por categorías cualitativas. A continuación, se muestran los calificadores relacionados a dicho indicador:

Tabla 39 Rangos y categorías índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico IVH.

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

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

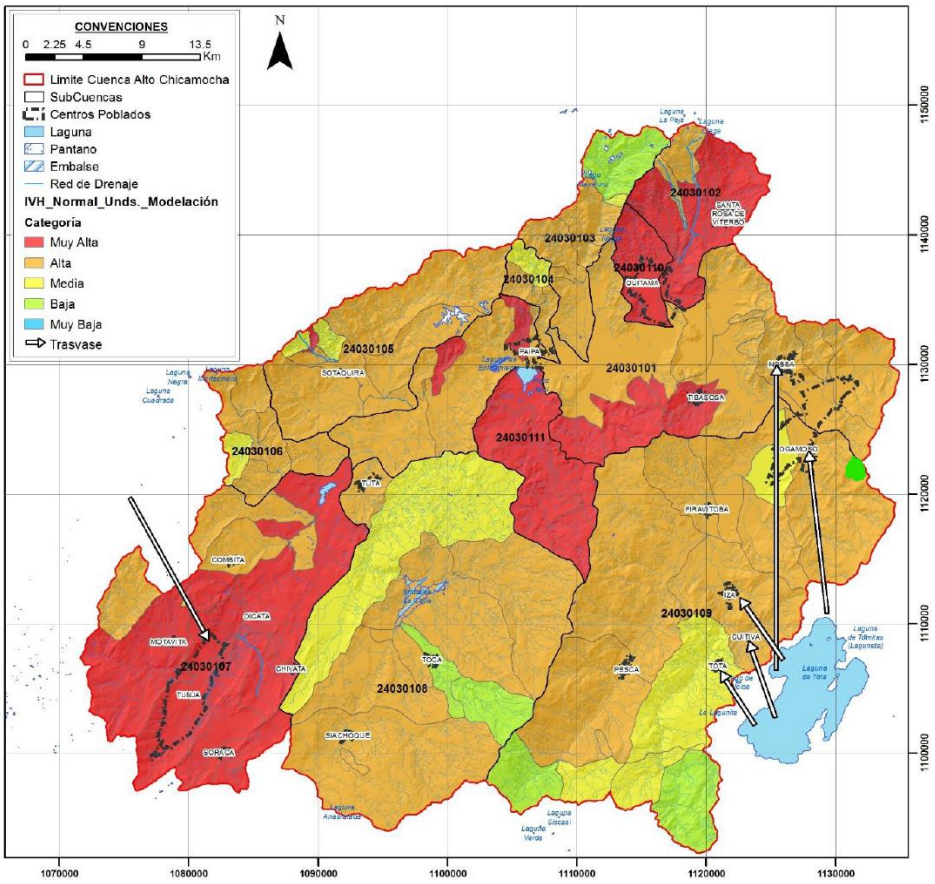
Tabla 40 IVH a nivel de cuenca y subcuenca

Tipo Unidad	Nombre Unidad	Categoría IRH	Categoría IUA, QIRH	Categoría IVH, QIRH
SCH	Río Chiquito	Baja	Muy Alto	Alta
SCH	Río Chiticuy	Muy Baja	Alto	Muy Alta
SCH	Quebrada El Aroma	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta

Tabla 41 IVH a nivel microcuenca abastecedora

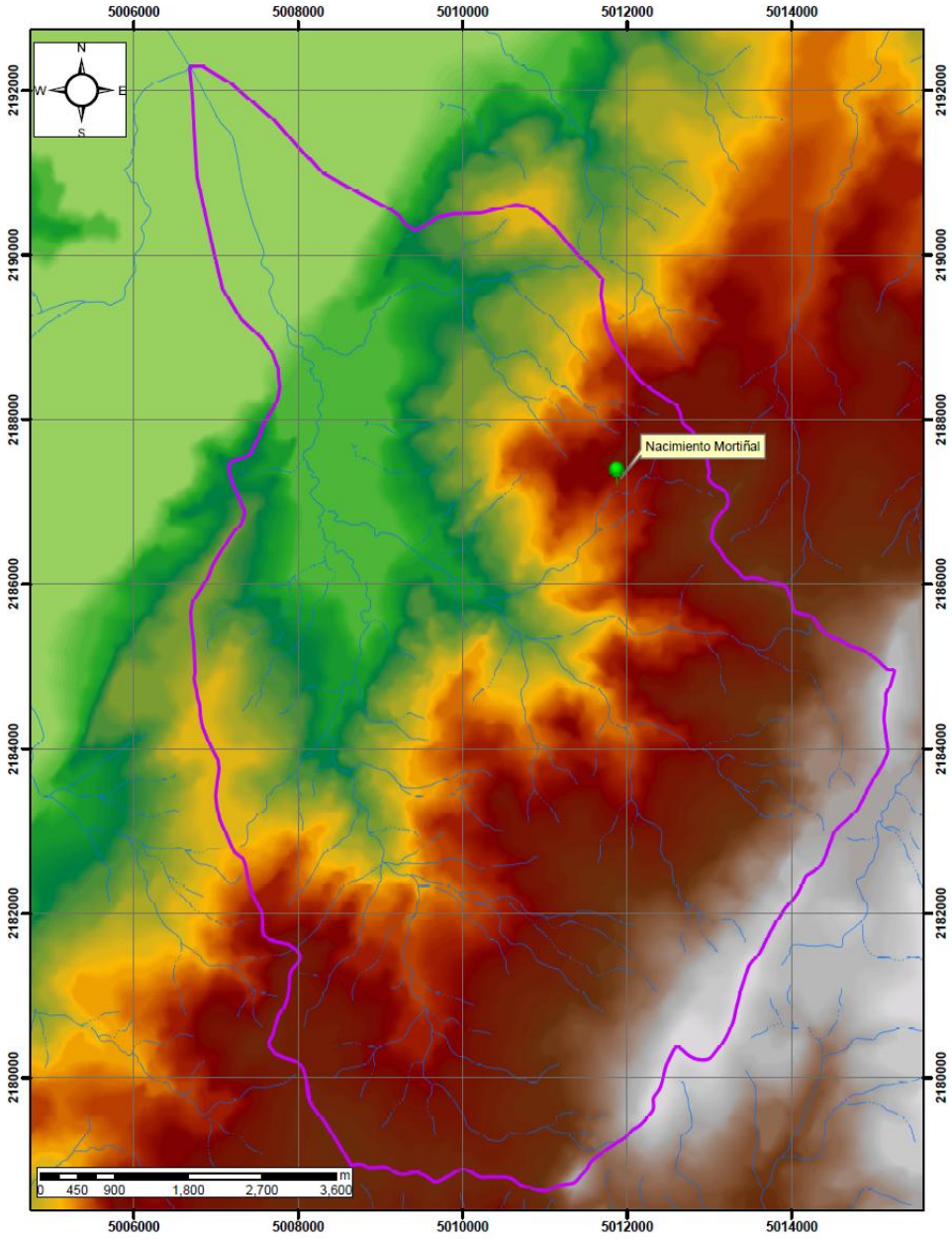
Tipo Unidad	Nombre Unidad	IRH	Categoría IUA QIRH	Categoría IVH QIRH
MCH	quebrada Canocas	Muy Baja	Alto	Muy Alta
MCH	quebrada Maldita	Baja	Alto	Alta
MCH	quebrada Las Aguilas	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta
MCH	quebrada El Rosal	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta
MCH	quebrada Las Despensas	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta
MCH	quebrada Varguitas	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta
MCH	Sin toponimia 1	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta
MCH	Sin toponimia 2	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta
MCH	quebrada Grande	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta
MCH	quebrada La Selva	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta
MCH	quebrada Chameza	Baja	Alto	Alta
MCH	quebrada Antonio	Baja	Moderado	Alta
MCH	quebrada La Chorrera_1	Baja	Moderado	Alta
MCH	Río Pesca	Baja	Alto	Alta
MCH	Río Tota	Baja	Alto	Alta
MCH	Río Monquirá	Baja	Muy Alto	Alta
MCH	Quebrada Pedregal (Q. Vanegas)	Baja	Muy Alto	Alta
MCH	Dir_Río Chiquito entre Qda. Pedregal (Qda. Vanegas) y Río Monquirá (mi)	Baja	Bajo	Media
MCH	quebrada Chorro Blanco	Baja	Bajo	Media
MCH	quebrada del Coconuco	Baja	Moderado	Alta
MCH	quebrada Jote	Baja	Muy Alto	Alta
MCH	quebrada Las Ánimas	Baja	Bajo	Media
MCH	quebrada Honda (Q_Las Flores)	Muy Baja	Moderado	Alta
MCH	quebrada Boyacogua	Muy Baja	Muy Alto	Muy Alta

Figura 35 Distribución espacial del IVH en las unidades de modelación



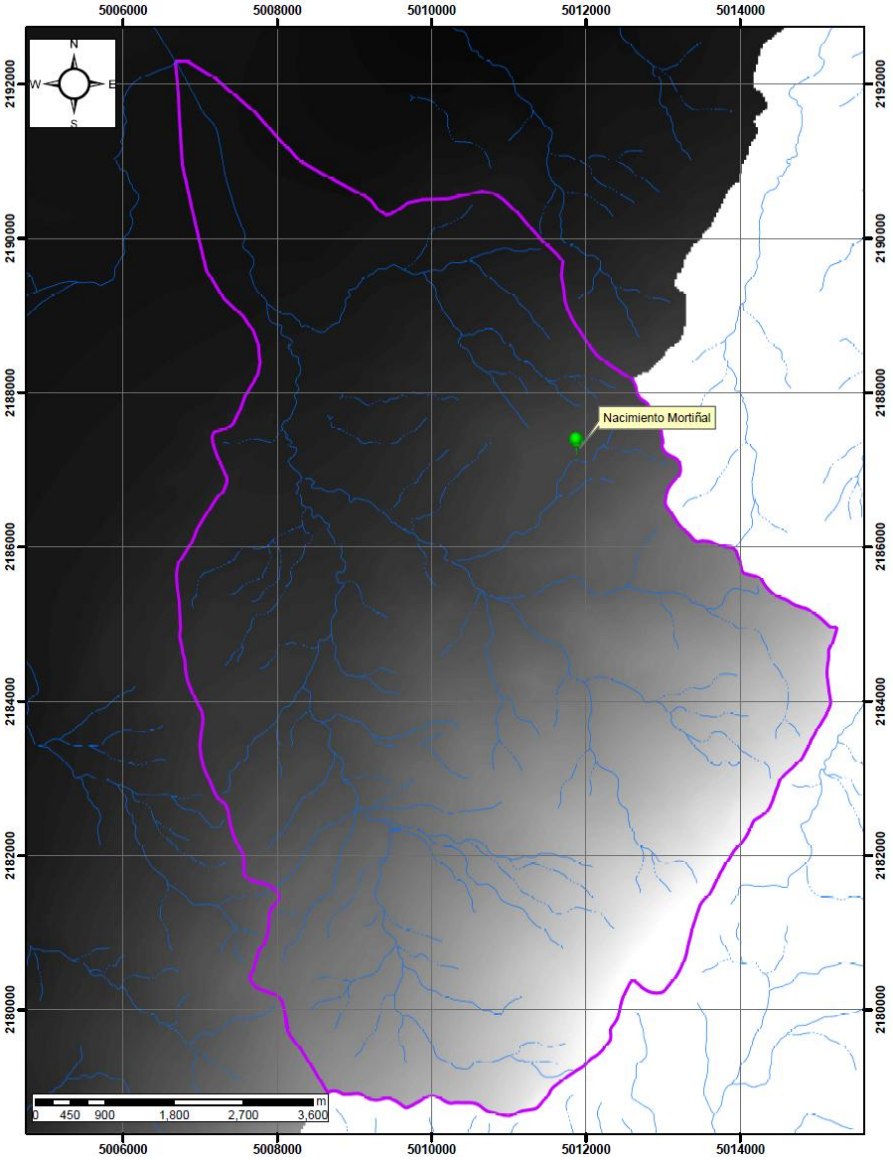
Finalmente, teniendo en cuenta la información regional de la cuenca alta del río Chicamocha, se procede a referenciar puntualmente la microcuenca objeto de análisis, que en este caso corresponde a la microcuenca del río Monquirá [2403010905].

Figura 36 Mapa de pendientes y red de drenaje de la unidad de análisis



Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Figura 37 Modelo de Elevación Digital usado para determinar las características morfométricas



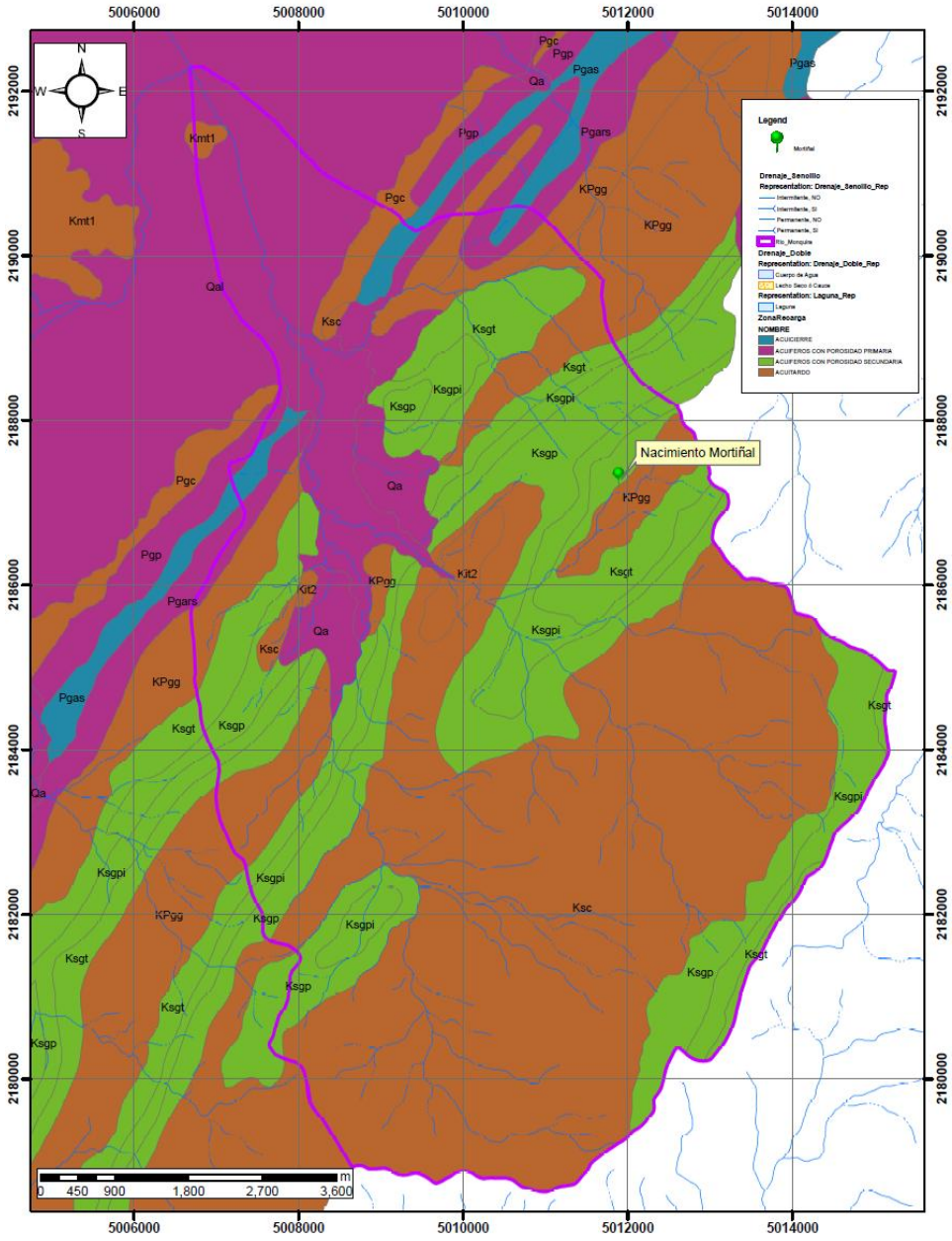
Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Posteriormente, se identifica que el nacimiento de agua objeto de análisis se encuentra dentro de un acuitardo perteneciente a la Formación Guaduas (KPgg). Este tipo de unidades geológicas se caracteriza por presentar materiales de baja permeabilidad, dominados por lutitas, arcillolitas y niveles intercalados de areniscas finas, lo cual limita significativamente la transmisión del agua subterránea y restringe el desarrollo de acuíferos de alta productividad. En este contexto, los acuitardos actúan como medios de flujo lento, favoreciendo la retención y liberación gradual del agua infiltrada, condición que explica la presencia de nacimientos con caudales estables y relativamente constantes a lo largo del año hidrológico.

En particular, la Formación Guaduas presenta estructuras de fracturamiento secundario, planos de estratificación y discontinuidades locales que pueden funcionar como vías preferenciales de flujo, permitiendo el ascenso puntual de agua subterránea hacia la superficie. Por esta razón, aun cuando el medio litológico dominante es de baja permeabilidad matricial, la existencia de fracturas y microfracturas facilita la emergencia de nacimientos tipo rezumadero o manantial colinario, cuya descarga suele estar controlada por la geometría estructural, los gradientes locales y la recarga difusa proveniente de unidades de mayor permeabilidad ubicadas aguas arriba.

En consecuencia, la ubicación del nacimiento en un acuitardo KPgg es consistente con la presencia de un flujo base sostenido y regulado naturalmente, lo que se refleja en los caudales medidos (~10 L/s) y en la baja variabilidad estacional observada durante las campañas de aforo.

Figura 38 Zonas de recarga en la microcuenca



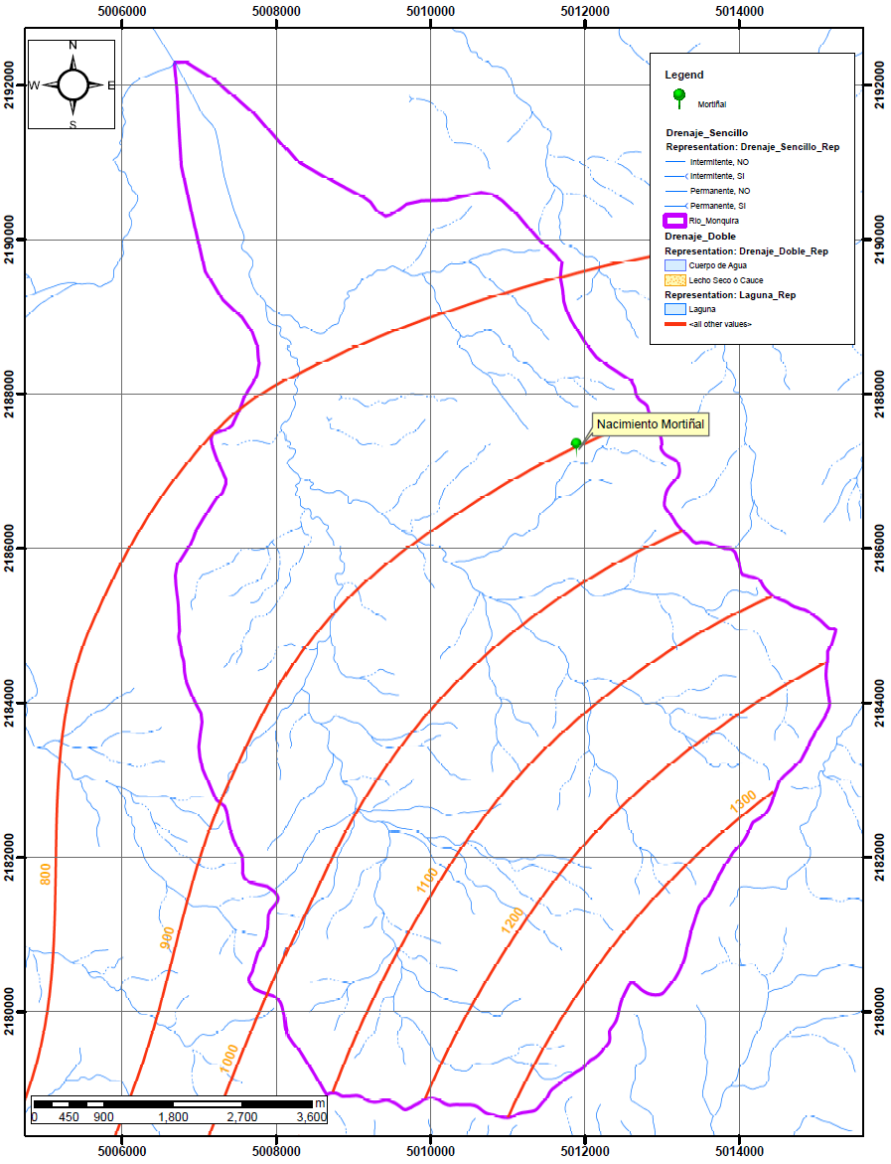
Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

Contrastando la ubicación geográfica del nacimiento con la cartografía temática y los registros históricos de precipitación incluidos en el POMCA del río Chicamocha – NSS, se establece que el área donde se localiza la fuente se encuentra sobre la isoyeta anual de 900 mm. Este valor es coherente con el comportamiento pluviométrico de los sectores altos e intermedios de la microcuenca del río Moniquirá, donde la distribución espacial de la lluvia se ve influenciada por factores orográficos, variaciones locales de altitud y la orientación de las laderas.

La isoyeta de 900 mm anuales indica que la zona recibe una oferta pluviométrica moderada, típica de unidades montanas ubicadas en el flanco oriental del valle del Chicamocha. Aunque no

corresponde a un régimen de alta precipitación, esta magnitud es suficiente para generar una recarga difusa efectiva sobre la cobertura vegetal y los suelos presentes, contribuyendo al almacenamiento subterráneo y al sostenimiento del flujo base que alimenta el nacimiento.

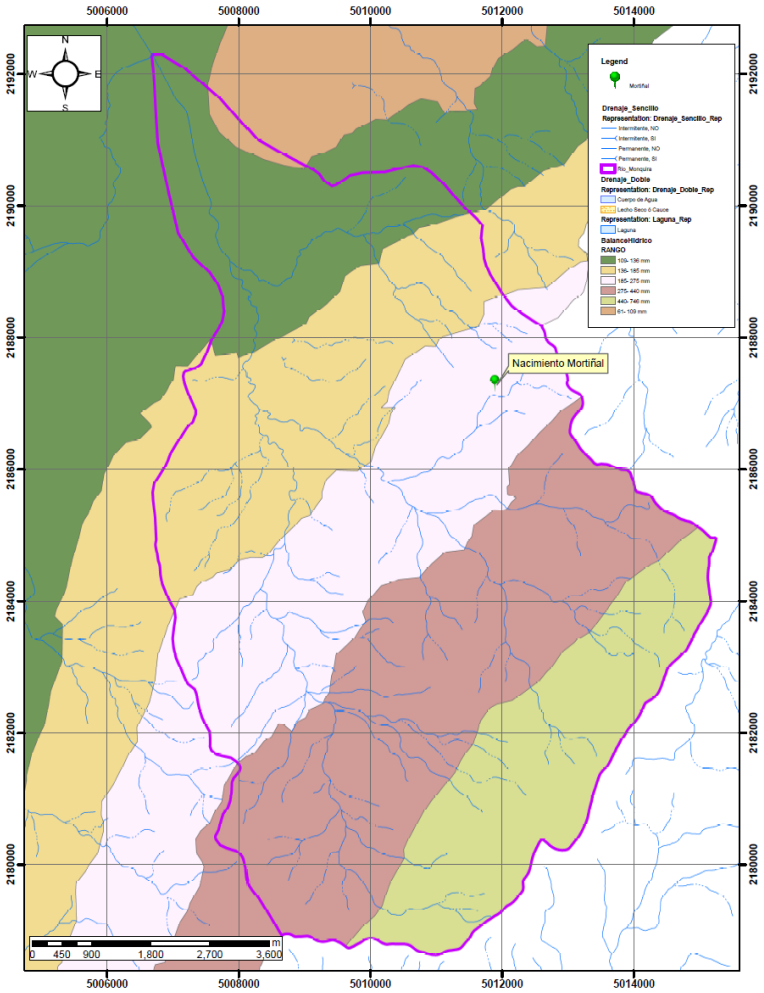
Figura 39 Mapa de Isoyetas anuales de la microcuenca de análisis



Finalmente, se logra establecer el balance hídrico de la microcuenca objeto de análisis, a partir de la información climática e hidrológica referida en el POMCA del río Chicamocha – NSS y de los parámetros derivados para unidades de montaña con predominio de nacimientos regulados por acuitardos. Con base en dicho balance, se determina que la zona del nacimiento que abastecerá al acueducto veredal presenta una disponibilidad hídrica estimada entre 185 y 275 mm anuales, valor que corresponde al excedente hídrico o componente de agua potencialmente disponible para la recarga y sostenimiento del flujo base.

Este rango es coherente con microcuencas ubicadas en sectores altos del Chicamocha, donde la precipitación efectiva, la evapotranspiración real y las pérdidas por retención del suelo generan excedentes moderados pero suficientes para mantener corrientes subterráneas estables, especialmente en ambientes litológicos como el acuitardo KPgg, que libera el agua infiltrada de manera lenta y constante. Así, los valores obtenidos son consistentes con la estabilidad de caudales observada en el nacimiento (~10 L/s), lo que evidencia una relación equilibrada entre recarga–almacenamiento–descarga y respalda técnicamente la sostenibilidad del aporte hídrico que alimentará al acueducto veredal Mortiñal.

Figura 40 Balance hídrico de la microcuenca



Fuente: Autor, adaptado de Consorcio POMCA

- METODOLOGÍAS DE AFORO DIRECTO EN NACIMIENTOS

Para la determinación del caudal disponible en nacimientos, es necesario aplicar técnicas de medición directa que permitan cuantificar de manera confiable el volumen de agua emergente. La selección del método depende de las características físicas del punto de descarga, el tipo de surgencia y la accesibilidad al cuerpo de agua. Entre las metodologías comúnmente empleadas se destacan:

1. Método volumétrico (llenado de recipiente)

Consiste en medir el tiempo requerido para llenar un recipiente de volumen conocido.

Es aplicable cuando el nacimiento tiene una surgencia concentrada o es posible canalizar temporalmente el flujo hacia un recipiente.

Ventajas: sencillo, económico, alta precisión en pequeños caudales.

Limitaciones: solo útil para caudales bajos y surgencias puntuales.

2. Método de canalización y medición en vertedero portátil

El caudal del nacimiento se canaliza mediante zanjas o tubos hasta un vertedero (rectangular, triangular o tipo Thomson) calibrado, donde se registra el tirante de agua.

Ventajas: adecuado para nacimientos con mayor caudal y descargas difusas que pueden ser conducidas.

Limitaciones: requiere obra temporal y presencia de caudal suficiente para generar lámina estable.

3. Aforo con dispositivo de tubería (método volumétrico-tubería)
Consiste en conducir el flujo mediante un tubo PVC u otro conducto rígido y medir la descarga ya sea con método volumétrico o con fórmulas hidráulicas para flujo en tubería.

Ventajas: adaptable, mayor control de flujo, precisión media-alta.

Limitaciones: requiere instalación temporal y nivelación de tubería.

4. Método del flotador (no recomendado para nacimientos)

Requiere identificar un tramo definido con velocidad y sección transversal.

Limitaciones: Generalmente no aplica a nacimientos por la ausencia de un cauce consolidado inmediatamente aguas abajo.

MÉTODO RECOMENDADO PARA LA FUENTE EVALUADA

Dado que la fuente seleccionada corresponde a un nacimiento de pequeña magnitud, con flujo emergente concentrado y fácilmente canalizable, el método que mejor se ajusta es el método volumétrico, el cual permite obtener mediciones confiables para caudales bajos (menores a 10 L/s).

En caso de que la surgencia sea ligeramente dispersa, es posible complementar mediante una canalización temporal hacia tubería PVC y aplicar el aforo volumétrico a la descarga controlada.

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Teniendo en cuenta que como insumo de referencia se emplean los registros hidrológicos presentados en la fase de diagnóstico del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Chicamocha – NSS [2403-1], aprobado mediante Resolución CORPOBOYACÁ No. 2012 del 30 de mayo de 2018, se procede a realizar la identificación puntual de las condiciones hidrológicas que pueden influir en la disponibilidad del recurso hídrico destinado al abastecimiento del acueducto veredal Mortiñal.

En concordancia con lo anterior, se describe el proceso de medición de caudal realizado en el marco de los estudios de factibilidad y diseño del acueducto. Dichas mediciones permitieron establecer que la fuente de abastecimiento seleccionada cuenta con una oferta hídrica suficiente para suplir la necesidad de captación requerida para la operación del acueducto, estimada en 0.8 L/s.

Es importante señalar que, si bien la fuente presenta variaciones estacionales de caudal a lo largo del año hidrológico, la evaluación de la oferta se efectuó durante la época seca, en concordancia con el régimen de precipitación bimodal reportado para la cuenca en el POMCA vigente. Esta aproximación metodológica permite verificar la disponibilidad mínima esperada del recurso y, por tanto, evaluar la sostenibilidad del suministro bajo condiciones hidrológicas críticas.

EVALUACIÓN DE LOS CAUDALES MEDIDOS EN ÉPOCA SECA

Como parte del estudio de factibilidad y diseño del acueducto veredal Mortiñal, se efectuaron aforos directos en el nacimiento seleccionado como punto de captación. Las mediciones se realizaron durante la época seca, identificada en el POMCA como el período de menor precipitación dentro del régimen bimodal característico de la cuenca alta del río Chicamocha.

El registro obtenido permite observar que, aun bajo condiciones de mínima recarga, el nacimiento mantiene caudales estables y superiores al requerimiento de captación, lo cual indica un comportamiento de drenaje subterráneo relativamente constante y propio de nacimientos asociados a zonas de alta infiltración y recarga local.

En la Tabla siguiente, se presentan los valores de caudal obtenidos durante la campaña de medición, incluyendo la fecha del aforo, el método empleado y el caudal instantáneo registrado. Estos valores evidencian que la oferta mínima en época seca supera el caudal requerido de 0.8 L/s para la operación del acueducto.

RESULTADOS DE AFOROS DIRECTOS (MÉTODO VOLUMÉTRICO)

Método empleado: volumétrico (llenado de recipiente).

Descripción breve: el flujo emergente del nacimiento fue conducido a un recipiente de volumen conocido y se cronometró el tiempo de llenado; cada medición se repitió tres veces por fecha para reducir incertidumbre por variaciones instantáneas y error de medición.

Cálculo de caudal individual:

$$Q = \frac{Volumen\ (L)}{Tiempo\ (s)}$$

Dado que los nacimientos presentan variaciones rápidas por pulsos de recarga, interferencias puntuales o turbulencia en el punto de medición, se realizaron tres repeticiones por fecha, calculando posteriormente un caudal promedio diario para reducir la incertidumbre asociada al procedimiento.

Comparación oferta (medida) vs demanda (diseño)

Demanda del acueducto Mortiñal: 0.8 L/s (constante todo el año), equivalente a:

- 0.8 L/s = 69.12 m³/día (0.8 × 86.4 m³/día) = 69120 L/día.
- Volumen anual demanda ≈ 25 228,8 m³/año.

Oferta medida (promedio global): 4.0 L/s, equivalente a:

- 4.0 L/s = 345.0 m³/día = 345000 L/día.
- Volumen anual oferta ≈ 126 144 m³/año.

Relación Oferta / Demanda

$$\frac{4.0\ L/s}{0.80\ L/s} = 5$$

La oferta promedio medida es 5 veces la demanda de diseño.

Margen operativo:

La fuente presenta una capacidad considerablemente mayor que la requerida por el acueducto; aun en reducción significativa del caudal (por ejemplo, una disminución hipotética del 50 %) la oferta seguiría siendo suficiente (4 L/s × 0.5 = 2 L/s → aún > 0.8 L/s).

Tabla 42 Registros de aforo — nacimiento (acueducto Mortiñal)

Fecha	Coordenadas CTM12)	Volumen recipiente (L)	Caudales individuales (L/s)	Caudal promedio día (L/s)	Condiciones
29/01/2025	E: 5011921.17 N: 2187282.63	10	3.95 – 4.20 – 3.99	**4.046**	Época seca — despejado
30/01/2025	E: 5011921.17 N: 2187282.63	10	4.05 – 4.11 – 3.92	**4.026**	Época seca — despejado
17/06/2025	E: 5011921.17 N: 2187282.63	10	3.98 – 4.1 – 3.90	**3.99**	Contra medición — intermedia
18/06/2025	E: 5011921.17 N: 2187282.63	10	4.01 – 4.2 – 4.13	**4.11**	Contra medición — intermedia
19/06/2025	E: 5011921.17 N: 2187282.63	10	3.9 – 4.0 – 3.92	**3.94**	Contra medición — intermedia

COMPARACIÓN ENTRE LA OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE Y LA DEMANDA DEL ACUEDUCTO

Para la verificación de suficiencia, el caudal medido en época seca se contrastó con la demanda operativa del acueducto, establecida en 0.8 L/s según las especificaciones de diseño.

El análisis comparativo muestra que:

- El caudal disponible en el nacimiento, incluso en condiciones hidrológicas críticas, se encuentra por encima del caudal de captación previsto.
- La relación oferta/demanda presenta un margen de seguridad adecuado, lo cual reduce la probabilidad de desabastecimiento durante los períodos de menor precipitación.
- La estabilidad del caudal observado en época seca sugiere que el nacimiento está alimentado por un sistema de recarga local o subterránea continua, lo que aporta resiliencia frente a la variabilidad climática intra-anual.

Este resultado permite concluir que la fuente cumple los criterios mínimos de disponibilidad exigidos para garantizar la continuidad y confiabilidad del suministro al acueducto Mortiñal.

ANÁLISIS DE VARIABILIDAD ESTACIONAL Y RIESGO DE DESABASTECIMIENTO

De acuerdo con la información hidrológica de referencia del POMCA, la cuenca alta del río Chicamocha presenta un régimen de lluvias bimodal, con dos períodos húmedos y dos períodos secos durante el año. Esta estacionalidad puede generar fluctuaciones en la recarga local que

alimenta el nacimiento, sin embargo, la medición directa en temporada seca constituye un escenario conservador que permite evaluar la oferta mínima esperada.
Con base en lo anterior, se identifican las siguientes consideraciones:

- La variación natural del caudal del nacimiento se encuentra dentro de un rango compatible con la operación del acueducto, manteniéndose por encima del umbral mínimo requerido.
- La captación proyectada es sostenible bajo las condiciones actuales, siempre que se mantengan las características de cobertura vegetal y conservación en la zona de recarga del nacimiento.
- No se identifica un riesgo inminente de desabastecimiento, salvo que se presenten alteraciones significativas en el uso del suelo, deforestación o intervenciones que afecten el área de recarga.

RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN Y PROTECCIÓN DE LA FUENTE

Con el fin de garantizar la continuidad y sostenibilidad del recurso hídrico que abastece al acueducto veredal Mortiñal, se formulan las siguientes recomendaciones:

1. **Protección del área de recarga y del nacimiento:**
   - Implementar y mantener un cercado perimetral en la zona inmediata del nacimiento, conforme a los lineamientos de protección de rondas hídricas establecidos por el Ministerio de Ambiente.
   - Evitar la intervención del suelo, el pastoreo, la tala o actividades agrícolas en el entorno inmediato del afloramiento.

2. **Restauración ecológica en zonas vulnerables:**

Identificar áreas con pérdida de cobertura vegetal en la parte alta de la microcuenca del río Moniquirá e implementar acciones de restauración y revegetalización con especies nativas para fortalecer los procesos de infiltración y recarga.

3. **Monitoreo hidrológico periódico:**
   - Realizar mediciones de caudal trimestrales que permitan establecer una serie de datos representativa y detectar variaciones anómalas.
   - Complementar los registros con datos de precipitación obtenidos de estaciones cercanas o de la red del IDEAM.

4. **Control de actividades antrópicas:**

Coordinar con la comunidad acciones de control y vigilancia frente a la ampliación de áreas agrícolas, apertura de vías o actividades que puedan alterar el drenaje natural o incrementar la erosión en la zona de recarga.

5. **Actualización de información técnica:**

Mantener actualizados los estudios de oferta–demanda, especialmente ante cambios en la población abastecida, modificaciones en la infraestructura del acueducto, o eventos climáticos extremos.