



Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Propuesta para el diseño de una red hidrometeorológica para el área urbana del municipio de Ibagué

Autor:

Pedro Antonio Chacón Moreno
Email: pchaconm@unal.edu.co

Manizales, Colombia
Mayo de 2022

Propuesta para el diseño de una red hidrometeorológica para el área urbana del municipio de Ibagué

Pedro Antonio Chacón Moreno

Trabajo presentado como requisito para optar al título de:
Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos

Directora:

Jeannette Zambrano Nájera
PhD. Profesora Asociada UNAL

Codirector:

Nelson Obregón Neira
PhD. Profesor Titular
Universidad Javeriana

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Manizales, Colombia
2022

RESUMEN

Propuesta para el diseño de una red hidrometeorológica para el área urbana del municipio de Ibagué

La falta de sistemas de medición hidrometeorológica en algunas ciudades de la región andina de Colombia ha generado que se presente un desconocimiento total del potencial hídrico que existe en estas regiones. En las regiones andinas el sistema montañoso se caracteriza por una topografía cambiante y una amplia biodiversidad de ecosistemas. La falta de equipos de monitoreo que permitan cuantificar y valorar el recurso hídrico de una región ha generado que Colombia desconozca el comportamiento exacto del clima en sus regiones y que se puedan mitigar o prevenir los desastres relacionados con los eventos extremos asociados a las épocas de alta pluviosidad e intensas sequías. Lo anterior tiene especial significancia en las zonas urbanas cuando se relaciona con la planificación del territorio y por ende el desarrollo humano, a lo que la ciudad de Ibagué en el departamento del Tolima no es la excepción. En la actualidad su zona urbana cuenta con solo tres estaciones de medición climatológica de las cuales dos se encuentran al interior del perímetro urbano de la ciudad y una fuera de ella. en donde la única variable medida es la lluvia. La baja cantidad de equipos al interior de la ciudad no permite que las autoridades locales y ambientales cuenten con información precisa que permita desarrollar políticas tendientes a la administración de los recursos hídricos, como tampoco el registro y análisis de los eventos máximos que ocurran en la zona urbana del municipio. Con el presente trabajo se propone la implementación de un sistema de monitoreo hidrometeorológico tendiente a aportar información base en la construcción de conocimiento climático de la ciudad; a su vez, se busca contribuir de manera directa en la generación de información tendiente a adaptar la ciudad a los peligros climáticos que se vienen presentando actualmente.

Palabras Claves: Red hidrometeorológica, estaciones de meteorología, estaciones de hidrometría, cruce de mapas temáticos.

ABSTRACT***Proposal for the design of a hydrometeorological network for the urban area of the municipality of Ibagué***

The lack of hydrometeorological measurement systems in some cities of the Andean region of Colombia, where its mountainous system is characterized by a changing topography and a wide biodiversity of ecosystems, has generated a total ignorance of the water potential that exists in these regions, the lack of direct policies that seek to anticipate the generation of natural disasters related to the extreme events associated with times of high rainfall and intense sequences and the lack of monitoring equipment that quantify and value the water resources of a region has controlled that Colombia does not know the behavior of the climate in its regions, especially in urban areas, it is very important when it relates to the planning of the territory and for human development; the city of Ibagué in the department of Tolima, is no exception. At present, the urban area of the city of Ibagué has only three weather measurement stations where the only variable measured is rain, of which two are located inside the urban perimeter of the city and one outside it, The low amount of equipment inside it has helped local and environmental authorities without having accurate information to develop policies aimed at the administration of water resources, as well as the recording and analysis of the maximum events that occur in the urban area of the municipality. With the present work, it is sought to implement a hydrometeorological monitoring system tending to provide basic information in the construction of climate knowledge of the city, in turn, it seeks to contribute directly in the generation of information tending to adapt the city to climate hazards which is currently presented. Another of the main problems of this work is to provide a useful tool that allows the city of Ibagué to be resistant to the damage of climate change that directly threatens its inhabitants and the agricultural development of the region.

Keywords: Hydrometeorological network, meteorology stations, hydrometry stations, crossing of thematic maps.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1	Demanda de agua en el municipio de Ibagué	2
2.2	Oferta hídrica	5
2.3	Información climática actual.....	10
3	OBJETIVOS.....	14
3.1	Objetivo General.....	14
3.2	Objetivos Específicos.....	14
4	MARCO TEORICO	15
4.1	Generalidades.....	15
4.2	Normas de diseño en Colombia para el diseño de redes hidrometeorológicas	21
4.3	Métodos de diseño.....	22
4.4	Tipos de Redes Hidrometeorológicas	24
4.5	Diseño de la red hidrometeorológica	27
5	METODOLOGÍA	30
5.1	Definición de los parámetros y criterios de diseño de una red hidrometeorológica	
	32	
5.1.1	Factores físicos	32
5.1.2	Factores antrópicos	39
5.1.3	Factores históricos.....	48
5.2	Transposición de mapas.....	48
6	DISEÑO DE LA RED HIDROMETEROLÓGICA PARA LA CIUDAD DE IBAGUÉ.....	50
6.1	Revisión de las estaciones existentes	50
6.2	Factores físicos	56
6.2.1	Indicadores de Oferta hídrica.....	56
6.3	Factores antrópicos	63
6.3.1	Indicadores de oferta a partir de factores antrópicos	63
6.3.3	Indicadores de demanda hídrica del municipio de Ibagué	69

7	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	76
7.1	Consolidación del diseño de la red Hidrometeorológica para la ciudad de Ibagué.	76
7.2	Transposición de mapas temáticos	78
7.2.1	Red hidrométrica.....	80
7.2.2	Red meteorológica.....	83
7.2.3	Responsables de instalación y mantenimiento	86
7.2.4	Identificación de la red hidrometeorológica	87
7.2.5	Costos de instalación	88
8	CONCLUSIONES	90
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
10	ANEXOS	97

Lista de Figuras

Figura 2-1	Imagen de meseta de Ibagué.....	2
Figura 2-2	Mapa de cuencas hidrográficas que confluyen en el municipio de Ibagué	3
Figura 2-3	Proyección poblacional DANE.....	5
Figura 2-4	Mapa red de drenaje y perímetro urbano de la ciudad de Ibagué.....	6
Figura 2-5	Mapa de Índice de Uso de Agua IUA Cuenca Río Coello.....	8
Figura 2-6	Mapa de Índice de Uso de Agua IUA Cuenca Río Totare.	9
Figura 2-7	Mapa de ubicación de puntos de vertimiento de agua residual municipio de Ibagué.	10
Figura 2-8	Mapa de ubicación espacial de las estaciones IDEAM, Municipio de Ibagué.	11
Figura 2-9	Árbol de problemas.....	13
Figura 4-1	Configuración de un Sistema Monitoreo global GPRS o UHF.	17
Figura 4-2	Configuración de un Sistema de Monitoreo local para la Gestión del Riesgo.	18
Figura 4-3	Clasificación de redes de monitoreo.....	25
Figura 4-4	Redes hidrológicas, meteorológicas y oceanográficas relacionadas con la competencia institucional	26
Figura 4-5	Criterios OMM para el monitoreo en ríos.	28
Figura 5-1	Esquema metodológico propuesto para el diseño de la red hidrometeorológica para la ciudad de Ibagué.....	31
Figura 5-2	Esquema de instrumentación puntos de vertimientos.....	42
Figura 5-3	Esquema de instrumentación Puntos de captación de agua para actividades	

humanas no agua potable - Otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico etc...) 45

Figura 5-4 Esquema de instrumentación Puntos de captación para PCH 45

Figura 5-5 Esquema de instrumentación Puntos de captación para consumo humano47

Figura 6-1 Estación pluviométrica Interlaken (21210240), Jardín Botánico de Ibagué. 51

Figura 6-2 Estación climatológica Cruz Roja 21210230 B/ Villamarlen. 52

Figura 6-3 Estación climatológica Aeropuerto Perales 21210230 53

Figura 6-4 Variación de precipitación mensual interanual estaciones IDEAM..... 54

Figura 6-5 Variación de precipitación mensual anual estaciones IDEAM.55

Figura 6-6 Curva de doble masa estaciones IDEAM.....55

Figura 6-7 Ubicación de los puntos de monitoreo para la temática de drenajes 58

Figura 6-8 Infraestructura física y vial de la ciudad 59

Figura 6-9 Mapa de densidad mínima de estaciones de tipo meteorológico y climatológico.61

Figura 6-10 Ubicación de los puntos de monitoreo meteorológico para la temática diferencia altitudinal 62

Figura 6-11 Mapa de canales de riego en el área urbana de Ibagué 63

Figura 6-12 Sistemas de captación y conducción de aguas para uso agrícola – río Combeima..... 64

Figura 6-13 Sistemas de captación y conducción de aguas para uso agrícola – río Chipalo..... 64

Figura 6-14 Mapa temático de trasvases 66

Figura 6-15 Mapa de puntos de vertimientos o retornos de flujo 68

Figura 6-16 Demanda hídrica total para el municipio de Ibagué..... 69

Figura 6-17 Mapa de puntos de captación de agua para actividades humanas no agua potable - Otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc...).....73

Figura 6-18 Ubicación de los puntos de monitoreo para la temática Puntos de captación para consumo humano74

Figura 7-1 Transposición de puntos de monitoreo de hidrometría.....79

Figura 7-2 Transposición de puntos de monitoreo de meteorología 80

Figura 7-3 Mapa final de puntos de monitoreo red hidrométrica.....81

Figura 7-4 mapa final de puntos de monitoreo red de meteorología..... 85

Figura 7-5 mapa final de ubicación final y códigos ID puntos de monitoreo red de hidrometeorológica 89

Figura 7-6 mapa final de ubicación final y códigos ID puntos de monitoreo red de meteorología..... 89

Lista de Tablas

Tabla 2-1 Área y caudal Río Combeima.....	6
Tabla 2-2 Área y caudal Río Chipalo.	6
Tabla 2-3 Índice de Uso de Agua POMCA Río Coello	7
Tabla 2-4 Índice de Uso de Agua POMCA Río Totare.....	8
Tabla 4-1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km2 por estación).....	29
Tabla 6-1 Estaciones ubicadas en el municipio de Ibagué.	50
Tabla 6-2 Análisis estadístico descriptivo de precipitación media mensual.....	53
Tabla 6-3 Ordenes de flujo.	57
Tabla 6-4 Relación de puntos de monitoreo meteorológico, temática densidad mínima.	60
Tabla 6-5 Relación de puntos de monitoreo , temática diferencia altitudinal meteorológico.	62
Tabla 6-6 Relación de canales de abastecimiento de agua para uso agrícola.	65
Tabla 6-7 Relación de puntos de vertimientos por corriente hídrica.....	67
Tabla 6-8 Relación de caudales vertidos por corriente hídrica.....	67
Tabla 6-9 Relación de fuentes abastecedoras de acueductos comunitarios.	70
Tabla 6-10 Relación de fuentes abastecedoras para la empresa IBAL.....	71
Tabla 7-1 Número de puntos de monitoreo meteorológico e hidrométrico para el Indicador de Oferta	76
Tabla 7-2 Número de puntos de monitoreo hidrometeorológico por Indicador de Demanda	77
Tabla 7-3 Número de puntos final de monitoreo hidrométrico por Indicador de Oferta.	82
Tabla 7-4 Número de puntos de monitoreo hidrometeorológico por Indicador de Demanda.	82
Tabla 7-5 Número de puntos final de monitoreo meteorológico por Indicador de Oferta.	83
Tabla 7-6 Responsable de instalación, operación y mantenimiento de puntos de monitoreo hidrométrico por Indicador de Oferta.....	86
Tabla 7-7 Responsable de instalación, operación y mantenimiento de puntos de monitoreo hidrométrico por Indicador de Demanda.	87
Tabla 7-8 Responsable de instalación, operación y mantenimiento de puntos de monitoreo meteorológico por Indicador de Oferta.	87

Lista de Anexos

Anexo 10-1 Estaciones de monitoreo hidrométrico temática Red de Drenaje.....	97
Anexo 10-2 Estaciones de monitoreo hidrométrico temática Infraestructura Vial	97
Anexo 10-3 Estaciones de monitoreo hidrométrico temática Transvases	98
Anexo 10-4 Estaciones de monitoreo hidrométrico temática Vertimientos o Retorno	99
Anexo 10-5 Estaciones de monitoreo hidrométrico Otros Sectores.....	99
Anexo 10-6 Estaciones de monitoreo hidrométrico Acueductos Comunitarios	100
Anexo 10-7 Estaciones de monitoreo meteorológica temática Densidad Mínima.....	102
Anexo 10-8 Estaciones de monitoreo meteorológica temática Diferencia Altitudinal	102
Anexo 10-9 Costos de instalación estación meteorológica tipo.....	103
Anexo 10-10 Costos de instalación estación hidrométrica tipo	104

1 INTRODUCCIÓN

La adecuada gestión de los recursos hídricos depende sustancialmente del conocimiento sobre el comportamiento hidrológico y climatológico de las cuencas hidrográficas. El desarrollo de una región en términos de planificación urbana, agrícola y social está supeditado a la calidad, la oferta y la demanda del agua en cuanto a la calidad de vida de los que habitan en ella. Para lograr una adecuada gestión de los recursos hídricos se requieren datos que permitan contar con información continua y de calidad, para lo cual se utilizan redes de monitoreo hidrometeorológico. Una red hidrometeorológica es un sistema organizado para la recolección de información específica de datos atmosféricos, climatológicos e hidrológicos, tal como la precipitación, la escorrentía superficial, la temperatura, la sedimentación y otros parámetros que aportan al conocimiento climático, meteorológico e hidrológico de una región.

Las redes hidrometeorológicas se constituyen por tanto en un instrumento de planificación estratégica y de conocimiento permanente basado en el monitoreo y seguimiento para el desarrollo urbano en términos de ocupación del territorio y del uso y distribución de los recursos hídricos, como también aporta información valiosa para el entendimiento de los fenómenos atmosféricos extremos (lluvia, calor, inundaciones extremas, entre otros fenómenos). La falta de monitoreo de las variables hidroclimáticas en ciudades en desarrollo urbano como es el caso de la ciudad de Ibagué, ha generado que las autoridades municipales, así como las ambientales, no posean datos suficientes para evaluar los eventos naturales de orden climatológico que se presentan en la ciudad, al igual que no se tiene claridad de la disponibilidad de agua en las cuencas de la ciudad.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Demanda de agua en el municipio de Ibagué

El sector oriental de la ciudad de Ibagué se ubica sobre el nacimiento de la cuenca del Rio Opía, en el conocido abanico de Ibagué, este nombre se define por la conformación geológica de la zona en donde priman los depósitos fluvio volcánicos producto de las erupciones generadas por el Volcán Nevado del Tolima, los cuales rellenaron una paleotopografía deprimida a través de "pulsos" sucesivos con una gran variabilidad en su estratificación y textura a lo largo de los municipios de Ibagué, Alvarado y Piedras (CONSORCIO ALVARADO 2015, 2016)

Esta área presenta un alto desarrollo agrícola, el establecimiento permanente de grandes extensiones de cultivos en donde el principal producto es el arroz (ver figura 2-1), y por lo tanto se genera una constante demanda de agua, lo que ha hecho que los agricultores tengan que hacer uso de aguas residuales y del transvase desde otras cuencas para atender esta necesidad diaria; la meseta de Ibagué, como también es conocida esta zona, siembra anualmente 10.232 Hectáreas, en las cuales se producen semestralmente 74.718 toneladas de arroz (FEDEARROZ, 2017).



**Figura 2-1 Imagen de meseta de Ibagué.
(Elaborado a partir de la imagen Google Earth 2019)**

Lo anterior muestra a esta zona como un muy buen atractivo económico para el desarrollo del agro en la región centro de Colombia, debido a la estratégica ubicación que presenta el área de producción agrícola, la muy buena productividad de sus tierras y en especial a la posible oferta hídrica que disponen las mismas por ubicarse en la confluencia de las cuencas de los ríos Totare, Coello y Opia (ver figura 2-2).

El requerimiento de agua permanente para el desarrollo de las actividades agrícolas ha generado preocupación al ente ambiental que administra el recurso hídrico en la región, esto en razón a que la zona de irrigación permanente consume una gran cantidad de agua; se estima por parte de la Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA, que el 95 % del agua utilizada para esta actividad es extraída de las cuencas de los ríos Combeima y Chípalo, el primero perteneciente a la cuenca del río Coello y el segundo a la cuenca del río Totare. Es de resaltar que sobre la zona de estudio se ubica el 80% del área total de siembra de la meseta de Ibagué.

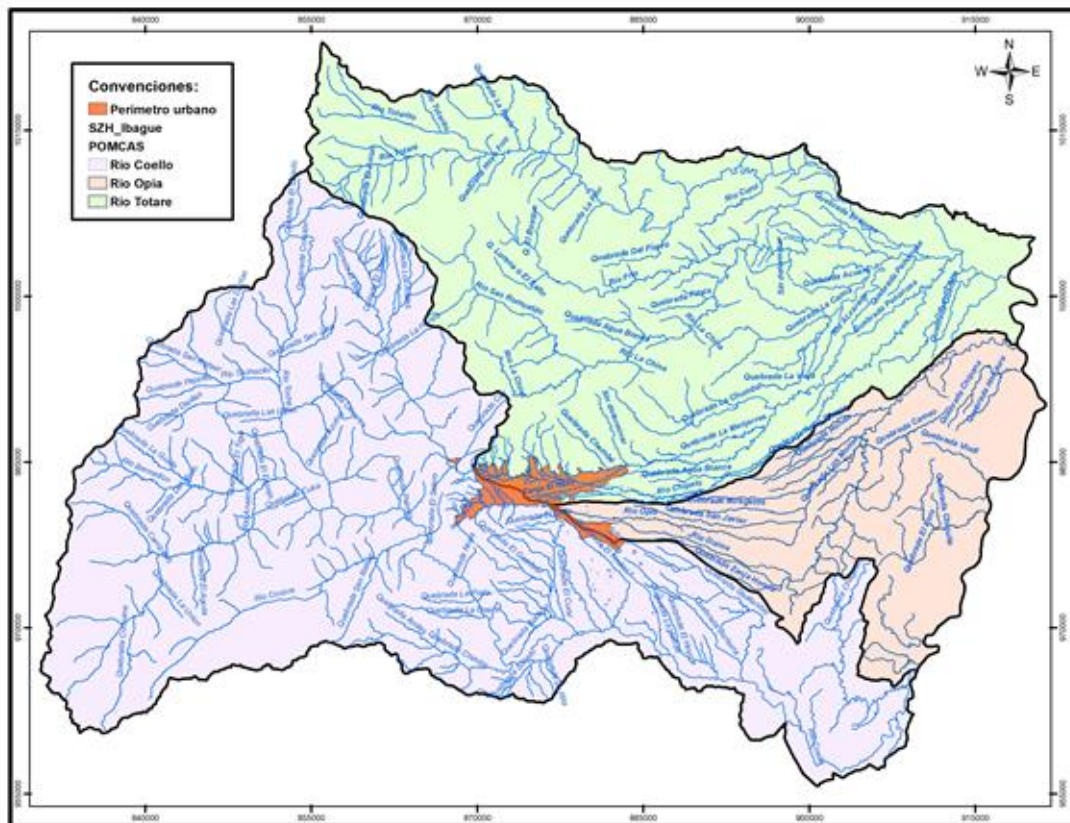


Figura 2-2 Mapa de cuencas hidrográficas que confluyen en el municipio de Ibagué
Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA

Por otra parte, el área urbana del municipio de Ibagué actualmente cuenta con una demanda hídrica para uso doméstico superior a los 3.000 l/s, de los cuales el 70 % es captado de la cuenca del río Combeima por la empresa Ibaguereña de Acueducto y alcantarillado IBAL E.S.P, y el 30 % restante de los afluentes ubicados en la periferia de la ciudad, esto con el propósito de abastecer los usuarios adscritos a las juntas administradoras de acueductos de los barrios que no son atendidos por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado IBAL E.S.P.

Otro sector que demanda gran cantidad de agua al interior de la ciudad es el sector hidroenergético a través de la empresa HIDROTOLIMA S.A E.S.P; esta empresa cuenta con una Pequeña Central Hidroenergética PCH con capacidad instalada para generar 3.6 megavatios. Aunque el uso del agua no es consuntivo y el sistema de captación, conducción y generación permite retornar el agua captada al río Combeima, es claro que en algunos meses el sistema de generación se ve afectado por la falta de agua; no se conoce con claridad la disminución del caudal ambiental una vez se capta el agua para generación de energía.

Por otro lado, y según datos de proyección emitidos por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE en el boletín Censo General año 2005 (DANE, 2005), la ciudad de Ibagué para el año 2010 tenía una población total de 496.575 habitantes. Para el mes de enero del año 2020 esta institución emitió la proyección de población para los años 2018 al 2020, en la cual se observa que el perímetro urbano de la ciudad para el año 2020, debería tener una población de 501.991 habitantes, 5.416 habitantes más que los proyectados para el año 2010 (VER FIGURA TAL), este aumento poblacional se atribuye al crecimiento del municipio, principalmente en la periferia de la ciudad con Proyectos de Vivienda de Interés Social VIS, programa implementado por el Gobierno nacional para atender las necesidades de vivienda de los más necesitados. El crecimiento para el año 2020 representó un incremento del 1,09% con respecto al año 2010.

Adicionalmente a lo anterior, el crecimiento del municipio se presenta de manera dispar, ya que entre 1951 y 2005, la población rural en el municipio de Ibagué disminuyó mientras que la proporción de la población urbana aumentó. El porcentaje de población rural pasó de 44,93% en 1951 a solo 5,97% en el año

2005, mientras la población urbana pasó de 55,07% al 94,03%, para el mismo año. Lo anterior, producto de la migración de campesinos a la ciudad por factores socioeconómicos; este fenómeno ha hecho que las ciudades cada día sean más densas y los campos cada vez menos poblados. Sumado a lo antes mencionado, es importante anotar que el crecimiento poblacional de la ciudad también está ligado a la cercanía que tiene la ciudad con el centro del país, lo que la hace atractiva para inversionistas privados que quieren construir en la ciudad de Ibagué (Alcaldía Municipal de Ibagué, 2014).

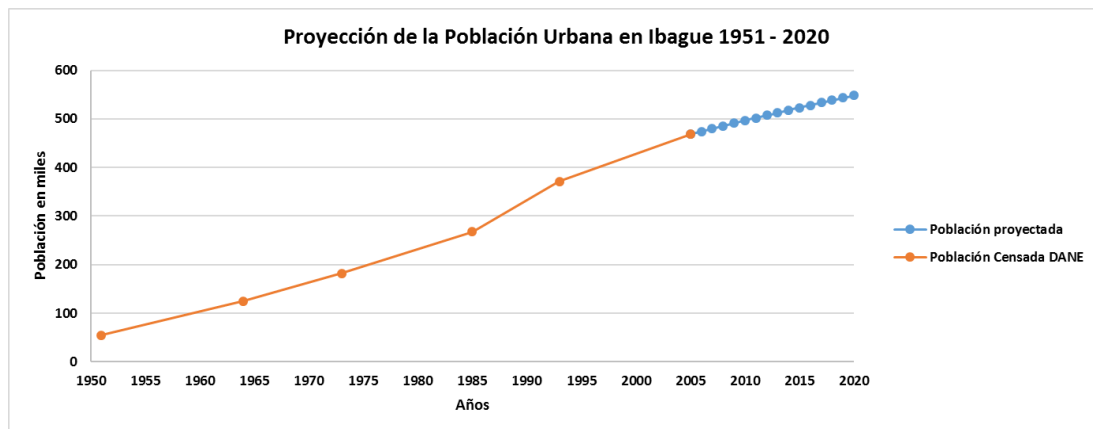


Figura 2-3 Proyección poblacional DANE
 Fuente: Elaboración propia elaborada a partir de datos (DANE, 2005)

2.2 Oferta hídrica

Hídricamente el casco urbano del municipio de Ibagué se ubica sobre la confluencia de las cuencas de los ríos Coello, Totare, y Opía, este último con nacimiento directo en la zona urbana del municipio (ver figura 2-4). Los ríos Combeima, Chipalo, Alvarado y Opía, como sus afluentes no cuentan con equipos de medición hidrométrica, con los cuales se pueda conocer la oferta hídrica disponible de estos cuerpos de agua en diferentes épocas del año.

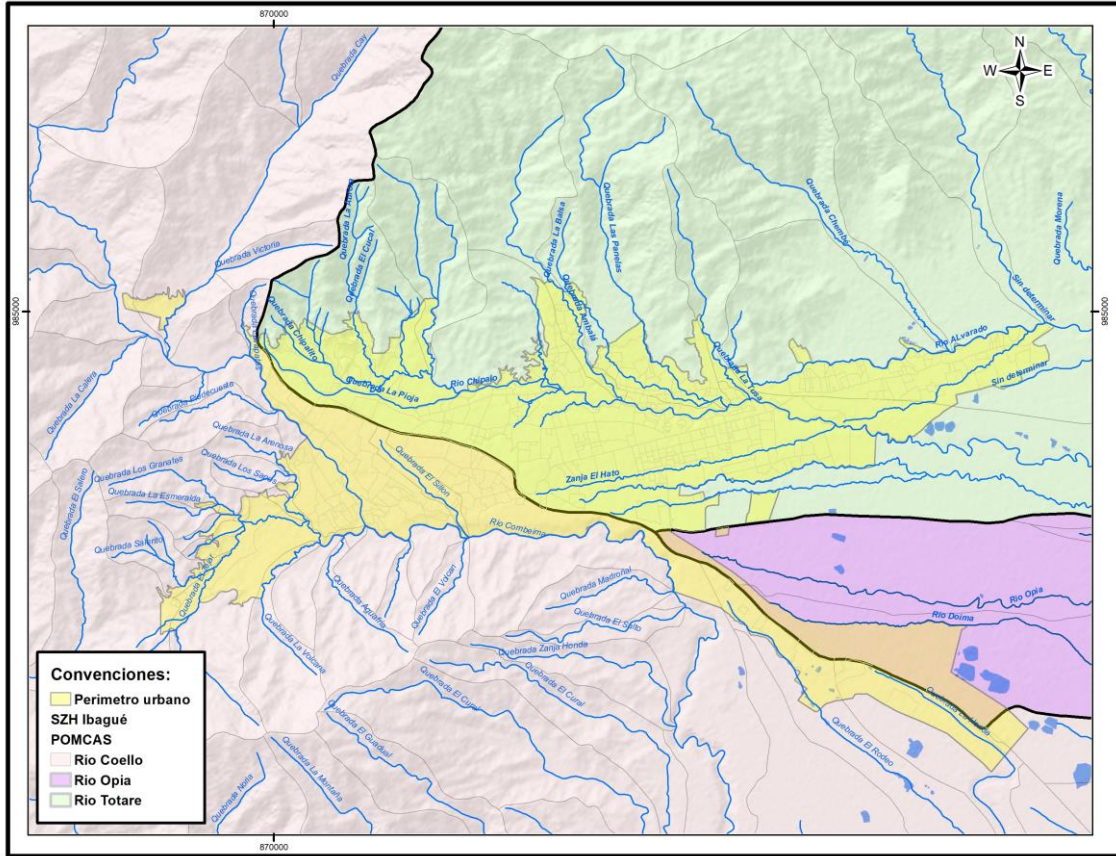


Figura 2-4 Mapa red de drenaje y perímetro urbano de la ciudad de Ibagué.
Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA

Según los documentos de caracterización hidrológica para los POMCAS, de las Subzonas hidrográficas río Totare y río Coello, construidos por la Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA – Grupo de Recurso Hídrico POMCAS, en el año 2019, las corrientes antes mencionadas presentan una oferta media anual de 4,312 m³/s y 9.021 m³/s respectivamente (ver tablas 2-1 y 2-2), esto para atender los requerimientos en lo relacionado con el consumo humano y demás usos que tiene la región (Corporación Atonoma Regional del Tolima CORTOLIMA, 2019b), (Corporación Atonoma Regional del Tolima CORTOLIMA, 2019a).

Tabla 2-1 Área y caudal Río Combeima.

UNIDAD HIDROGRÁFICA	ÁREA (ha)	CAUDAL MEDIO (m ³ /s)
Río Combeima	27.297	9,021

Fuente: (Corporación Atonoma Regional del Tolima CORTOLIMA, 2019a).

Tabla 2-2 Área y caudal Río Chipalo.

UNIDADES HIDROLÓGICAS	ÁREA	CAUDAL MEDIO
	km ²	(m ³ /s)
Río Chipalo	157,90	4,312

Fuente: (Corporación Atonoma Regional del Tolima CORTOLIMA, 2019b).

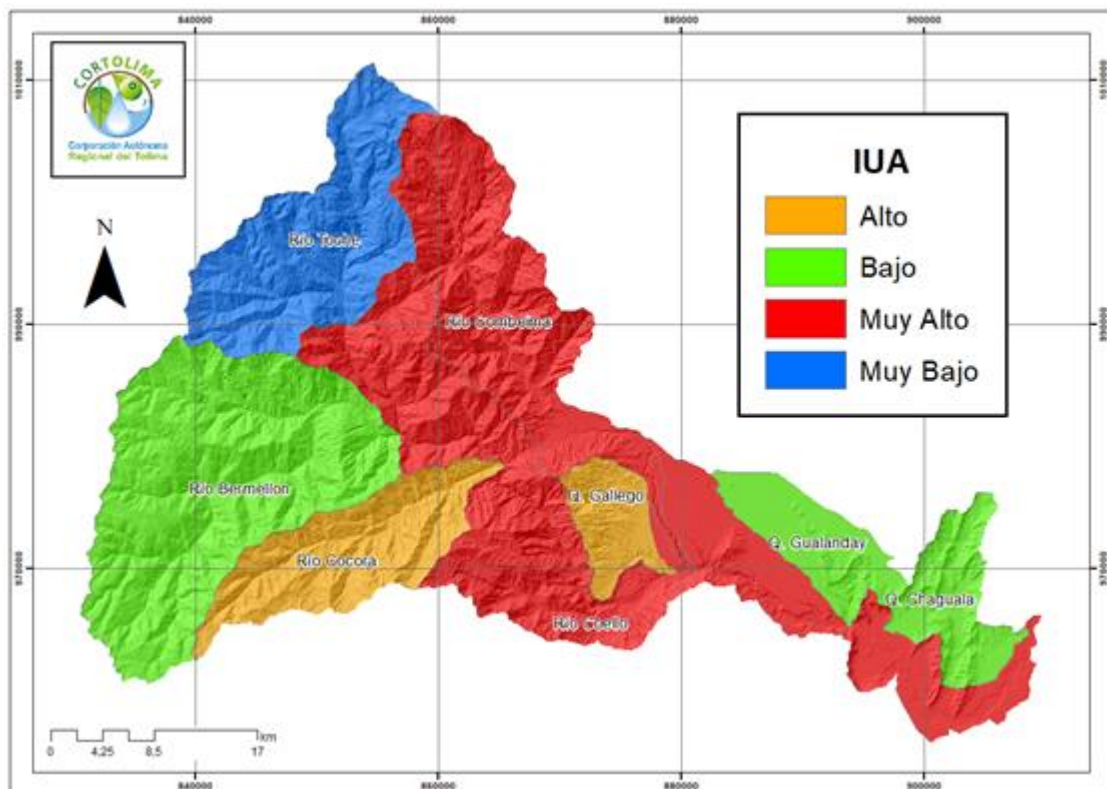
En lo referente al Índice de Uso de Agua IUA para las cuencas de los ríos Coello y Totare, se resalta la categoría que estas obtienen a partir de la presión hídrica; la gran cantidad de concesiones de agua reportadas por la autoridad Ambiental del Tolima en los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas POMCA, hacen que se presenten valores que van de “ Crítico a muy alto”, (ver tablas 2-3 y 2-4), esto en gran parte se debe al aumento acelerado en la población que ocupa las áreas urbanas de los municipio que se ubican a lo largo de estas dos cuencas, como también a las grandes áreas de siembra, al cambio en el régimen de la lluvia y al aumento de la temperatura que ha generado el deshielo del nevado del Tolima, lo cual se ve representando en la reducción del área glacial desde el año 1850 (Tolima, 2019).

Los ríos Chipalo y Combeima, principales contribuyentes de agua para los diferentes usuarios ubicados en la zona urbana y perimetral de la capital tolimense, presentan un IUA crítico y muy alto, respectivamente, estos valores permiten visualizar la alta presión que existe en la ciudad de Ibagué por el agua, especialmente el sector agrícola, en donde diariamente se requieren más de 7,0 m³/s, para la irrigación de las áreas de cultivo asentadas en la parte baja del municipio.

Tabla 2-3 Índice de Uso de Agua POMCA Río Coello

UNIDAD HIDROGRÁFICA	IUA CONDICIONES NORMALES		IUA CONDICIONES SECAS	
	Valor	Categoría	Valor	Categoría
Río Combeima	174,72	Muy Alto	285,83	Muy alto
Tramo Río Coello	75,61	Muy Alto	135,37	Muy alto
Río Cócora	23,52	Alto	33,33	Alto
Quebrada Gallego	24,91	Alto	43,51	Alto
Río Bermellón	5,51	Bajo	7,29	Bajo
Quebrada Gualanday	2,08	Bajo	5,25	Bajo
Quebrada Chaguala	2,00	Bajo	4,28	Bajo
Río Toche	0,06	Muy Bajo	0,08	Muy Bajo

Fuente: (Corporación Atonoma Regional del Tolima CORTOLIMA, 2019a) – escala 1:25000



Fuente:(Corporación Atonoma Regional del Tolima CORTOLIMA, 2019a) – escala 1:25000

Tabla 2-4 Índice de Uso de Agua POMCA Río Totare

UNIDAD ANALISIS	IUA	CATEGORIA
Río Alvarado	72,96	Muy Alto
Río La China	210,30	Crítico
Sector Gibraltar	0	Muy Bajo
Quebrada Toqui Toqui	0	Muy Bajo
Quebrada Guarapo	66,46	Muy Alto
Quebrada La Arenosa	22,66	Alto
Río Chipalo	109,78	Crítico
Tramo Río Totare	273,43	Crítico
Sector La Ovejera	0	Muy Bajo
Río Frio	0,075	Muy Bajo
Río San Rumaldo	0	Muy Bajo
Río Totarito	0	Muy Bajo

Fuente:(Corporación Atonoma Regional del Tolima CORTOLIMA, 2019b) – escala 1:25000

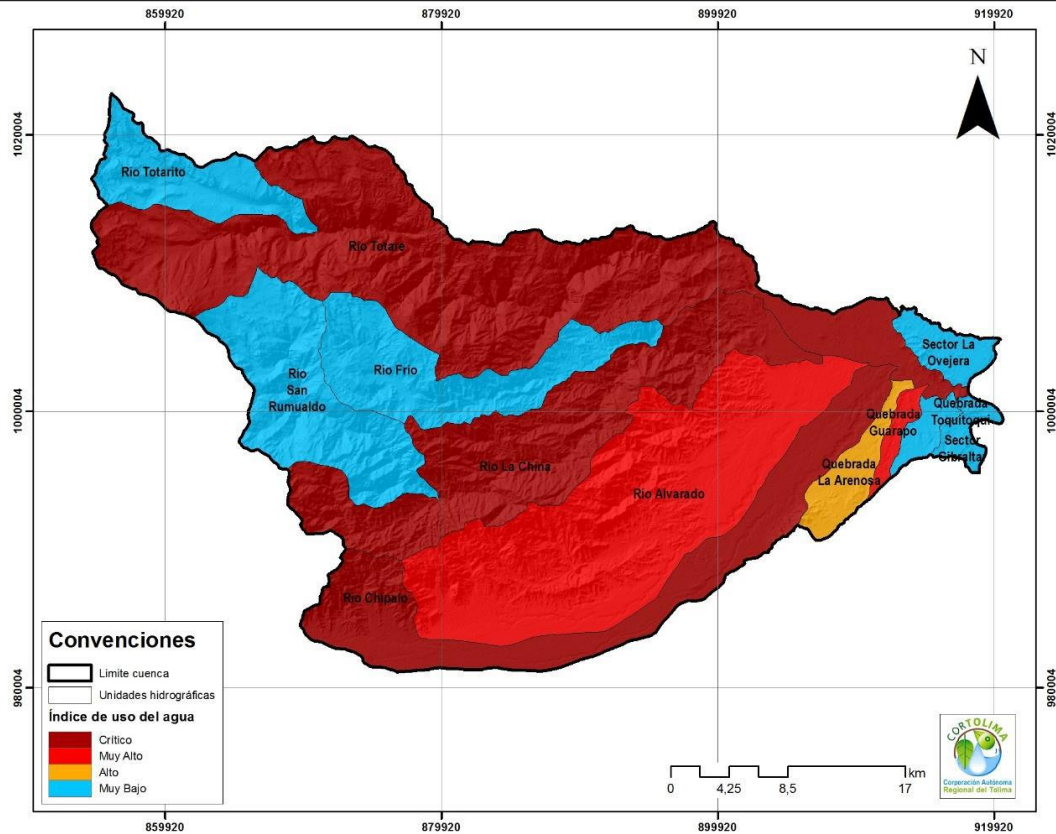


Figura 2-6 Mapa de Índice de Uso de Agua IUA Cuenca Río Totare.

Fuente: (Corporación Atonoma Regional del Tolima CORTOLIMA, 2019b) – escala 1:25000.

Además de lo anterior, uno de los aportes permanentes de agua para la irrigación de cultivos en la parte baja del municipio son las descargas directas de agua residual al sistema de drenaje urbano, todas estas provenientes de los colectores principales que las captan y transportan al interior de la ciudad. Actualmente, el municipio de Ibagué cuenta con 181 puntos de vertimiento directo sobre las cuencas de los Ríos Chipalo, Combeima, Alvarado y Opía como se observa en la figura 2-7. Estas mezclas de agua residual y “agua limpia” han ayudado a atender la gran demanda hídrica de la ciudad y de otros municipios aledaños en la parte baja de la ciudad de Ibagué, sin que se cuente con equipos de medición que permitan cuantificar la cantidad de agua vertida, hacer seguimiento a estos en términos de calidad y lo más importante establecer metas de descontaminación hídrica (Corporación Atonoma Regional del Tolima CoRTOLIMA, 2019).

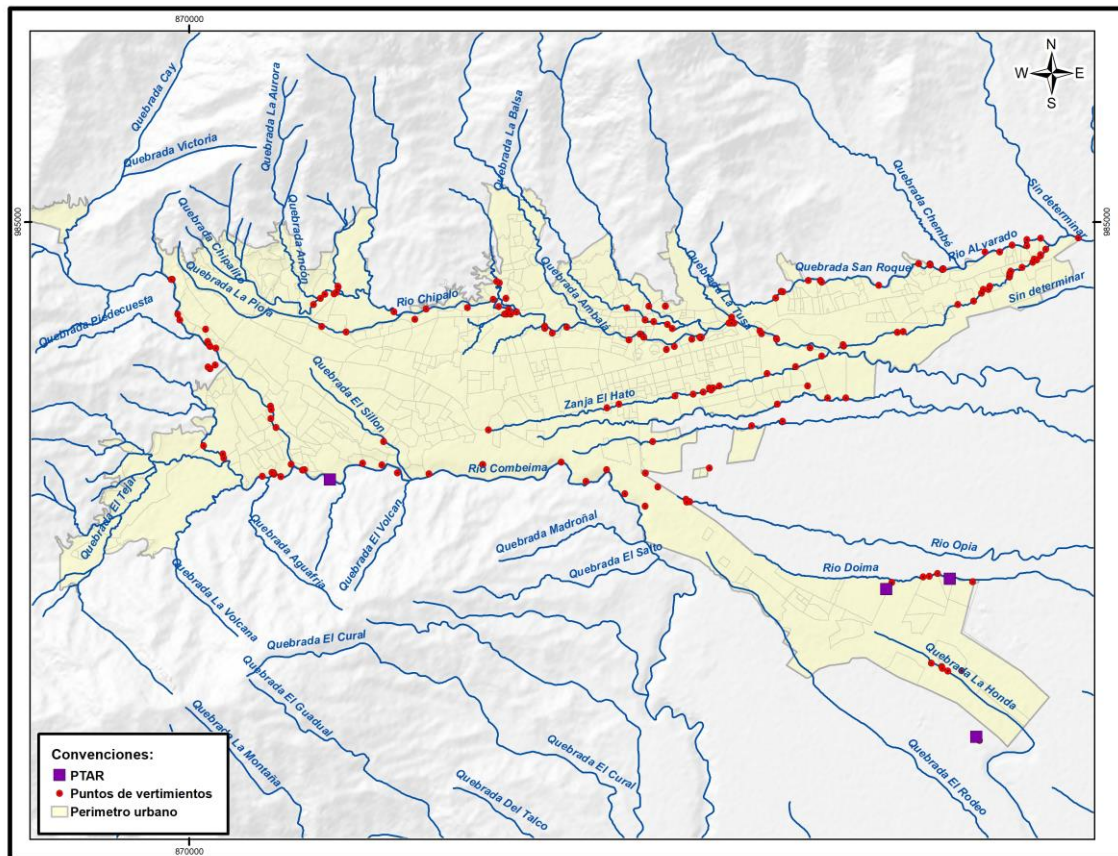


Figura 2-7 Mapa de ubicación de puntos de vertimiento de agua residual municipio de Ibagué.

Fuente: (CORTOLIMA, 2019)

Los diferentes usos que se le da al agua que discurre al interior de la ciudad (agrícola, industrial, doméstico e hidroenergético) han generado que en épocas de sequía severa se perciba una alta escasez del preciado líquido en las fuentes de agua que abastecen los diferentes sectores; percepción que no ha podido ser medida y validada con la realidad que permanentemente reportan los usuarios del agua, ya que la falta de equipos de medición hidrométrica al interior y periferia de la ciudad, ha venido generando gran incertidumbre en lo referente a la oferta real disponible en las cuencas que abastecen la ciudad para los diferentes sectores.

2.3 Información climática actual

Actualmente el municipio de Ibagué posee tres estaciones, referenciadas y codificadas según el IDEAM como: estación pluviométrica Interlaken 21210240, estación pluviométrica Cruz Roja 21210230 y estación sinóptica

secundaria Aeropuerto Perales 21245040; las dos primeras ubicadas al interior del área urbana y la tercera por fuera del perímetro urbano (Ver figura 2-8). Teniendo en cuenta que la estación Aeropuerto Perales posee la serie de datos más amplia y continua, gran parte de los estudios y diseños que se realizan para la construcción de obras hidráulicas y sanitarias son diseñadas a partir de la información que se genera en dicha estación; es de resaltar que esta estación se ubica en la zona más baja del municipio, en donde las condiciones climáticas no representan el comportamiento de la lluvia y la temperatura de toda la ciudad, siendo este sector el de menor promedio de lluvia durante el año.

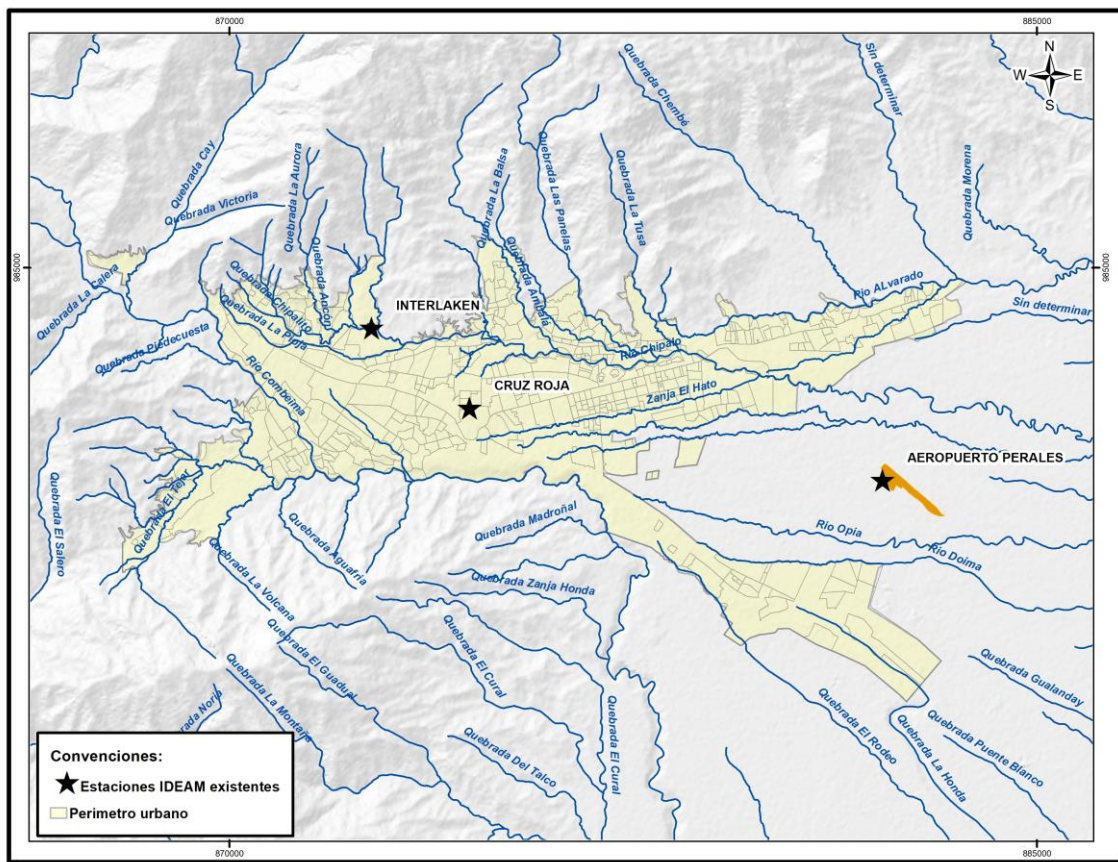


Figura 2-8 Mapa de ubicación espacial de las estaciones IDEAM, Municipio de Ibagué.

Fuente: Elaboración propia con información IDEAM

Como se muestra en la Figura 2-8, gran parte del perímetro urbano de la ciudad carece de un adecuado monitoreo de las variables climáticas que permita ofrecer información confiable para la generación de estudios y diseños hidrológicos e hidráulicos en las zonas en donde no existe información base; la región noroccidental y sur de Ibagué son las zonas en donde casualmente se reportan con mayor frecuencia por parte de los organismos de socorro las afectaciones a la infraestructura habitacional de los pobladores de estas zonas.

Además de las estaciones anteriormente referenciadas en la figura 2-8 imagen, existen otras estaciones ubicadas en la parte media y baja del cañón del río Combeima y por fuera del perímetro urbano, las cuales son de tipo pluviográficas (PG), Pluviométricas (PM) y Climatológicas Ordinarias (CO) y una estación de tipo SS (Sinóptica secundaria), todas de propiedad del IDEAM.

En conclusión, el escaso monitoreo de las variables hidroclimáticas al interior del municipio de Ibagué y en especial del caudal captado para el consumo humano y agrícola, ha conllevado a que la autoridad ambiental, la empresa de acueducto y alcantarillado de la ciudad IBAL, los acueductos comunitarios y los distritos de riego, no tengan claridad de la oferta y demanda hídrica que presentan los cauces y afluentes de los ríos Combeima, Chipalo y Opia; Por lo anterior, y teniendo en cuenta el aumento poblacional y agrícola de la región, se hace necesario cuantificar con urgencia la cantidad de agua disponible en la ciudad, como también conocer el comportamiento de las variables climáticas que permitan aportar una herramienta base para la planificación de la ciudad en cuanto a su crecimiento social, ambiental y aporte al conocimiento de la gestión del recurso hídrico disponible actualmente.

Así como es un insumo básico para el desarrollo de una región conocer las actividades productivas que se realizan en la misma, es imperativo conocer la disponibilidad de agua en cuanto a su oferta para definir la posible satisfacción de la demanda dentro del contexto global del territorio. Además, es importante conocer el clima, que condiciona de manera directa la forma cómo se puede planificar y ocupar una ciudad, ya que esto conlleva a visualizar las posibles amenazas que generan los asentamientos en zonas susceptibles a deslizamientos, inundaciones, avenidas torrenciales o sequías, lo cual pone en riesgo el desarrollo de las regiones. Por lo anteriormente planteado, y en el marco del desarrollo del presente trabajo, se concluye que el conocimiento hidroclimatológico de una región que presenta una hidrografía amplia como la existente en la ciudad de Ibagué, es la base fundamental para el desarrollo económico y urbano de la misma, y por el contrario la falta de monitoreo ambiental por parte de las entidades encargadas de esta actividad desde el contexto de uso, aprovechamiento y gestión del recurso hídrico limita el desarrollo económico de la ciudad por no contar con el recursos hídrico

suficiente para desarrollar las actividades propias de la región como es el caso de la ciudad de Ibagué. A modo de síntesis, la problemática anteriormente expuesta se presenta esquemáticamente en el árbol de problema que se muestra en la figura 2-9.

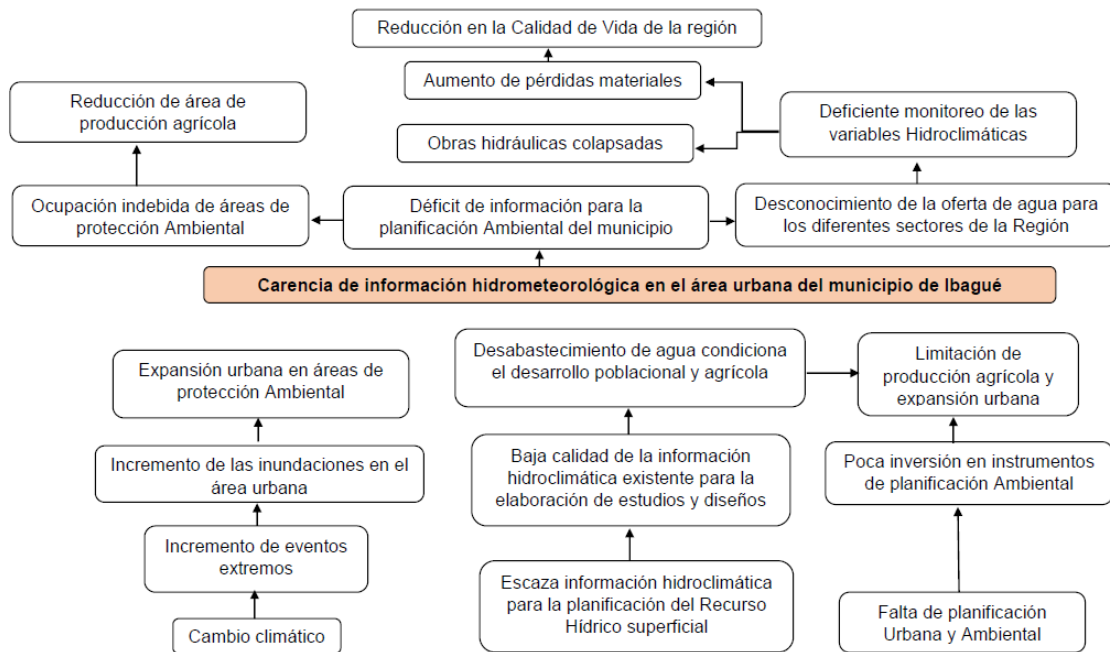


Figura 2-9 Árbol de problemas
Fuente: Propia.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Diseñar una red hidrometeorológica para el área urbana del municipio Ibagué.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar estadísticamente la ocurrencia puntual y espacio temporal de la precipitación en la zona de estudio a partir de información existente.
- Proponer una metodología que permita diseñar la red hidrometeorológica para el área urbana de la ciudad de Ibagué.
- Implementar el diseño de una red hidrometeorológica a partir de la metodología propuesta en el área de influencia del municipio de Ibagué.

4 MARCO TEORICO

4.1 Generalidades

Las redes de monitoreo en general tienen como objetivo cuantificar una variable que varía en el espacio y en el tiempo utilizando un número limitado de estaciones de medición que deben ser distribuidas en la región de observación de una forma óptima, a fin de capturar la variabilidad espacial de la variable de interés de la mejor manera posible (Guenni, 2007).

Los sistemas de observación proporcionan observaciones normalizadas desde la tierra y desde el espacio exterior sobre el estado de la atmósfera, para la conformación de bases de datos meteorológicos con el fin de realizar estudios del tiempo y clima. Así mismo son elementos básicos para la vigilancia, diagnóstico y pronóstico del tiempo y el clima y otros programas medioambientales conexos (José F. B, Gloria E. León A , 2011).

El seguimiento continuo de las variables hidrometeorológicas es un mandato en todas las instancias de la planificación para la gestión sostenible de los recursos naturales (Minambiente, 2015). Sin embargo, la estructuración y materialización de las redes de monitoreo hidrológico y meteorológico, en la mayoría de los países, han carecido en las diferentes etapas iniciales del diseño y la proyección óptima del programa de mediciones, de su infraestructura y finalmente de su aparato protocolario (Taracena; teresa & Rada, 2006). Los gobiernos necesitan información para preparar estrategias de desarrollo, organizar actividades económicas, como la producción agrícola e industrial, la construcción urbana, la reducción de desastres y la preparación para los mismos y la realización de experimentos científicos en gran escala (OMM, 2000), para lo cual se utilizan redes de monitoreo.

El objetivo principal de una red hidrométrica o climatológica, es garantizar que los datos capturados tengan una calidad tal que permitan ser usados por los usuarios de manera que la información sea confiable y muy aproximada a la realidad climática de la zona en estudio, es por ello, que la escogencia del tipo de red a diseñar y la metodología a utilizar, como también el uso que se le dará a la información capturada, es pieza fundamental en este objetivo (Elesbon et al., 2014)., Otro gran elemento importante a tener en

cuenta al momento de generar datos es la gestión de los mismos dentro del contexto organizacional, el desarrollo de bases de datos climáticos e hidrométricos como la aplicación de prácticas de gestión de datos, en donde se tengan en cuenta las necesidades de los usuarios actuales y, hasta donde sea previsible, de los usuarios de datos futuros, es un punto muy importante al momento de implementar una red de monitoreo (OMM, 2007)

Por lo anterior, gana importancia el análisis previo del sitio en donde se ubique el sistema, la cobertura de la red y los enlaces que existen en la zona a los sistemas de telemetría, como también los parámetros a medir. El número de equipos a instalar en una zona determinada y la distancia entre ellos deja ver la densidad de la red en cuanto a su distribución espacial (Overeem, Leijnse & Uijlenhoet, 2011). Teniendo en cuenta lo anterior, las redes de baja o alta densidad juegan un papel muy importante al momento captar datos que permitan hacer un análisis de variabilidad climática de una zona en estudio (López & Jiménez, 2014). Otro aspecto importante al momento de definir el tipo de red a diseñar es la cantidad de parámetros a monitorear y la frecuencia de su lectura, ya que esto identifica que tan básico o robusto en cuanto a la frecuencia es el sistema diseñado o a diseñar (OMM, 2010).

La información hidrometeorológica se recopila mediante redes de monitoreo; el monitoreo hace referencia a las tareas de observar, medir y evaluar de manera continua los fenómenos medio ambientales, y a partir de esto realizar trabajos de control, prevención y administración del agua (OMM, 2012).

Las redes de monitoreo hidrometeorológicas, son sistemas conformados por equipos de medición de variables climáticas e hidrométricas, las cuales pueden registrar datos climáticos como temperatura del aire, precipitación, velocidad y dirección del viento, radiación solar, humedad relativa, evapotranspiración, presión barométrica y variables de caudal y nivel. Estos equipos capturan información a diferentes escalas (diaria, horaria y sub – horaria), de acuerdo con las necesidades que se requiera (ver figura 4-2). Dichas estaciones deben estar distribuidas espacialmente para la medición sistemática de las variables climatológicas, para de esta manera evaluar el comportamiento de las mismas (IDEAM, 2004).

La observación y medida de las variables y fenómenos meteorológicos es una condición indispensable para el avance de la Meteorología. Se realizan medidas

en miles de estaciones meteorológicas ubicadas sobre tierra firme, pero también sobre el mar y a distintas alturas de la atmósfera, tanto en posiciones fijas como a lo largo de las rutas trazadas por barcos y aviones, aprovechando que todos ellos disponen de instrumentos meteorológicos a bordo (ver figura 4-1) (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004).

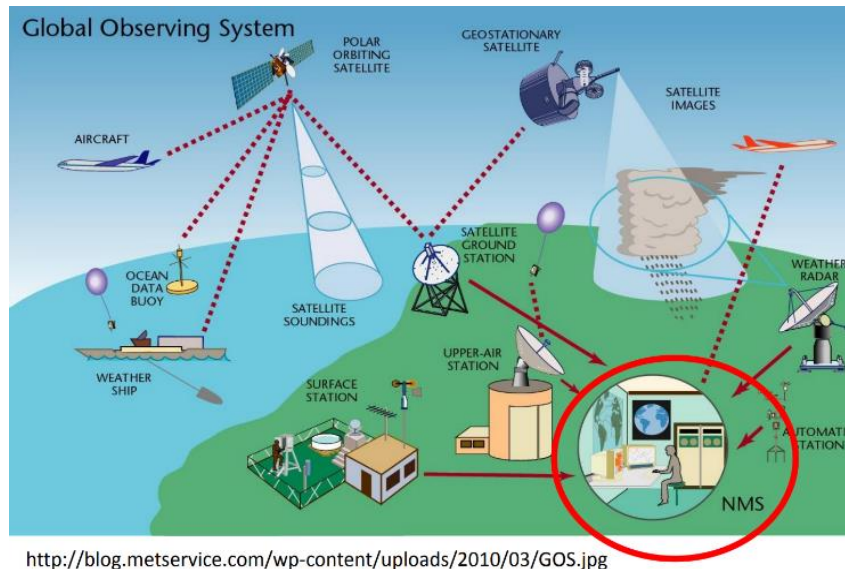


Figura 4-1 Configuración de un Sistema Monitoreo global GPRS o UHF.
Fuente: (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004)

Los sistemas de medición meteorológicos hacen parte de las herramientas de planificación del territorio, y son instrumentos fundamentales en la distribución espacio territorial de las variables climáticas de una zona, aportando conocimiento fundamental en la prevención de eventos naturales en los cuales la población más vulnerable sufre los embates de la naturaleza.

Las redes de monitoreo meteorológicas son de gran importancia no solo para conocer y hacer seguimiento a las variables climáticas que se registran en un punto determinado, sino que también gana relevancia en cualquier aplicación relacionada con la necesidad de conocer el compartimento de cultivos, la planificación y gestión de los recursos hídricos, la generación de energía y hasta la calidad del aire de una región, es por esto que este tipo de redes ayudan a la toma de decisiones técnicas con propósitos ambientales o administrativas. En cuanto a las redes de monitoreo hidrométricas estas ganan una gran importancia en lo referente al conocimiento de la oferta hídrica de un cuerpo de agua y la demanda que se tenga de este, además, que permiten establecer niveles de alerta temprana dentro de un sistema de gestión del riesgo.

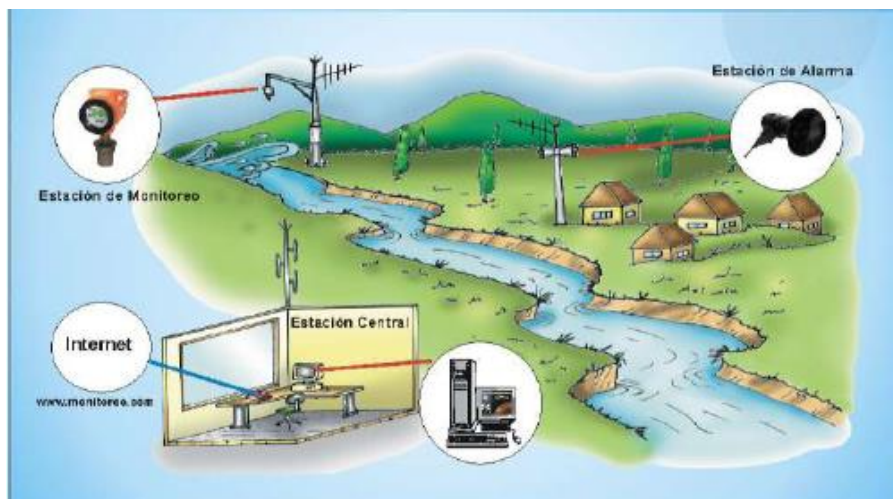


Figura 4-2 Configuración de un sistema de monitoreo local para la gestión del Riesgo

Fuente: (UNAL, 2012)

Algunos de los diseños que actualmente se adelantan tienen diversos propósitos; uno de ellos, es que la captura de información sirva como soporte para la toma de decisiones en lo referente a la gestión del riesgo; los Sistemas de Alerta Temprana SAT, tienen como principal objetivo prever e informar a la comunidad sobre la posibilidad de ocurrencia de un desastre natural (tormentas, deslizamientos, terremotos, inundaciones, huracanes entre otros) (Zurich & Prácticas, 2016). Uno de los principios fundamentales en el estudio de los riesgos naturales es que el aumento de la población hace que la afectación que provocan los eventos naturales sea mayor, ya que existe mayor población expuesta. Los fenómenos hidrometeorológicos son uno de los riesgos que provocan grandes pérdidas humanas, por lo que hay que trabajar arduamente para enfrentar estos eventos de manera que los daños que provoquen sean mínimos (Paola & Carlos, 2016).

Un capítulo muy importante en el tipo de redes de monitoreo urbano con propósitos de prevenir y reducir la amenaza y que se encuentra en la política nacional de la gestión del riesgo corresponde al tema de los Sistemas de Alertas Tempranas SAT (Congreso de Colombia, 2012). El constante aumento de pérdidas materiales y vidas humanas asociadas a eventos extremos en Colombia y en el mundo, ha obligado a que los sistemas nacionales e internacionales de Gestión del Riesgo tengan que empezar a diseñar y poner en marcha redes de monitoreo tendientes a proporcionar información valiosa en la prevención de desastres naturales con incidencia directa de los eventos climáticos

(Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014). De manera que, Barranquilla, en la costa caribe de Colombia, en donde los cambios súbitos del clima generan una amenaza latente a los pobladores asentados en zonas vulnerables, implementó para el año 2015 un proyecto prototipo experimental de tipo Sistema de Alertas Tempranas (S.A.T). Dicho SAT entrega datos importantes en tiempo real a la ciudadanía sobre el nivel, caudal, y fuerza de empuje del arroyo "La Brigada". Este proyecto se desarrolló en cinco fases, en donde al final se instalaron sensores de monitoreo hidrométrico, conectados a una plataforma de comunicación con tecnología ZIGBEE, la cual permite al Comité de Riesgo del municipio de barranquilla conocer los niveles máximos del arroyo "La Brigada", con este sistema, se aporta a al municipio de Barranquilla un instrumento de gestión y prevención temprana de desastres (Melisa & Coll, 2013).

Otra experiencia exitosa, pero más localizada, fue la desarrollada por la alcaldía del municipio de Pereira en compañía de La Corporación Autónoma de Risaralda - CARDER y otras entidades del gobierno departamental, para la cuenca media del río Otún. Para este proyecto seleccionaron siete sitios a lo largo del río Otún para el monitoreo de las amenazas relacionadas con fenómenos de deslizamientos e inundaciones, partiendo de una red de observadores comunitarios. Con la información recolectada, se establecieron tiempos de propagación de crecientes de un represamiento natural, periodos de retorno y caudales máximos para eventos en el río Otún entre importantes tramos de la cuenca y en sus principales afluentes (Fernández Lopera C. & Sabas Ramirez, 2012).

Otro ejemplo es la red hidrometeorológica de Bogotá, específicamente sobre la cuenca alta del río Tunjuelo, cuyo fin básico fue el de mejorar el conocimiento del clima en el Distrito Capital (DC), además de proveer información hidrometeorológica para realizar pronósticos de niveles de agua y condiciones climáticas dentro del DC; este diseño fue realizado entre el Fondo De Prevención y Atención de Emergencias FOPAE de la Alcaldía Mayor de Bogotá y el IDEAM, este diseño tuvo como propósito optimizar la red de estaciones existentes de hidrometría y meteorología ubicada a lo largo y ancho de la cuenca del Río Tunjuelito y de propiedad del IDEAM. Para este proyecto se utilizaron mapas de órdenes de flujo y de distribución espacial de lluvia como también el análisis de curvas de duración de caudales. Al final de este ejercicio,

se establecieron nuevos puntos de monitoreo de hidrometría con fines de pronóstico de niveles para emisión de alertas por inundación y de meteorología con propósito de monitorear espacialmente la variable precipitación (Rosero M. C, 2007).

Otro caso en el que se asocian diferentes redes de monitoreo es el que actualmente existe en el departamento de Caldas, llamado SIMAC Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas. En dicho sistema se reúnen entidades del orden departamental, municipal y la academia, con el objetivo de captar, tratar y divulgar de manera precisa los datos de diferentes redes ambientales como son la red de estaciones de Hidrometeorología, Calidad de Aire, Agua Subterránea y Sismología, con propósitos de generar información relacionada con la planificación y el ordenamiento territorial para el departamento de Caldas. Los datos captados por cada red son tratados y colocados de manera libre través del Geo portal – SIMAC <https://cdiac.manizales.unal.edu.co/geoportal-simac/> y el Centro de Datos e Indicadores de Caldas, CDIAC, para ser consultados por la comunidad en general. Esta red contribuye de manera directa al monitoreo ambiental, al ejercicio de planificación y ordenamiento territorial y dentro de este en prevención de riesgos.

Por último, uno de los proyectos más robustos de monitoreo, en el centro del país, es el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá SIATA, en el departamento de Antioquia, conformado por 10 municipios los cuales hacen parte de la cuenca del Río Medellín. El sistema tiene como principal objetivo generar alertas tempranas a los organismos de la gestión del riesgo, para lo que cuenta con una red pluviométrica de 72 estaciones, una red de 14 sensores meteorológicos multiparamétricos y una red de 8 sensores tipo radar para el monitoreo hidrométrico sobre el cauce principal del Río Medellín y algunos afluentes más importantes. Destaca la operación del único radiómetro del país el cual tiene un alcance de 240 kilómetros de radio cubriendo el 90% del departamento de Antioquia, los datos son captados, tratados, procesados y puestos a disposición del público a través de un Geo portal – SIATA www.Siata.gov.co.

Es importante tener en cuenta que el uso de información hidrometeorológica para la construcción de modelos hidráulicos debe disponer de datos de niveles y caudales tanto en la entrada, como en la salida del trayecto a modelar que sirvan de frontera para la modelación. Si el trayecto a modelar es muy largo o hay afluentes aportantes al sistema se requeriría de otras estaciones intermedias. Es aconsejable que todas estas estaciones se encuentren georeferenciadas sobre un mismo nivel de referencia planimétrico y altimétrico, esto es, que la cota cero de las miras se encuentre referenciadas a la red Geodésica del IGAC (Magna-Sirgas), (IDEAM, 2018b),

Por último, Existen en la actualidad un sinnúmero de criterios y metodologías de diseño de redes de monitoreo de agua, esta actividad es un tema que ha recibido una atención considerable dentro del contexto de la política regional y nacional del agua.

4.2 Normas de diseño en Colombia para el diseño de redes hidrometeorológicas

En Colombia, se recomienda para el diseño de las redes de monitoreo climatológico e hidrometeorológico tener en cuenta las normas y parámetros técnicos establecidos por la Organización Mundial de Meteorología (OMM, 2012), como principal órgano a nivel mundial en dictar recomendaciones técnicas tendientes a diseñar una red estable que permita realizar una adecuada recolección de los datos de manera confiable para la evaluación de los recursos hídricos disponible en el área de diseño (OMM, 1994), (OMM, 2011a), (OMM, 2012), (OMM, 2017).

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, en el año 2004, generó un documento técnico de recomendaciones básicas para el diseño de redes (IDEAM, 2004), partiendo del hecho de que la característica principal a tener en cuenta para iniciar la actividad de diseño es el trabajo de campo, el cual debe estar enfocado en conocer las áreas de interés a monitorear con el propósito de asegurar que los sitios escogidos para ubicar los equipos de medición cumplan con las condiciones mínimas de instalación y operación y por ende los datos captados permitan brindar confiabilidad en la generación de conocimiento climático.

El diseño de toda red de monitoreo debe estar enmarcado en los objetivos de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico PNGIRH (MinAmbiente, 2010), que indica como objetivo general “Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.” Sin embargo, los objetivos específicos de la PNGIRH que se ven fortalecidos con una adecuada red de monitoreo hídrico son la oferta hídrica, la calidad del agua, la gestión del riesgo y la institucionalidad de las Corporaciones Regionales.

Actualmente la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD y IDEAM, establecieron el “*Protocolo De Integración De La Red Pública Y Privada De Estaciones Hidrometeorológicas*”, este documento técnico tiene como objetivo disponer de un instrumento que oriente la integración de estaciones hidrometeorológicas de la red pública y privada a la red Nacional operada por el IDEAM encaminada al fortalecimiento de la red Nacional de monitoreo, (Martínez & González, 2018). Con este tipo de estrategias se busca además fortalecer el conocimiento hidrometeorológico entre instituciones públicas y entidades del orden privado.

4.3 Métodos de diseño

En el diseño de redes hidrometeorológicas, además de tener en cuenta el tipo de red y su ubicación geográfica, se requiere definir la metodología de diseño; este punto marca dentro del diseño de las redes de monitoreo de agua y variables atmosféricas, un rol muy importante, ya que con ello se busca determinar la distribución espacial de los equipos a instalar, como también la frecuencia en el recibo de los datos y las variables a medir (Sensors & Networks, 2010).

En la actualidad, existen diferentes metodologías de diseño disponibles, como el análisis estadístico, interpolación espacial, la aplicación de la teoría de la información, técnicas de optimización, análisis fisiográfico, métodos basados

en las características fisiográficas de la cuenca en análisis, técnicas de muestreo, encuesta a los usuarios o recomendaciones de los expertos y las combinaciones de múltiples métodos, etc..., (Keum, Kornelsen & Leach, 2017). También se puede realizar el diseño a través del conocimiento de expertos o el conocimiento de los usuarios de la red, podría ser en alguna manera un concepto de diseño subjetivo, ya que gran parte del trabajo se vería reflejado en el conocimiento de las necesidades de observación propia y de la zona de interés a monitorear por parte del usuario (Keum, Kornelsen & Lach, 2017).

Otros métodos sencillos para el diseño de redes de monitoreo hidrometeorológico que pueden ser utilizados con una buena aceptación por los usuarios de una red, son los basados en el cruce de mapas temáticos y el conocimiento de expertos, aunque estas dos metodologías pueden tener parentesco en cuanto a que para la construcción de los mapas temáticos se debe tener conocimiento del territorio, el diseño a partir del conocimiento de los expertos obliga de una u otra manera a conocer el territorio tanto o más que el que construye una red a partir del uso de mapas temáticos. La estimación más precisa de los valores climatológicos en un área determinada puede basarse en la interpretación de mapas de diferentes temáticas, los cuales aportan información base para la toma de decisiones en cuanto a la ubicación de los equipos y cobertura de señal que permita enviar los datos en tiempo real y una mejor espacialidad de las variables a medir (Putthividhya & Tanaka, 2013).

Analizando brevemente cada una de las metodologías antes mencionadas, se observa que existe una buena gama lo que permiten al diseñador de una red tener herramientas capaces de atender las necesidades de una zona (José F. B, Gloria E. León A., 2011).

Una de las técnicas que más se ajusta al diseño a realizar para el área urbana de la ciudad de Ibagué, es la que tiene que ver con el cruce de mapas temáticos asociados a indicadores de oferta y demanda, acompañado del conocimiento del entorno por parte del diseñador, esta técnica consiste inicialmente en establecer las temáticas ambientales a monitorear, las cuales para el caso del presente diseño son las siguientes:

- Red de drenaje
- Infraestructura física y vial de la ciudad

- Densidad mínima de estaciones de meteorología en zonas urbanas
- Diferencia altitudinal
- Puntos de transvase
- Puntos de vertimiento o retorno de flujo
- Puntos de captación de agua para otros sectores (Agrícola, industrial, eléctrico etc..)
- Puntos de captación de agua para consumo humano

A partir de las temáticas establecidas se construyen los mapas temáticos que servirán posteriormente para realizar una ubicación preliminar de una serie de estaciones según criterios de uso de la red para cada mapa y el conocimiento técnico que tenga el diseñador tanto del territorio como de la necesidad de instrumentación que se requiera. Como resultado final de este ejercicio, se genera un mapa por temática de ubicación de estaciones meteorológicas e hidrométricas, esta ubicación preliminar, estará enmarcada en el conocimiento del territorio por parte del diseñador y las necesidades de monitoreo que tiene la ciudad, con estas dos acciones se estarían conjugando las dos metodologías de diseño escogidas para el diseño final de la red de monitoreo para la ciudad de Ibagué. Realizada las dos actividades anteriormente citadas, se continua con la superposición de los mapas temáticos en donde se evidencia todas las estaciones propuestas para cada uno de los mapas, los cuales mostrarán lugares comunes en donde existirán al inicio varias estaciones; el diseño final corresponde a la ubicación definitiva de aquellos puntos en los cuales se observen puestos de monitoreo repetidos o cercanos a la ubicación preliminar de esas estaciones.

4.4 Tipos de Redes Hidrometeorológicas

Según el programa nacional de monitoreo emitido por el (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2017) las redes existentes en Colombia se clasifican teniendo en cuenta diversos factores, los cuales se agrupan de la siguiente manera:

1. **Red para uso específico:** este tipo de redes como su nombre así lo menciona, están diseñadas, construidas y son operadas para un uso explícito y por un tiempo determinado, comúnmente estos puntos de monitoreo, son utilizados para la captura de datos tendientes a realizar estudios específicos

sobre zonas particulares con necesidades de monitoreo puntual, propios de investigaciones académicas o para adelantar la caracterización del clima a empresas que buscan analizar una zona determinada. El periodo de tiempo por el cual se instalan los equipos de captura de datos hidrometeorológicos es limitado y los equipos utilizados en su gran mayoría son de tipo móviles.

2. **Red básica regional y redes complementarias:** estas redes tienen como propósito fundamental aportar conocimiento regional a los sistemas de planificación ambiental regional y la implementación de instrumentos de planificación y administración de los recursos naturales; este tipo de redes en su gran mayoría son implementadas por las Corporaciones Autónomas Regionales CAR, según lo establecido en el decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.3.1.4.2 y la Política Nacional de Recurso Hídrico (Minambiente, 2015).
3. **Red básica nacional:** estas redes se ubican al interior del sistema nacional de información SINA, su nivel de conocimiento es de escala nacional y permite captar información tendiente a generar y formular políticas de planificación nacional; en Colombia estos sistemas son operados por el IDEAM e INVEMAR.

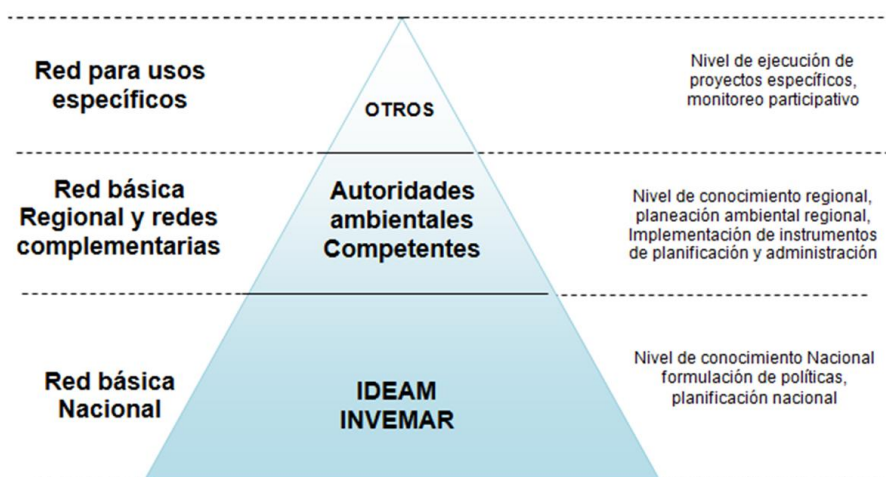


Figura 4-3 Clasificación de redes de monitoreo
Fuente: Programa nacional de monitoreo del Recurso Hídrico IDEAM.

Según el Protocolo de Monitoreo de Agua (IDEAM., 2017) existen competencias institucionales para los diferentes tipos de redes de monitoreo de acuerdo con la cobertura, estas se muestran en la figura 4-3, resaltando que el IDEAM, las Autoridades Ambientales CAR y los sectores privados, públicos,

gremios, acueductos y municipios, pueden hacer las inversiones en cualquiera de las redes mostradas en la figura, según la necesidad que se tenga para cada entidad.

Partiendo de la clasificación antes mencionada y la mostrada en la figura 4-4 la red a diseñar aquí se enmarca dentro del contexto de las redes básicas regionales o redes complementarias, ya que la misma tendrá un uso específico al interior del municipio de Ibagué, con la posibilidad de aportar conocimiento en temas relacionados con la medición de variables hidroclimatológicas con propósitos ambientales y la implementación de sistemas de alerta temprana en el marco de la política nacional de la gestión del riesgo, para ciudades con recurrencia en fenómenos hidroclimatológicos, como los que se viene presentando en los últimos años sobre la ciudad de Ibagué.

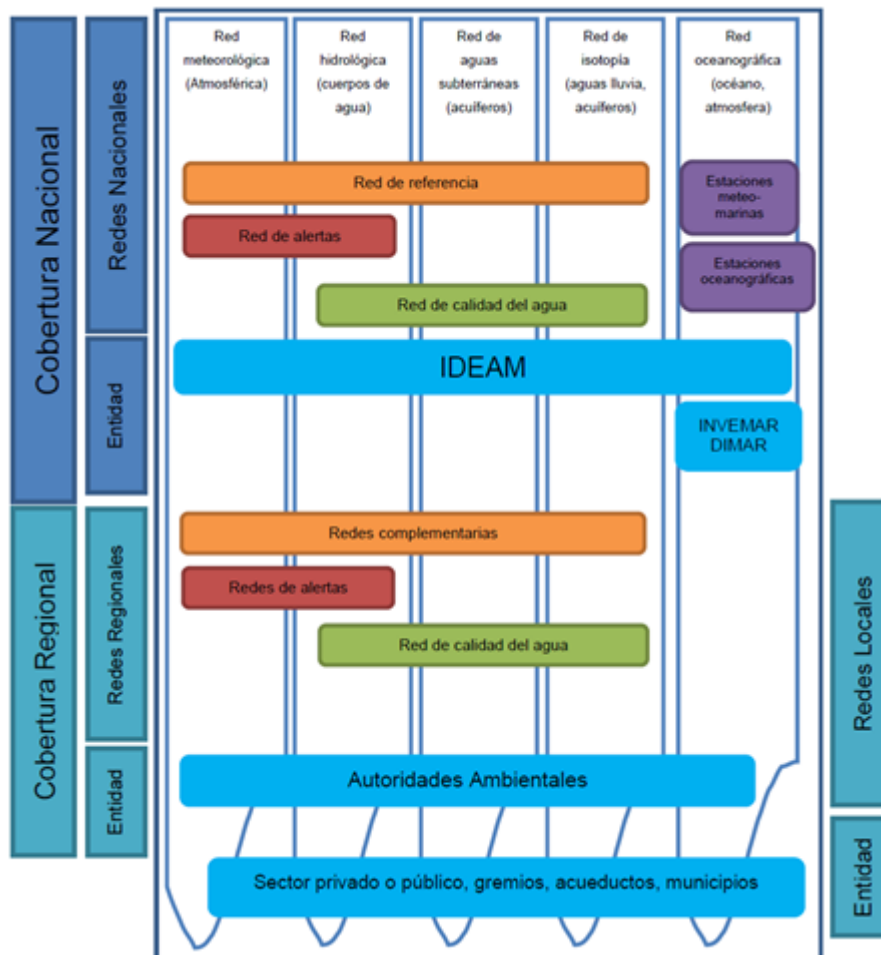


Figura 4-4 Redes hidrológicas, meteorológicas y oceanográficas relacionadas con la competencia institucional
 Fuente: (IDEAM., 2017)

4.5 Diseño de la red hidrometeorológica

Una red hidrometeorológica es definida como un conjunto de estaciones en las cuales se hacen observaciones sobre variables hidrometeorológicas como función del tiempo, y son un medio para obtener información que soporte la toma de decisiones en lo concerniente a la administración y manejo de los recursos (IDEAM, 2017).

El diseño de redes de monitoreo es un problema que comprende dos aspectos importantes: el primero tiene que ver con el número de puntos de medición a colocar en la región; el segundo tiene que ver con la configuración espacial que deben tener estos puntos. A partir de los datos así obtenidos se pretende estimar la variable de interés en localidades sin estaciones de medición con el mínimo error (Guenni, 2007).

El diseño de las redes de monitoreo hidrometeorológico debe ser planeado para cumplir con criterios específicos de medición y su relación debe estar sujeta a la ubicación de los equipos a emplear para cumplir el objetivo de diseño; Algunas redes de monitoreo en Colombia, especialmente las diseñadas y construidas por las entidades del estado como son las Corporaciones Autónomas Regionales CAR tienen objetivos ambientales propios de sus funciones y sus líneas de inversión como son:

1. Programas de monitoreo para conocer la oferta hídrica en cuencas en ordenación.
2. Redes para la caracterización de cuerpos de agua (vertimientos)
3. Cuantificación directa de los efectos causados por un proyecto específico y en un periodo de tiempo determinado.
4. Evaluación de áreas para proyectos de investigación.
5. Control y vigilancia.

Todos estos objetivos en algunos casos solo están ligados a necesidades directas del servicio de las entidades y no buscan crear conocimiento permanentemente que permita atender las necesidades de información para la

planificación del territorio en diferentes áreas. El presente diseño busca abarcar todas las necesidades de carencia de información hidrometeorológica que requiere el municipio de Ibagué, para con ello generar conocimiento base en procura de planificar un territorio capaz de ser resiliente a todos los fenómenos que hoy en día padece, especialmente los eventos extremos que se registran al interior del municipio.

El diseño de las redes de monitoreo hidrometeorológico parte de una evolución permanente y por ello estas deben tener una constante revisión, ajuste y evaluación (AK Lohani Cientifico F, 2010).

Para el diseño de redes hidrológicas la Guía de prácticas hidrológicas (OMM, 2011b) recomienda algunos lugares y modalidades de instalación de estaciones de muestreo supeditadas a determinados objetivos en sistemas fluviales y lacustres (ver figura 4-5).

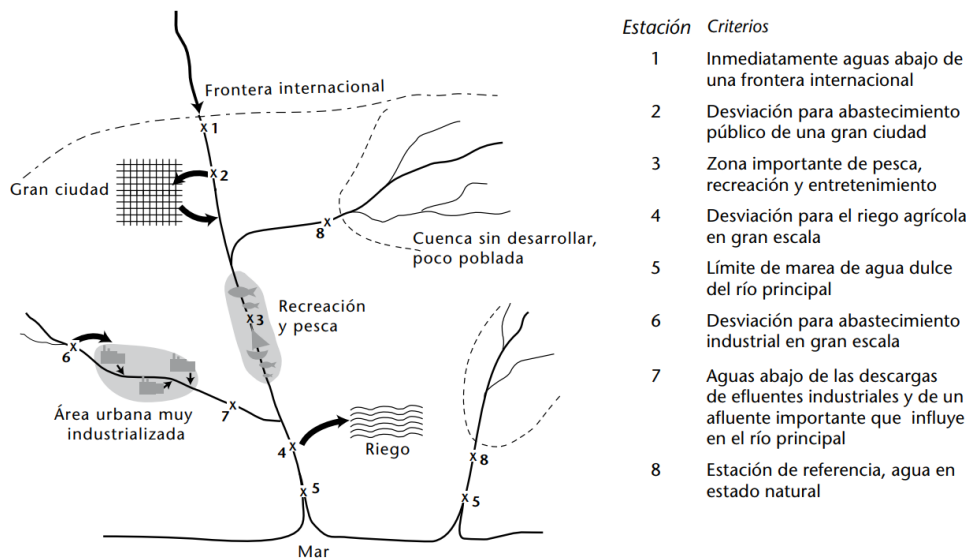


Figura 4-5 Criterios OMM para el monitoreo en ríos.

Fuente: ((OMM, 2011b)

En lo que respecta a las redes de monitoreo meteorológicas y climatológicas, en donde la precipitación hace parte de las variables a monitorear, la Organización Mundial de Meteorología (OMM), recomienda tener en cuenta el concepto de densidad mínima de red (OMM, 2020), el cual tiene por objeto establecer una cobertura a partir de una unidad fisiográfica. Para el presente trabajo se tendrá en cuenta para el sector urbano la fisiografía de áreas urbanas, en donde se establecen densidades entre los 10 a 20 Km².

Tabla 4-1 Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km² por estación).

Unidad fisiográfica	Precipitación		Evaporación	Flujo	Sedimentos	Calidad del agua
	Sin registro	Con registro				
Costa	900	9,000	50,000	2,750	18,300	55,000
Montaña	250	2,500	50,000	1,000	6,700	20,000
Planicie interior	575	5,750	5,000	1,875	12,500	37,500
Montes/ondulaciones	575	5,750	50,000	1,875	12,500	47,500
Islas pequeñas	25	250	50,000	300	2,000	6,000
Áreas urbanas	-	10 a 20	-	-	-	-
Polos/tierras áridas	10,000	100,000	100,000	20,000	200,000	200,000

Fuente: (OMM, 2020)

Frecuentemente los objetivos de una red están relacionados con la aplicación a que se destinan los datos recopilados por la red (por ejemplo, una evaluación de recursos hídricos, un plan de desarrollo, o el diseño de un proyecto). Una estación o instrumento de medida hidrológico puede formar parte de más de una red si sus datos se utilizan para más de una finalidad. En la mayor parte del mundo, este caso suele ser el más frecuente. Alternativamente, una única red puede constar de varios tipos de estaciones o dispositivos de medición si todos ellos aportan información al objetivo de la red. Así, por ejemplo, una red de predicción de crecidas puede contener tanto pluviómetros como aforadores de caudales.

5 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta el desarrollo metodológico para el diseño de una red de monitoreo hidrometeorológica, en el cual se plantean los criterios de macro-localización de los puntos de monitoreo, teniendo en cuenta para ello tres factores de diseño, cada uno de ellos concatenado con su respectivo índice, seguido por un parámetro de diseño a evaluar y finalmente la aplicación del criterio de selección del sitio en donde se implantará el punto de monitoreo, todo esto representado en el esquema metodológico mostrado en la Figura 5-1.

Dentro del esquema metodológico mostrado en la figura 5-1, se proponen los criterios de diseño de una red de monitoreo hidrometeorológica a nivel de macro-localización a partir de tres factores fundamentales, físicos, antrópicos e históricos. Las redes de monitoreo hidrometeorológicas propuestas en este trabajo deben cumplir con los siguientes propósitos de aportar conocimiento para: (I) la OFERTA hídrica, es decir, la cantidad o volumen de agua existente en una cuenca tanto natural como antrópica, que permita atender la (II) DEMANDA que generan las diferentes actividades económicas y sociales de una región, esta relación permite medir la (III) DISPONIBILIDAD del recurso hídrico en una cuenca.

Es importante anotar que actualmente los indicadores del sistema hídrico e intervención antrópica se calculan a partir de la medición de las diferentes variables hidrometeorológicas y de calidad de agua que son registradas por las diferentes redes de monitoreo (IDEAM, 2018a) Consciente de esto, en la presente tesis se plantea una metodología de diseño para redes hidrometeorológicas que permita brindar herramientas a las autoridades locales, regionales y nacionales en lo correspondiente a la implementación y puesta en marcha de estos sistemas de monitoreo en ciudades con poca o nula información hidroclimática.

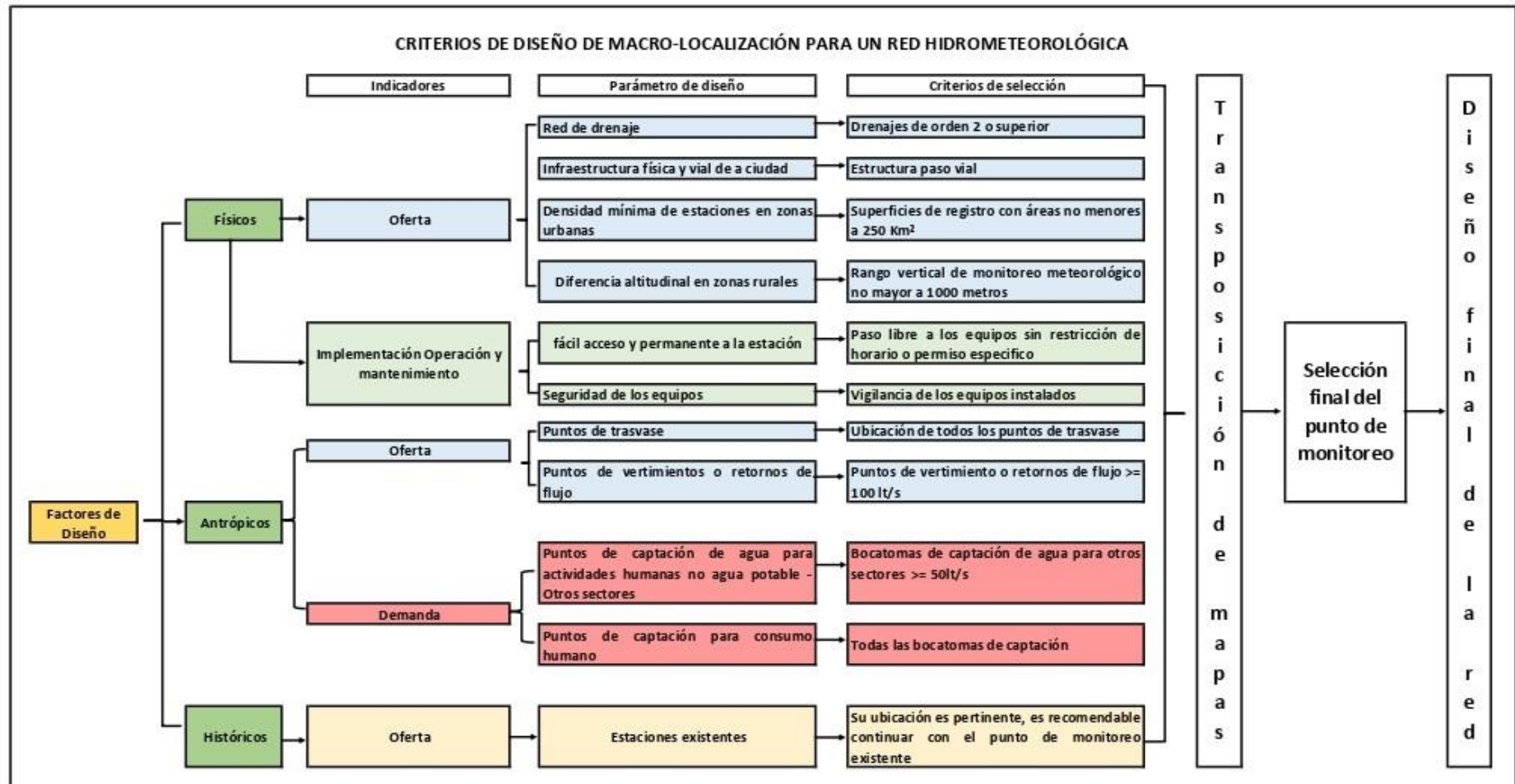


Figura 5-1 Esquema metodológico propuesto para el diseño de la red hidrometeorológica para la ciudad de Ibagué.

Fuente: Propia.

Los factores se agrupan de manera que puedan identificar OFERTA y DEMANDA para la zona de estudio. Estos dos temas son de gran importancia dentro de la política de gestión hídrica de una región.

5.1 Definición de los parámetros y criterios de diseño de una red hidrometeorológica

Realizada una adecuada revisión de todas las variables de información base que pueden estar involucradas en la macro-localización de una red de monitoreo hidrometeorológica se seleccionó un número de parámetros a tener en cuenta al momento de establecer los lineamientos de diseño de la red. Los parámetros sugeridos dentro del desarrollo meteorológico para el diseño de una red son los siguientes:

5.1.1 Factores físicos

5.1.1.1 Indicadores de Oferta a partir de factores físicos

5.1.1.1.1 Red de drenaje

El sistema hídrico de un territorio es la variable de monitoreo más importante, ya que es la fuente principal de desarrollo de gran parte de los sectores productivos de una región, es por ello, que la necesidad de implementar estrategias y acciones encaminadas a poder cuantificar la oferta hídrica disponible hace que se generen propuestas de seguimiento y vigilancia del recurso hídrico. En este trabajo sólo se considerará la oferta hídrica superficial.

El modo de ubicación de los sistemas de monitoreo y el uso de los mismos con propósitos de captura de información continua permite recomendar acciones previas al diseño de una red de seguimiento ambiental hidrometeorológica, en la cual se deben tener en cuenta los siguientes insumos:

1. Cartografía de la red de drenajes disponible en los POMCAS a escala máxima de 1:25000, acompañado de un Modelo de Elevación Digital MED de la mayor resolución disponible, no mayor a 30 metros.
2. Mapa de órdenes de flujo, el cual servirá como mapa temático de drenaje, este mapa se genera a partir de un MED de la zona de estudio y con la ayuda de SIG.

La ubicación de los puntos de monitoreo se hará con el apoyo del mapa temático denominado “*mapa temático de drenajes*”, para ello se recomienda la ubicación de los puntos de monitoreo en lo que corresponde a la red de drenaje, en aquellos cauces con orden 2 o superiores que cumplan los siguientes requisitos:

- a. A la salida de las cuencas hidrográficas de mayor presión hídrica.
- b. En los puntos de interés hídrico para la Autoridad Ambiental de la región.
- c. Los drenajes urbanos con inicio al interior de la ciudad,
- d. Corrientes que abastezcan acueductos comunitarios,
- e. Cauces en los cuales se realicen captaciones para uso agrícola,

5.1.1.1.2 Infraestructura física y vial de la ciudad

Uno de los puntos más comunes y recomendados para la ubicación de equipos de monitoreo de agua superficial son las estructuras viales como son los puentes, además de garantizar que estos puntos presentan una buena estabilidad geológica y morfológica, permiten establecer sitios fijos de aforo (IDEAM., 2017). Este parámetro, es comúnmente utilizado para la macro y micro localización, jugando con ello un papel muy importante en la definición final de los puntos de monitoreo, ya que estos sitios permiten delimitar tramos de análisis hidrológico, como también permiten hacer cierres de cuencas hidrográficas. Se tendrá en cuenta la infraestructura vial de paso vehicular que cruce por los cuerpos de agua, la ubicación de los puntos de monitoreo estará en consideración del diseñador y en relación con las necesidades que tenga de ubicación de equipos por parte de otras temáticas, lo cual indica que esta ubicación será apoyo a las necesidades de la ubicación de la red en general.

Para la demarcación de los principales puntos viales, se debe utilizar los siguientes insumos:

1. Cartografía de la red vial del municipio, existen en los Planes de Ordenamiento Territorial POT, vigentes y aprobados por los consejos municipales y la Autoridad Ambiental de la Región, de esta cartografía se extraerá el mapa vial del municipio o territorio en donde se desee realizar el diseño de la red.
2. Ortofoto o imagen satelital del municipio o área de diseño, esto con el propósito de verificar el trazado vial.

3. Realizar vistas aleatorias a los tramos de vías e infraestructura que muestre características óptimas para ubicación de los equipos de monitoreo.

La integralidad de las anteriores herramientas, generará un mapa temático denominado “*mapa temático de Infraestructura física y vial*”, en el cual se ubicarán los puntos de monitoreo en función de:

5.1.1.1.3 Densidad mínima de estaciones de meteorología en zonas urbanas

Este ítem tiene por objetivo localizar las estaciones meteorológicas que permitirán evaluar la oferta de agua atmosférica, ya que la oferta debe analizarse de manera integral, es decir, en lo posible, todos los componentes del ciclo hidrológico. En este trabajo se proponen sólo dos de dichos componentes, es decir la oferta atmosférica y la oferta de aguas superficiales.

Uno de los retos más grandes en el diseño de redes de monitoreo urbano de tipo meteorológico es la ubicación precisa de los puntos de medición. Existen en la literatura de diseño de redes varias metodologías y recomendaciones, entre ellas la propuesta por la Organización Meteorológica Mundial OMM desde el año 2008, de la cual se desprenden varias recomendaciones y combinaciones, como el análisis estadístico, la interpolación espacial, la aplicación de la teoría de la información, técnicas de optimización, métodos basados en las características fisiográficas de la cuenca en análisis, técnicas de muestreo, encuesta a los usuarios o recomendaciones de los expertos y las combinaciones de múltiples métodos, entre otras.

La necesidad de monitorear zonas urbanas y la preocupación que existe en establecer puntos de monitoreo de tal manera que su ubicación no genere redundancia o ausencia de datos, es cada día el reto a sortear, más si no se tienen muchos datos de referencia. Partiendo de esta necesidad y con el propósito de asegurar una adecuada toma de datos meteorológicos, que soporten las variables atmosféricas que hacen parte del ciclo hidrológico, la presente metodología propone la densidad mínima como uno de los criterios para la ubicación de estaciones meteorológicas en zonas urbanas.

El proceso de ubicación de los puntos de monitoreo meteorológico urbano deberá ser un trabajo muy cuidadoso, esto en razón a que la distribución

debe hacerse de manera homogénea y guardando estrictamente el parámetro de densidad recomendado, por tal razón se solicita utilizar los siguientes insumos:

1. Cartografía IGAC del municipio a escala 1:25000 o menor.
2. Modelo de Elevación Digital MED con resolución de 30 metros o menor.
3. Mapa de manzanas del municipio, este insumo debe ser extraído del mapa de equipamiento urbano que esté aprobado en el POT de la ciudad o municipio en diseño.
4. Mapa de drenajes y cuencas disponible en los POMCAS a escala máxima de 1:25000.
5. Imagen satelital u Ortofoto del municipio a escala 1:2000 o mayor con muy buena resolución y con tiempo de toma de la imagen no mayor a 10 años, esto con el propósito de identificar de la mejor manera los predios en los cuales se ubicarán los puntos de monitoreo.

La conjugación de los anteriores insumos permitirá construir un mapa temático denominado “*Mapa de densidad mínima meteorológica en zonas urbanas*”.

Construido el mapa anteriormente citado, se recomienda como criterio de selección establecer los puntos de monitoreo en áreas urbanas con densidad igual a 10 km², para hacer un mejor seguimiento de las variables atmosféricas del ciclo hidrológico e identificar mejor la distribución espacial de la lluvia y la cantidad de la misma.

Al interior de las ciudades y debido a la alta densidad poblacional se presentan cambios significativos de la magnitud y espacialidad de la lluvia, en donde esta variable cambia en tramos o distancias muy cortas. Este criterio es útil si en la zona urbana no existen gradientes altitudinales considerables, es decir, si no existen variaciones en las condiciones climáticas muy fuertes dentro de la ciudad, ya que de lo contrario este criterio debe combinarse con el siguiente. Adicionalmente, se debe tener en cuenta:

- Revisar la existencia de predios públicos o predios privados que no se encuentren abandonados. Esto permitirá que se realice una revisión permanente a la estación para evitar su vandalización y mantenimiento.

- Revisar la disponibilidad del propietario del predio para aceptar la ubicación de la estación al interior de su predio y el cuidado físico de la estación.

5.1.1.1.4 Diferencia altitudinal

Teniendo en cuenta que gran parte de la topografía de Colombia se caracteriza por su sistema montañoso y a su vez gran parte de las ciudades del país se encuentran enclavadas en este sistema, generando que muchos municipios presenten una variada topografía la cual puede ir de plana a montañosa o viceversa, la anterior condición lleva a proponer un parámetro más para el diseño meteorológico, en donde otra forma de ubicación de los equipos de medición atmosférica es en relación con el gradiente altitudinal de mesoescala. Lo anterior, teniendo en cuenta que las variables atmosféricas lluvia y temperatura varían en función de la altura según la OMM (1989), presentándose microclimas acentuados de tal manera que la espacialidad de la lluvia se muestre a diferentes escalas de altura.

Para la ubicación de las estaciones en función del gradiente altitudinal, se utilizarán insumos topográficos los cuales se describen a continuación:

1. Cartografía IGAC de la zona rural más próxima al municipio en diseño.
2. Cartografía de la red de drenajes y cuencas disponible en los POMCAS a escala máxima de 1:25000.
3. Curvas topográficas de nivel que se puedan generar a partir de un Modelo de Elevación Digital MED de 30 metros o menor, para ello se podrán utilizar las herramientas SIG y el software de mapeo de superficies y contornos en 3D Surfer.

Una vez se tengan los anteriores insumos, se procederá a construir un mapa temático, el cual se denominará “*Mapa de diferencia altitudinal para zonas rurales*”, sobre este mapa se ubicarán los puntos de monitoreo a partir de las siguientes recomendaciones:

- a. Ubicar puntos de monitoreo meteorológico a escalas altitudinales no mayores a 500 metros de altura, esto permitiría hacer un adecuado seguimiento de los microclimas que se desarrollen sobre zona de montaña circundantes a los municipios en donde se presente esta condición.

- b. Ubicar puntos de monitoreo sobre la parte alta de las microcuencas abastecedoras de los acueductos comunitarios o municipales de una región, con el propósito de captar información base para la generación de modelos hidrológicos de oferta hídrica.
- c. Para la zona rural o circundante del municipio con topografía montañosa, los puntos de monitoreo deben quedar en predios privados y cerca de las viviendas de los mismos.

Otro aspecto a tener en cuenta en la ubicación de las estaciones en áreas rurales es que se pueda tener fácil acceso vehicular a los predios seleccionados, para transportar de manera adecuada los equipos y materiales requeridos para la puesta en marcha del punto de monitoreo.

Es de resaltar que en los municipios en donde esta característica no se presenta por ser de topografía plana se propone solo tener en cuenta la metodología de densidad citada anteriormente. De manera, que se integran las metodologías de densidad y gradiente altitudinal solo en municipios o áreas que la topografía muestre como zonas montañosas.

5.1.1.2 Indicadores de operación y mantenimiento de la red a partir de factores físicos

5.1.1.2.1 Acceso fácil y permanente a la estación

Otro de los principales factores de diseño a tener en cuenta en el proceso de implementación y puesta en marcha de la red hidrometeorológica es tener un acceso fácil y permanente al sitio de monitoreo sin que se presente ningún problema para ello. Esto en el entendido de que una buena accesibilidad está ligada a que la zona de monitoreo cuente con senderos buenos y seguros, caminos y vías que, además de facilitar el transporte de material y equipos, garanticen el libre tránsito de personal técnico o vehículos hacia la estación de monitoreo.

Para cumplir con este propósito y poder visualizar esta accesibilidad, se plantea tener en cuenta la representación matemática propuesta por (Bastidas Tulcán, 2015), la cual ilustra y valora la accesibilidad, en función de las

distancias de vías con la red hídrica, penalizando las dificultades de acceso a la estación por la fuerte pendiente en la zona, para ello utilizó la siguiente ecuación:

$$Y_{2j} = \frac{1}{d} * \beta$$

Ecuación (1)

Donde:

Y_{2j}: Factor de accesibilidad al punto de cierre de la microcuenca j (1/m)

d: Distancia entre la ubicación de la estación y la vía más cercana (m)

β: Corrección por pendiente (0,5 para pendientes mayores al 20% y 1 para pendientes menores a 19%)

Cuando la distancia (d) sea equivalente a cero, la elección de esta estación de monitoreo es preponderante sobre cualquier otra.

Para el cálculo de los factores a utilizar en la aplicación de la ecuación propuesta, se tendrán en cuenta los mapas temáticos de vías, drenajes y ubicación de estaciones, ya que este parámetro de diseño está en función de la ubicación final o parcial del sistema meteorológico diseñado, esto en razón a que el mismo mostrará con más detalles los puntos a tener en cuenta en la aplicación de este parámetro.

5.1.1.2.2 Seguridad de los equipos

Uno de los principales retos y preocupaciones de los organismos ambientales del orden regional, nacional y entidades municipales que captan información hidroclimatológica e implementan redes de monitoreo es la seguridad de los equipos a instalar, esto en razón a que el vandalismo y el hurto de los equipos de monitoreo hace que se fracase con la implementación de los programas que buscan capturar información importante para el conocimiento hidrometeorológico de una región.

Garantizar la seguridad de los equipos es una tarea muy difícil, pero al mismo tiempo muy importante al momento de diseñar una red de monitoreo, debido a que la pérdida de un equipo o el daño del mismo por motivos diferentes a su gestión, ocasiona interrupciones en la captura de datos y con ello

la pérdida de la inversión realizada y el fin para el cual se establecen estos equipos.

Conscientes de este problema, y en aras de garantizar la vigilancia permanente de los equipos a instalar, se plantea ubicar las estaciones en predios públicos o privados que cuenten con vigilancia, ya que esto ayudará y garantizará tener una red estable en el tiempo y libre de ser objeto de hurto o vandalismo. Se sabe que esta tarea es difícil, por lo que, además, se hace la recomendación a las entidades del orden municipal, regional y gubernamental de generar conciencia y empoderamiento de las redes de monitoreo que se implementen. El desconocimiento que se tiene del propósito de estos equipos es generalizado, con respecto a la seguridad de las personas en términos naturales y la clase de información que se capta, lo cual ayuda a que se presente vandalismo y hurto. Al brindar conocimiento a las comunidades y generar empoderamiento de estos sistemas se pueden hacer proyectos más exitosos, es de allí que se recomienda, una vez implementada la red, hacer campañas de conocimiento y aceptación de la red, esto en razón a que la comunidad informada será la principal fuente de protección a los equipos instalados.

5.1.2 Factores antrópicos

5.1.2.1 Indicadores de oferta a partir de factores antrópicos

5.1.2.1.1 Puntos de transvase

La falta de agua superficial para atender la alta demanda de agua en algunos sectores de producción, como el agrícola, hace que se tengan que derivar grandes volúmenes de una corriente hacia otra, generando con ello el aumento de oferta hídrica de manera antrópica. Para la identificación de estos puntos, se recomienda:

1. Revisar la información existente en la Autoridad Ambiental del Departamento sobre los transvases de agua desde o hacia las cuencas vecinas, con el propósito de realizar los balances hídricos apropiados y evaluar si se aumenta o disminuye la oferta hídrica de la zona de estudio; esta información deberá estar relacionada a caudales, planos de sistema de irrigación y obras de captación.

2. Realizar visitas técnicas de reconocimiento en campo, en las cuales se identifiquen y referencien con la toma de puntos GPS, la entrada y salida del agua captada. En el caso de ser posible se debe levantar el trazado de la infraestructura existente (canales o acequias), con el propósito de graficar el recorrido del agua transvasada en la cartografía a construir.
3. Obtener una imagen Satelital u Ortofoto del área de estudio, con un tiempo de toma no mayor a 10 años, ya que es importante identificar la mayor cantidad de elementos topográficos y de conducción de agua, los cuales aportan gran información al diseño de la red.
4. Con el propósito de hacer la identificación gráfica de los puntos y sistemas de transvase, se debe construir un mapa temático de transvases, para ello se recomienda utilizar la cartografía disponible a escala 1:25000 y un Modelo de Elevación Digital MED de 30 metros o menor.

Una vez construido el mapa temático denominado “*Mapa temático de transvases*”, se debe ubicar los puntos de monitoreo al interior del sistema de transvase, para ello se recomienda que los equipos estén ubicados en los siguientes puntos:

1. A la entrada del sistema de derivación, con propósitos de conocer la cantidad de agua captada.
2. A lo largo del sistema de conducción del agua, este punto es importante implementarlo en aquellos sectores en donde se identifiquen entradas de agua lateral por descargas de agua residual o lluvia.
3. A la salida del agua transvasada, este punto tiene la finalidad de cuantificar la cantidad real del agua trasvasada.
4. Aguas abajo del punto del transvase o descarga; este punto tiene como propósito el cuantificar la cantidad de agua trasvasada, el caudal existente antes del punto de descarga y la totalidad del agua ofertada a partir del punto de transvase incluyendo el caudal ambiental que se determine en este punto de monitoreo.
5. Para el caso de transvases con propósitos de generación de energía, es importante que el monitoreo se realice a la entrada del transvase en la presa y a la salida de la descarga del generador eléctrico.

5.1.2.1.2 Puntos de vertimientos o retornos de flujo

Las empresas de acueducto y alcantarillado existentes en el país y las Autoridades Ambientales de cada región, encargadas de la administración del recurso hídrico, en cumplimiento de sus funciones, cuentan con un detallado inventario de los puntos de vertimiento de agua residual y posibles puntos de retorno de agua a las cuencas.

Gran parte de los vertimientos que se descargan a las fuentes hídricas de tipo urbano al interior de una ciudad, corresponden a vertimientos de índole doméstico, los cuales no poseen ningún tipo de tratamiento. La alta carga contaminante y la baja dilución de algunos cuerpos de agua por el poco flujo superficial en épocas de verano especialmente, hacen que se genere una alta contaminación hídrica, razón por la cual, monitorear estas zonas de mezcla es de vital importancia en las políticas de saneamiento hídrico de una ciudad, por tanto, estos puntos deben ser identificados para controlar la calidad y cantidad de agua vertida. Adicionalmente, los vertimientos o flujos de retorno hacen parte de la oferta en el punto donde son descargados a las fuentes naturales, por tanto y aunque la calidad del agua no sea apropiada, deben tenerse en cuenta en el balance hídrico de las cuencas, de manera que se puedan cuantificar de manera apropiada los flujos en todos los puntos de la cuenca. En este trabajo los flujos de retorno se tienen en cuenta solamente en lo referente a las cantidades y el aprovechamiento del agua retornada puede de utilidad en los usos diferentes al de consumo humano.

Para la ubicación espacial de los puntos de vertimiento de agua residual o de retorno, se propone utilizar los siguientes insumos:

1. Caracterización geográfica de los puntos de vertimiento que se encuentre disponible en los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV para cada municipio o en el programa de metas descontaminantes de la ciudad.
2. Trazado de la red de colectores principales y ubicación de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual PTAR.
3. Informes técnicos de seguimiento y monitoreo a los vertimientos urbanos generados por la Autoridad Ambiental de la región, de estos informes es

importante rescatar caudales y ubicación real de los puntos de vertimientos.

4. Documento técnico de metas de descontaminación hídrica en donde se evidencien los puntos de monitoreo y muestreo de vertimientos para el cálculo de los diferentes índices de calidad e índices de contaminación de agua en el marco de los programas de metas de descontaminación.

Una vez analizada la información anteriormente mencionada, se procede a la construcción de un mapa temático denominado “*Mapa de puntos de vertimientos o de retorno de flujos*”, este insumo permitirá ubicar los puntos de monitoreo teniendo en cuenta los caudales vertidos en épocas de verano mayores o iguales a 50 l/s, valor que se considera en razón a que el mismo corresponde a caudales considerables si se comparan con los caudales drenados por los cauces urbanos en épocas de baja pluviosidad. La ubicación final de los puntos de monitoreo en relación con el vertimiento que cumpla este criterio de selección será:

1. A la salida de las estructuras de descarga de agua tratada de una Planta de Tratamiento de Agua Residual PTAR
2. Antes y después de la zona de mezcla del vertimiento con el cuerpo de agua receptor, esto con el propósito de conocer los caudales vertidos, los caudales diluidos o en dilución y los caudales transitados antes del punto de vertimiento, según figura 5-2; en el evento en el que exista más de un vertimiento seguido a lo largo de una corriente, se instalarán los puntos de monitoreo antes y después de los puntos de vertimiento referenciados.

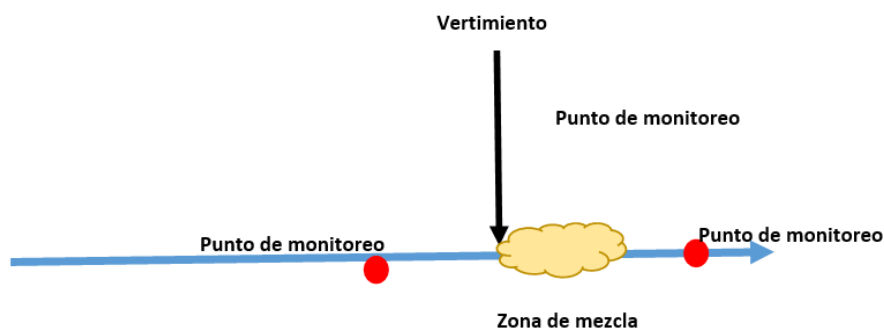


Figura 5-2 Esquema de instrumentación puntos de vertimientos.
Fuente: Propia.

3. Con el objetivo de ayudar en el seguimiento de las metas descontaminantes planteadas por la Autoridad de la región se tendrán en cuenta los puntos de monitoreo establecidos para el seguimiento de las metas de descontaminación hídrica.

5.1.2.2 Indicadores de demanda a partir de factores antrópicos

5.1.2.2.1 Puntos de captación de agua para otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico etc..)

Una parte de la economía del país se basa en la producción agrícola, la cual tiene como soporte el consumo de agua. Las grandes cantidades de agua que se usan para el desarrollo de proyectos agrícolas y el uso permanente de la misma han generado una alta presión hídrica en Colombia, con un consumo anual de 16.067 m³/año según datos de la Evaluación Nacional del Agua (IDEAM, 2018a). Este sector es el primero en el consumo y el de mayor porcentaje de huella hídrica azul con un 52 %. La necesidad de monitorear el agua captada para este sector y otros, es de gran importancia, ya que esto es fundamental para la cuantificación de la demanda hídrica en el país y en especial en aquellas regiones en donde el establecimiento de grandes áreas de cultivo que requieren agua sea de interés económico y permanente.

Para la implementación de estos puntos de monitoreo es importante utilizar los siguientes insumos:

1. Censo de Usuarios del Agua, disponible en las Autoridades Ambientales de la región o en el Sistema Integral del Recurso Hídrico SIRH, elaborado por el IDEAM para integrar y estandarizar el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilitan la gestión integral del recurso hídrico. Es importante aclarar que la información más relevante a tener en cuenta de estos censos es la siguiente:
 - Coordenadas de ubicación de las bocatomas
 - Caudal Asignado

- Nombre de la fuente de abastecimiento
 - Uso del agua
2. Visitas técnicas de reconocimiento en campo, en las cuales se identifiquen y referencien con la toma de puntos GPS, la captación de agua por parte del concesionario. En esta visita se debe identificar el tipo de estructura de captación y si la misma tiene obras de control y devolución de agua a la fuente de captación, esto con el propósito de identificar el sitio más apto para la ubicación del equipo de medición.
 3. Levantamiento del trazado de la infraestructura de transporte de agua (canales o acequias), con el propósito de graficar el recorrido del agua captada e identificar estructuras de partición o derivación. De no ser posible el levantamiento de información en campo correspondiente al trazado de los canales, se debe solicitar este trazado a la Autoridad Ambiental o al propietario de la infraestructura. De continuar la falta de información, se recomienda realizar el trazado de la infraestructura por medio de imágenes satelitales u Ortofoto a escalas que permitan identificar el trazado del sistema de conducción, para luego ser corroborado en campo. La verificación de la estrategia antes mencionada se realizará con reuniones técnicas en donde participen funcionarios de la Autoridad Ambiental y los propietarios del sistema.
 4. Graficar los puntos de captación y sistemas de conducción de agua, para con ello construir un mapa temático denominado “mapa de puntos de captación de agua para sectores diferentes al consumo humano”.
 5. Para la ubicación espacial de la infraestructura levantada, se recomienda utilizar la cartografía de drenajes de agua disponible en los POMCAS, a escala 1:25000, acompañado de un modelo de elevación digital de buena resolución disponible.

Finalizada la etapa de caracterización física del mapa temático propuesto, se debe comenzar a realizar la ubicación de los puntos de monitoreo, para ello se recomienda que las estaciones estén ubicadas en los siguientes puntos:

- En la obra de captación de agua y justamente después de la estructura de pretratamiento (desarenador) en el caso de existir; de no existir esta

estructura, se ubicará en la zona de derivación de agua (canal o tubería de aducción) (ver Figura 5-3).

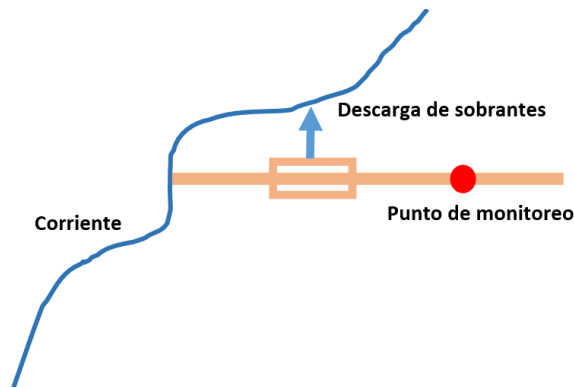


Figura 5-3 Esquema de instrumentación Puntos de captación de agua para actividades humanas no agua potable - Otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico etc...) Fuente: Propia.

- En lo que respecta a sistemas de derivación de agua para sistemas eléctricos de pequeña generación como son las PCH, se debe instrumentar, ver Figura 5-4:
 - a. La corriente hídrica antes del punto de captación.
 - b. La descarga de sobrantes de agua,
 - c. El tramo de la corriente afectada por la derivación de agua,
 - d. El sistema de aducción
 - f. La corriente hídrica después del punto de descarga del agua turbinada

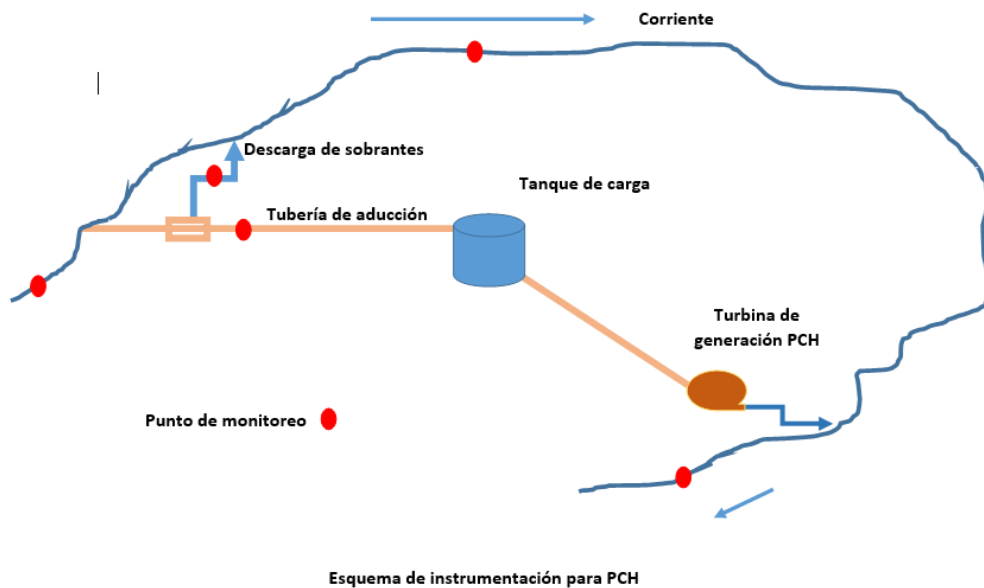


Figura 5-4 Esquema de instrumentación Puntos de captación para PCH Fuente: Propia.

5.1.2.2.2 Puntos de captación para consumo humano

El desconocimiento de la cantidad de agua captada en relación con el número de usuarios adscritos a un acueducto es algo preocupante en términos de la demanda real y capacidad técnica de las empresas prestadoras del servicio para atender a sus usuarios y controlar sus sistemas de acueducto. Lo anterior se cita, en el entendido que, en Colombia, gran parte de los usuarios conectados a una red de distribución superan la cantidad de agua derivada, lo cual obliga a que las empresas prestadoras del servicio tengan que hacer una mayor derivación de agua concesionada, generando con ello en algunos casos agotamiento del caudal existente en los cuerpos de agua en los cuales se ubican estos sistemas de captación.

El monitoreo de los puntos de captación de agua para consumo humano es una de las más importantes acciones que deben implementar las autoridades ambientales y/o los planificadores municipales, en razón a que con ello se puede adelantar una buena gestión y seguimiento de la demanda que genera el día a día de los usuarios de un acueducto.

El proceso de aprestamiento de información para la ubicación de los puntos de monitoreo es muy similar al realizado en la temática de puntos de captación de agua para otros sectores, en donde se proponen los siguientes insumos:

1. Censo de Usuarios del Agua, disponible en las Autoridades Ambientales de la región o en el Sistema Integral del Recurso Hídrico SIRH, de donde la información más relevante a tener en cuenta es la siguiente:
 - Coordenadas de ubicación de la bocatoma
 - Caudal asignado
 - Nombre de la fuente de abastecimiento
 - Nombre del usuario
2. Visitas técnicas de reconocimiento en campo de los puntos de captación y obras de pretratamiento las que se deben identificar y referenciar con la toma de puntos GPS. En estas visitas se debe identificar el tipo de estructura de captación y si la misma tiene obras de control y devolución de agua a la

fuelle de captación.

3. Graficar los puntos de captación de agua, para con ello construir un mapa temático denominado “*mapa de puntos de captación de agua para consumo humano*”.
4. Para la ubicación espacial de la infraestructura levantada, se recomienda utilizar la cartografía de drenajes de agua disponible en los POMCAS, a escala 1:25000, acompañada de un modelo de elevación digital con la mejor resolución disponible.

Realizada la etapa de caracterización física del mapa temático propuesto, se debe comenzar la ubicación de los puntos de monitoreo, para ello se recomienda que las estaciones deben estar ubicadas en los siguientes puntos:

- a) En la obra de captación de agua y justamente después de la estructura de pretratamiento (desarenador) en el caso de existir, se ubicará en la zona de derivación de agua (canal o tubería de aducción) (ver figura 5-5).

Por último, se recomienda la instalación de estos puntos sobre todas las obras de captación de agua para consumo humano y en el cierre de las cuencas en donde se haga la extracción de agua para este uso.

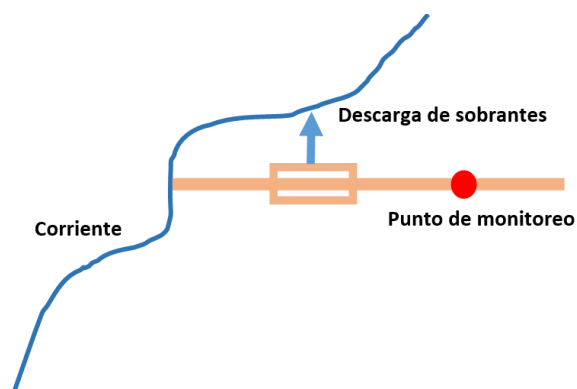


Figura 5-5 Esquema de instrumentación *Puntos de captación para consumo humano*. Fuente: Propia.

5.1.3 Factores históricos

5.1.3.1 Indicadores de Oferta a partir de las estaciones existentes

La historia climática e hidrométrica de una región es muy importante al momento de diseñar e implementar redes de monitoreo, ya que series más extensas permitirán obtener mayor y mejor cantidad de información. Por tal razón, se debe dar preferencia a aquellas estaciones que llevan cierto tiempo en una localización específica, antes que implementar una nueva en una ubicación cercana. Sobre la cantidad de estaciones existentes, se debe hacer una evaluación inicial y directa de calidad de los datos capturados, como también de la forma de captura y la veracidad de los datos existentes. Este ejercicio es importante al momento de establecer redundancia de información o ausencia de la misma por diferentes causas, las cuales pueden deberse a falencias técnicas o humanas.

La armonización de los puntos de monitoreo existentes con los puntos a diseñar aporta una gran herramienta en la selección de los sitios finales, ya que esto permitirá modernizar o potencializar las estaciones actuales, con el propósito de no perder las series de tiempo ya captadas y así fortalecer la red en construcción. Por lo anterior, se recomienda integrar a los diseños de redes hidrometeorológicas los puntos de monitoreo existentes, con el propósito de dar continuidad a las series de datos y revisar su información con fines de reubicación y mejora de los sensores de medición.

5.2 Transposición de mapas

Realizada la construcción de los mapas temáticos propuestos para cada indicador y con el propósito de identificar puntos comunes para con ello adelantar la ubicación final de todos sitios de monitoreo, se procede a efectuar la superposición de todos los mapas temáticos; este ejercicio permitirá observar sitios de monitoreo reiterativos, bien sea por cercanía o por ubicación en el mismo punto de varias temáticas.

La selección final del punto de monitoreo estará enmarcada en dos aspectos a tener en cuenta:

1. La reiteración de puntos comunes, este aspecto permitirá ubicar un equipo de

monitoreo con diferentes propósitos.

2. Los indicadores de operación y mantenimiento de la red, a partir de factores físicos; la seguridad de los equipos y ubicación de los mismos con respecto a un acceso fácil y permanente es pieza fundamental para la elección definitiva del punto final de monitoreo.

6 DISEÑO DE LA RED HIDROMETEROLÓGICA PARA LA CIUDAD DE IBAGUÉ

6.1 Revisión de las estaciones existentes

El área urbana del municipio de Ibagué cuenta con dos estaciones pluviométricas de propiedad del IDEAM, ubicadas en la parte media y baja del perímetro urbano, en la cuenca del Río Totare. Estos dos puntos de monitoreo han venido capturando la información desde el año 1994 y 1997 respectivamente, como se observa en la tabla 6-1. Según estas dos estaciones, durante gran parte del año hidrológico el área urbana de Ibagué registra una temperatura que oscila entre los 17 °C a 30 °C; esto en temporadas normales, rara vez estas temperaturas se ubican por debajo de los 16 °C o por encima de los 31 °C. Los registros de precipitación indican que los meses más secos son junio, julio y agosto, con por lo menos 10 diez días de lluvia al mes, lo cual hace que este trimestre presente un índice de escasez de lluvia muy alto para las actividades de producción agrícola y captación de agua para la ciudad de Ibagué.

Sobre la parte baja del municipio y por fuera del perímetro urbano se ubica la estación de tipo sinóptica secundaria Aeropuerto perales, de propiedad del IDEAM, operada por la Aeronáutica Civil de Colombia. Esta estación tiene como propósito principal, brindar información meteorológica al aeropuerto Perales de la ciudad de Ibagué y opera desde 1971, según la figura 2-8.

Tabla 6-1 Estaciones ubicadas en el municipio de Ibagué.

Nombre estación	Código IDEAM	Registro de datos	Tipo
Interlaken	21210240	(1994 - 2017)	Pluviométrica
Cruz Roja	21210230	(1997 - 2017)	Pluviométrica
Aeropuerto Perales	21245040	(1971 - 2015)	Sinóptica secundaria

Fuente: **construida con información IDEAM**

Es de resaltar que la lectura de datos de las estaciones Interlaken y Cruz Roja se realiza cada 12 horas por ser de tipo pluviométricas, mientras que en la estación Aeropuerto Perales los datos son captados y reportados cada hora. En el recorrido realizado a las estaciones objeto de la evaluación, se pudo evidenciar que las mismas muestran las siguientes observaciones:

- ✓ La estación Interlaken (21210240), está ubicada en predios de la empresa de gaseosas de POSTOBÓN, fue reubicada el 16 de diciembre de 2016, al jardín botánico de Ibagué en coordenadas $4^{\circ}27'10.40''$; N; $75^{\circ}13'23.60''$ O, costado noroccidental de la ciudad, sitio en el cual actualmente sigue funcionando. Al momento de la visita y como se observa en la figura 6-1, el pluviómetro instalado era tipo convencional, a una altura de 0.90 metros del suelo. En este lugar la vegetación crece de manera rápida, lo que ha hecho que en algunos momentos las especies invasivas de la zona (maleza), envuelvan el equipo de medición. La operación y toma de lectura de este equipo está a cargo de una señora residente en la zona, quien visita el pluviómetro en horas específicas de la mañana y la tarde. Como se puede notar en la figura 7-1, no existe un cerramiento o jardín para este equipo y su desnivel es notorio, lo cual hace que en algunos momentos la lluvia no pueda ser bien capturada.



Figura 6-1 Estación pluviométrica Interlaken (21210240), Jardín Botánico de Ibagué. Fuente: Propia tomada a partir de vistas de campo.

- ✓ La estación Cruz Roja (21210230), fue instalada en el año 1997, en la zona industrial de Ibagué (barrio El Papayo), en predios de la Cruz Roja de Colombia en coordenadas $4^{\circ}25'46.86''$ N; $75^{\circ}12'27.33''$ O. Al igual que la estación Interlaken, esta estación fue reubicada el 01 de junio de 2010, al predio en coordenadas $4^{\circ}26'10.00''$ N; $75^{\circ}12'30.80''$ O, (barrio Villamarlen - parte alta). En la actualidad, esta estación está compuesta por un pluviómetro convencional, ubicado en el tercer piso del costado norte del edificio actual del IDEAM y sobre una cercha metálica de 2,5 metros de longitud, ubicación

que no cumple los protocolos establecidos por la OMM para la captura y toma información pluviométrica, ya que la ubicación de este tipo de equipos de medición tan cerca de las estructuras locativas del edificio, hace que la lectura tomada esté influenciada. La periodicidad en la lectura de los datos, es diaria por parte del vigilante del edificio, según los datos recogidos en la visita realizada al punto de monitoreo. Analizado el sitio en donde se ubica el equipo de medición climatológica, se puede evidenciar que el mismo no registra las lluvias que puedan caer en dirección sur a norte, ya que las culatas de la cubierta del edificio interfieren con la caída de agua y por consiguiente con la medición que se realice (ver figura 6-2).



Figura 6-2 Estación climatológica Cruz Roja 21210230 B/ Villamarlen.

Fuente: Elaboración propia construida a partir de vistas de campo.

- ✓ La Estación Aeropuerto Perales (21245040) toma este nombre por estar ubicada al interior del Aeropuerto Perales de la Ciudad de Ibagué; este punto de monitoreo es el más completo y estable en cuanto a la serie de datos captada desde su instalación en el año 1971. Con más de 45 años de operación fue uno de los primeros equipos de medición meteorológicos instalados en la ciudad, en predios de la Aeronáutica Civil de Colombia. Realiza mediciones horarias de temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, vientos y precipitación; la información captada por estos equipos permite principalmente atender las necesidades de aeronavegación del aeropuerto. De la visita realizada se pudo evidenciar la existencia de los siguientes equipos: Pluviómetro, pluviógrafo, barómetro de mercurio, psicrómetro, tanque evaporímetro; al momento de la visita, también se pudo observar que esta estación carece de un mantenimiento permanente, tal como se observa en la figura 6-3, y por ello estos equipos están expuestos a la invasión de

malezas. Además de lo anterior y teniendo en cuenta que el aeropuerto viene siendo remodelado, la ubicación de los equipos de meteorología ha sido influenciada por la construcción del nuevo módulo de esta terminal aérea, el cual fue terminado y puesto en funcionamiento en el año 2018.



Figura 6-3 Estación climatológica Aeropuerto Peralés 21210230

Fuente: Elaboración propia construida a partir de vistas de campo.

En conclusión, las estaciones presentan falencias en lo que respecta a su mantenimiento, toma de lectura y ubicación. El escaso número de personal técnico que realiza este tipo de actividades hace que se presenten fallas de lectura, captación de datos y que no se cumplan los protocolos exigidos por la OMM y el mismo IDEAM.

Realizado el ejercicio de análisis exploratorio de datos para cada una de las series existentes, se obtuvieron los estadísticos básicos (ver tabla 6-2).

Tabla 6-2 Análisis estadístico descriptivo de precipitación media mensual

Estadístico	Peralés Aeropuerto 21245040	Interlaken 21210240	Cruz Roja 21210230
Máximo (mm)	419,00	584,50	494,00
Mínimo (mm)	0,10	0,00	0,00
Media	104,72	186,58	178,09
Mediana	122,65	181,30	166,50
Varianza	7854,45	11937,97	11977,34
Desviación estándar	88,70	109,49	109,70
Curtosis	0,21	0,52	-0,06
Asimetría	0,79	0,69	0,57
% de datos faltantes	1,07	5,00	17,21

Fuente: construida con información IDEAM

Las series de datos analizadas presentan porcentajes de datos faltantes del 1.07 % al 17.21%, siendo este último el más alto; la ausencia tan amplia de

información para las estaciones Interlaken y Cruz Roja obedece más a los procesos de captura por falta de personal y reubicación de los equipos que a otros problemas de carácter técnico, según personal del IDEAM.

Los valores máximos y mínimos de precipitación media mensual de las series de datos analizadas para cada una de las estaciones, mostró que la estación Interlaken registró la máxima precipitación en comparación con la registrada por la estación Arp. Perales; de igual manera que los valores medios. Con lo anterior se deja evidenciado que la precipitación media de la parte baja del municipio de Ibagué, donde se ubica el aeropuerto Perales, es menor que la de la parte alta de la ciudad, donde se ubica la estación Interlaken.

En la gráfica 6-4 se observan las series de datos de cada una de las estaciones analizadas, mostrándose que la estación Arp. Perales posee una serie de tiempo más extensa iniciando desde el año 1971. Por otro lado, se observa que los mayores picos de lluvia se registraron en los años 2010 al 2012, por la estación Interlaken, los que están relacionados con la incidencia del fenómeno La Niña lo que a su vez generó inundaciones y deslizamientos, según lo registrado por el IDEAM, en el documento *“Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico – año 2014”* (Montealegre Bocanegra, 2014).

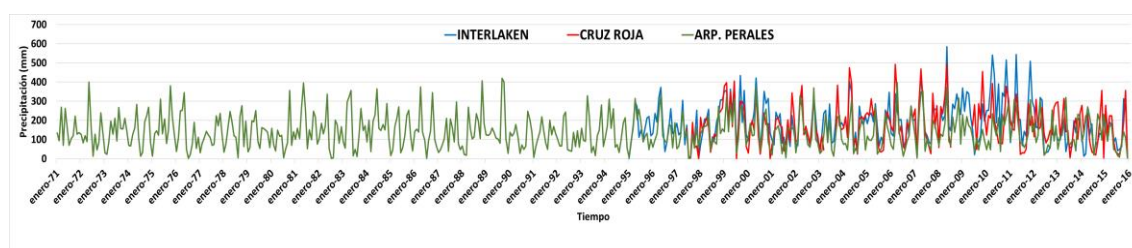


Figura 6-4 Variación de precipitación mensual interanual estaciones IDEAM.
Fuente: construida con información IDEAM.

La Figura 6-5 muestra la variabilidad intraanual de la precipitación en la que se observa un comportamiento bimodal de la precipitación media a lo largo del año en todas las tres estaciones, con dos periodos menos lluviosos y dos periodos de altas precipitaciones. Los periodos menos lluviosos se presentan en los meses de diciembre-febrero y junio-agosto; mientras que los periodos lluviosos (máximas precipitaciones) se observan entre marzo-mayo, y

septiembre-noviembre con un pico en el mes de abril (mayo en aeropuerto Perales) para la primera temporada y en octubre o noviembre para la segunda temporada de lluvias.

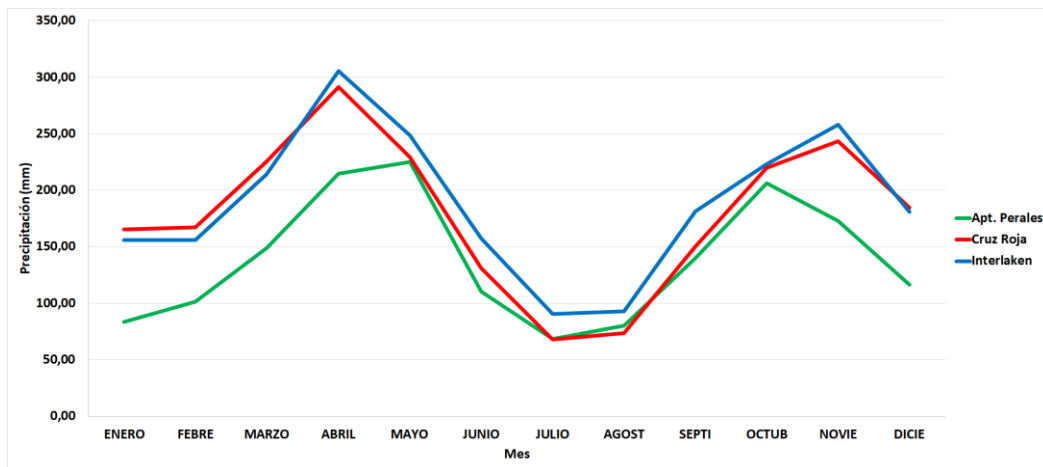


Figura 6-5 Variación de precipitación mensual anual estaciones IDEAM.
Fuente: construida con información IDEAM.

El análisis de consistencia realizado mediante las gráficas de doble masa (ver figura 6-6), muestra que la estación Apt. Perales presenta un buen ajuste, mostrando una línea bien definida y su coeficiente de determinación R^2 muy próximo a 1, 0.9998; en cuanto a las estaciones Cruz Roja e Interlaken, las gráficas muestran en algunos tramos un cambio muy leve con respecto a su comportamiento, sin que ello haga que el coeficiente de correlación R^2 se aleje considerablemente de 1; dando un valor de 0.9968 y 0.9972, respectivamente, lo cual indica que la información capturada hasta el momento por las estaciones existentes es aceptable, aunque los sistemas utilizados para tal fin no sean los más confiables por su ubicación y tipo.

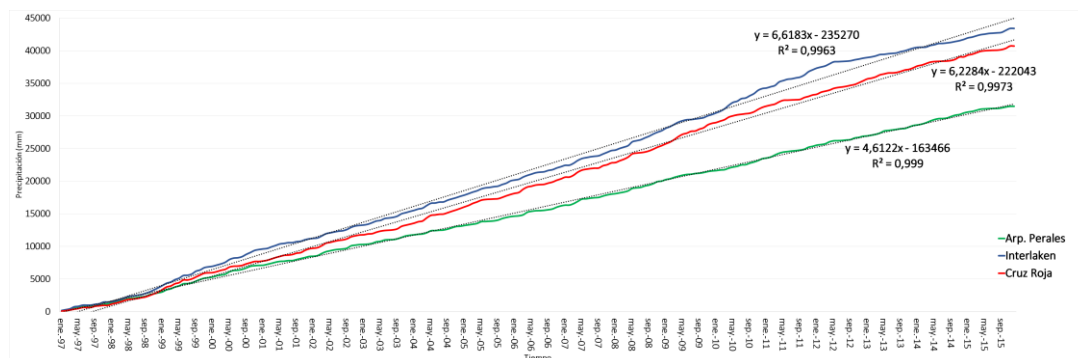


Figura 6-6 Curva de doble masa estaciones IDEAM.
Fuente: construida con información IDEAM

6.2 Factores físicos

6.2.1 Indicadores de Oferta hídrica

El municipio de Ibagué presenta una oferta hídrica muy interesante, ya que está ubicado en la confluencia de las sub-zonas hidrográficas de los ríos Coello, Totare y Opio; además de lo anterior, la ciudad en los últimos 20 años presenta una precipitación promedio anual de 1914 mm y el aporte permanente de aguas residuales a los cauces de mayor demanda hídrica, lo que la constituye como un atractivo hídrico para los diferentes sectores que en ella existen.

Para la identificación de los indicadores de oferta para el municipio de Ibagué con propósitos de establecer el diseño de la red hidrometeorológica se generaron los diferentes mapas temáticos, siguiendo cada una de las recomendaciones plantadas en la metodología.

6.2.1.1 Red de drenaje

Para la identificación de la red de drenaje del municipio de Ibagué, se tomó como insumo principal el mapa de drenajes de las Sub Zonas Hidrográficas Opia, Coello y Totare a escala 1:25000, extraído de los POMCAS de cada una de estas corrientes hídricas y el Modelo de Elevación Digital MED con resolución de 30 metros, para con ello generar el mapa temático de drenajes superficiales. La red hídrica mostrada a partir de la unión de las tres sub-zonas hidrográficas, permitió generar un mapa de hasta seis (6) ordenes de flujo. Una vez generado el mapa temático, se procedió a seleccionar los drenajes a tener en cuenta para la colocación de los puntos de monitoreo. El procedimiento de identificación de drenajes se basó en establecer un polígono de trabajo cuya área es de 231,66 km².

Dentro del proceso de ordenación de los drenajes a tener en cuenta en el diseño se identificó que la red hídrica en su gran mayoría está conformada por cauces entre uno y dos órdenes, como también se evidenciaron algunos tramos de cauce con órdenes de tres, cuatro y cinco. El alto número de órdenes de baja numeración se debe a que en la periferia de la ciudad y al interior de la misma, nace un sinnúmero de drenajes, afluentes directos de las corrientes de los ríos Chipalo, Combeima y Opia y de los cuales se supe de agua la ciudad de Ibagué para atender todas sus necesidades hídricas.

En total, se evidenciaron 271 drenajes al interior del polígono de trabajo, en donde la orden uno posee la mayor cantidad de corrientes, doscientos setenta y un (271) drenajes, seguidamente la orden dos con ciento treinta (130) y posteriormente la orden tres, cuatro y cinco con valores menores, los cuales se muestran en la tabla 6-3.

Tabla 6-3 Ordenes de flujo.

Fuente: elaboración propia

Orden	No. de Corrientes	%
1	271	49,27
2	130	23,64
3	89	16,18
4	21	3,82
5	39	7,09
6	0	0,00

Para la ubicación de los puntos de monitoreo se tuvieron en cuenta los drenajes mayores o iguales al orden número dos (2), en donde primó la instrumentación en los cierres de las cuencas abastecedoras de acueductos comunitarios y los puntos de interés que ha establecido la Autoridad Ambiental del Tolima CORTOLIMA, los cuales en su gran mayoría se ubican en las corrientes de los ríos Combeima y Chipalo.

En la figura 6-7 se observan los puntos de monitoreo propuestos desde esta temática, resaltando que la mayor cantidad de estaciones – diez (10) - se ubicaron sobre el costado norte noroccidental de la ciudad y sobre las cuencas del río Chipalo y Alvarado; esta zona, por su avanzado desarrollo urbanístico, ha venido requiriendo de agua para abastecer el aumento poblacional que se viene presentando; la necesidad de monitorear estos afluentes parte de la alta presión hídrica que actualmente se hace sobre los cuerpos de agua que se ubican sobre este flanco. A diferencia de la zona norte de la ciudad, los costados sur, oriente y occidente presentan un menor requerimiento de monitoreo, con tan solo cuatro (4) estaciones, una (1) sobre el cierre de la quebrada Cay, de donde la empresa de acueducto de Ibagué IBAL abastece al municipio de Ibagué, otra sobre el cauce de la Quebrada El Tejar de donde el acueducto comunitario ACUARICAUTE se abastece y distribuye agua a 9 barrios del costado sur de la ciudad, y las otras dos (2) se ubican sobre las corrientes Combeima y Agua sucia; estos dos últimos puntos obedecen a requerimientos de parte de la Autoridad Ambiental debido a que sobre estas dos corrientes se ubican puntos

de captación de agua para uso agrícola. En total esta temática presenta una propuesta de catorce (14) puntos de monitoreo.

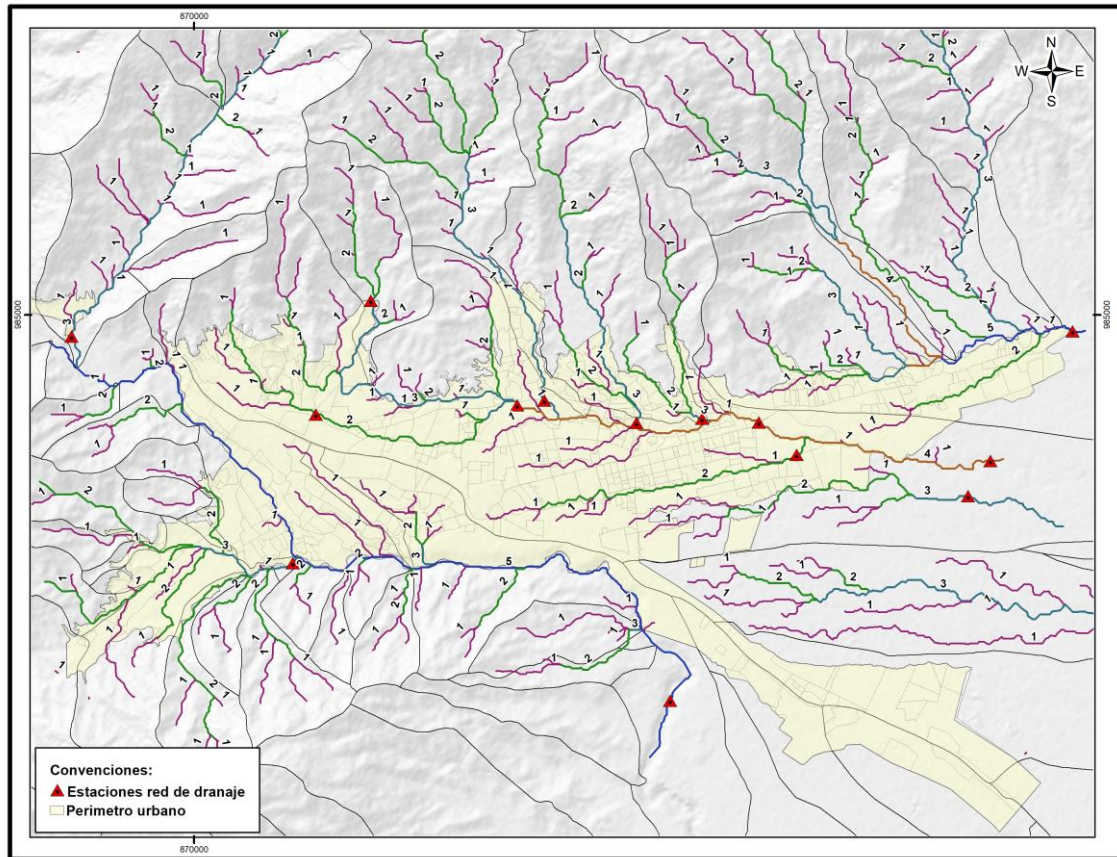


Figura 6-7 Ubicación de los puntos de monitoreo para la temática de drenajes
 Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA

6.2.1.2 Infraestructura física y vial de la ciudad

El trabajo de escogencia de las vías a tener en cuenta se realizó tomando como base el mapa vial del municipio y las visitas de campo a los pasos viales en donde se proponen los puntos de monitoreo. De este trabajo se pudo notar que en el sector norte de la ciudad las vías del municipio atraviesan la mayor cantidad de drenajes (ver figura 6-8), de allí que sea esta la zona en donde se podría ubicar el mayor número de estaciones al utilizar los sistemas viales. En la cuenca del Río Chipalo y sus afluentes se ubicaría probablemente el mayor número de estaciones de monitoreo hidrométrico, nueve (9), mientras que en la cuenca del río Opia dos (2) estaciones y en el río Combeima seis (6). Así las cosas, esta temática aporta al diseño diez y siete (17) puntos de monitoreo.

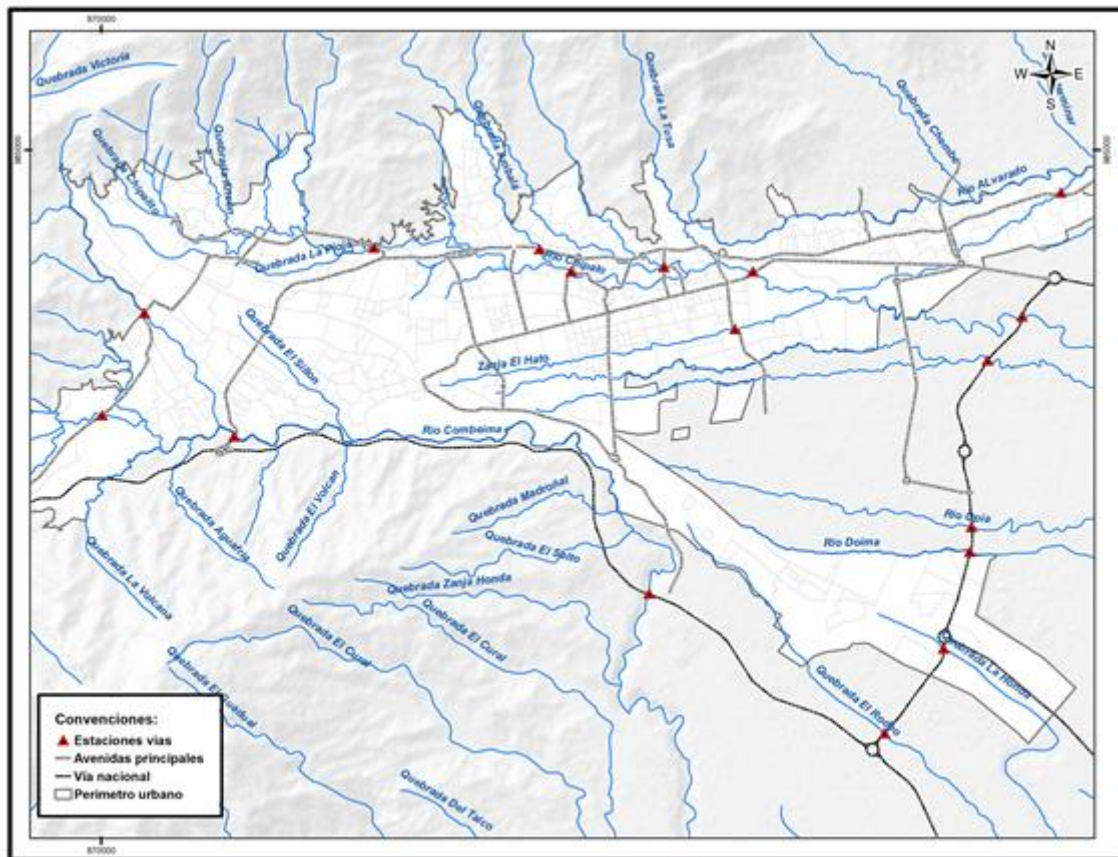


Figura 6-8 Infraestructura física y vial de la ciudad
 Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA

6.2.1.3 Densidad mínima de estaciones de meteorología en zonas urbanas

Se tomó como base la metodología propuesta en el ítem 5.1.1.1.3, en la cual para zonas urbanas se propone una densidad de monitoreo de 10 km², para con ello cubrir gran parte de la ciudad. Para la ubicación de estos puntos de monitoreo se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

1. Los predios seleccionados para la posible colocación de los puntos de monitoreo al interior de la ciudad, son sitios de propiedad de la alcaldía municipal de Ibagué, CORTOLIMA, Ejército Nacional y predios privados no abandonados con aceptación para implementar esta red. Dentro de las características físicas de algunos de estos sitios se tiene que algunos hacen parte del IBAL y en ellos se ubican los tanques de agua de la red del municipio, el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA, el club campestre de Ibagué y el Batallón Jaime Rooke.
2. Otro aspecto muy importante al momento de ubicar los puntos de monitoreo

al interior de la ciudad es la seguridad que puedan brindar los predios seleccionados para tal fin y la disposición de sus propietarios de apoyar el proyecto de implementación y puesta en marcha de la red. Por ello, la mayoría de los puntos ubicados fueron inicialmente situados en predios públicos y en algunos en dónde la comunidad acepta el proyecto.

Teniendo en cuenta los criterios antes mencionados se pudieron ubicar doce (12) puntos de monitoreo meteorológico en el área urbana de la ciudad de Ibagué, los cuales se presentan en la tabla No. 6-4. Con la ubicación de estos puntos de monitoreo, se puede observar en la figura 6-9, que la totalidad del perímetro urbano de la ciudad puede ser monitoreada, especialmente la zona centro en donde según el comportamiento espacial de la lluvia se presentan las tormentas más altas y es donde menos existe información meteorológica, especialmente las variables lluvia y temperatura.

Tabla 6-4 Relación de puntos de monitoreo meteorológico, temática densidad mínima.

Nombre de Estación	Predio	Coordenada X	Coordenada Y
San Jorge	Jardín Botánico San Jorge	872460.07	983767.57
CORTOLIMA	Edificio sede CORTOLIMA	874184.92	982061.15
IBAL	Planta de tratamiento IBAL	869858.71	984240.72
Bocatoma Cay	Bocatoma de agua IBAL	868904.36	985640.21
Club Campestre de Ibagué	Sede club campestre de Ibagué	879750.97	978511.27
Hacienda Argentina	Hacienda Argentina	881695.51	983283.41
Tanque Vergel	Tanque almacenamiento de agua IBAL	875970.45	984891.82
Batallón Rook	Cantor militar Batallón Jaime Rook	869980.71	980784.39
Parque Deportivo	Complejo deportivo de Ibagué	877472.01	981441.35
Tanque Hipódromo	Tanque almacenamiento de agua IBAL	872806.73	982624.24
Tierra firme	Finca Morazán – Vereda La María China	878970.30	984712.16
Picalaña	Hacienda Piamonte – Picalaña	882805.09	977707.56

Fuente: elaboración propia

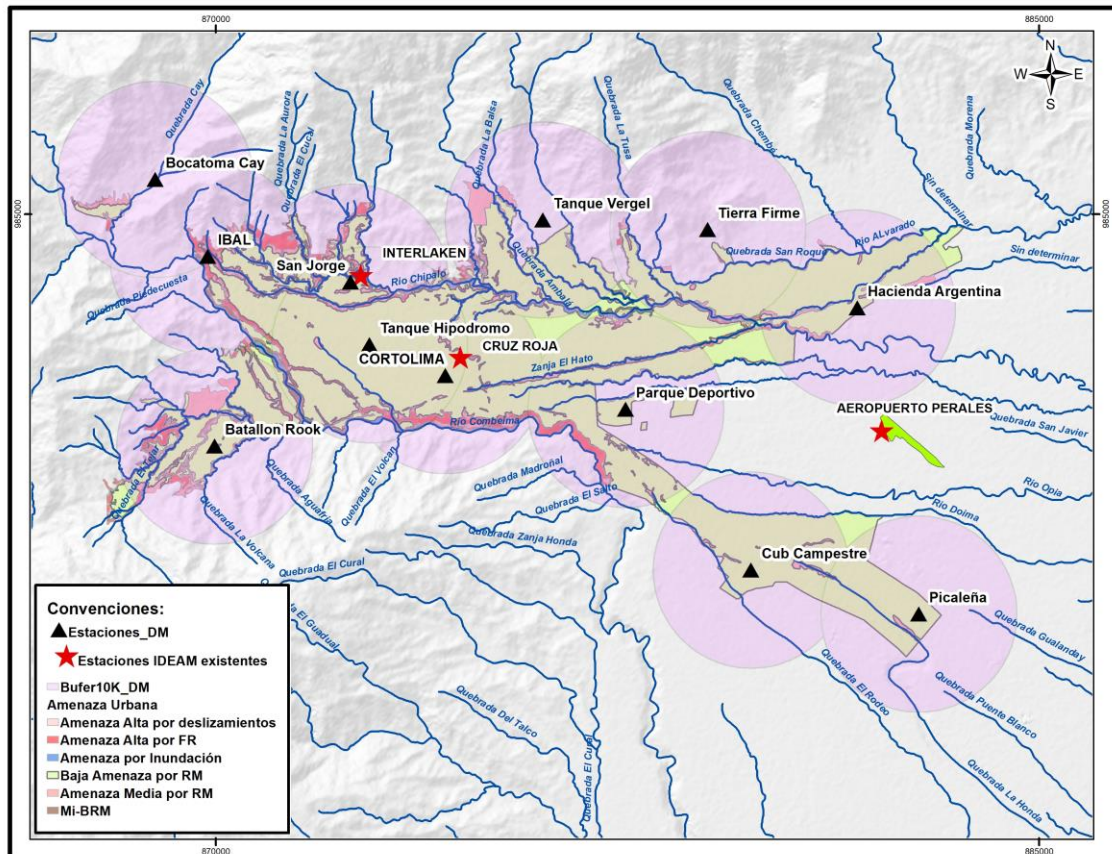


Figura 6-9 Mapa de densidad mínima de estaciones de tipo meteorológico y climatológico.

Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA e IDEAM

6.2.1.4 Diferencia altitudinal

Continuando con la metodología de diseño propuesta para la red meteorológica, en las áreas rurales se propuso ubicar las estaciones según el gradiente altitudinal en distancias verticales no mayores a 500 metros, como que también se monitoree la parte alta de las microcuencas abastecedoras, partiendo de las siguientes recomendaciones:

- a. Para la ubicación de los sitios se consultó con algunos presidentes de juntas de acción comunal la pertinencia de los puntos seleccionados ya que contar con el apoyo y respaldo de la comunidad para este tipo de proyectos es de gran importancia para el éxito.
- b. Se realizó la verificación de la existencia de vías veredales de acceso a los puntos de monitoreo con la Secretaria de Desarrollo Agropecuario de Ibagué.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establecieron doce (12) puntos de monitoreo meteorológico tabla 6-5, de los cuales 7 quedaron ubicados sobre el costado norte de la ciudad, esto en razón a que esta zona actualmente cuenta

con un alto número de acueductos comunitarios y es la zona más alta del municipio. Lo anterior permite que por gradiente altitudinal se puedan establecer más puntos de monitoreo meteorológico. Con esta red rural también se busca apoyar a los agricultores de la región en términos de monitorear las variables climáticas y así programar adecuadamente las cosechas.

Tabla 6-5 Relación de puntos de monitoreo , temática diferencia altitudinal meteorológico.

Vereda	Coordenada X	Coordenada Y
Chapetón	868065.33	986950.71
La cascada	872419.86	990643.15
Calambeo	873562.03	985530.92
La esperanza	882687.41	986030.52
El totumo	876923.46	977325.73
El tejar I y II	869917.57	977893.68
Martinica Parte baja	873138.98	979557.63
El cural	868052.17	982225.69
La Cascada parte baja	871044.75	987867.46
Chembe	878826.62	988657.20
Picalaña sector rural	880224.14	981138.97
La maría china alta	878157.36	985530.28

Fuente: elaboración propia

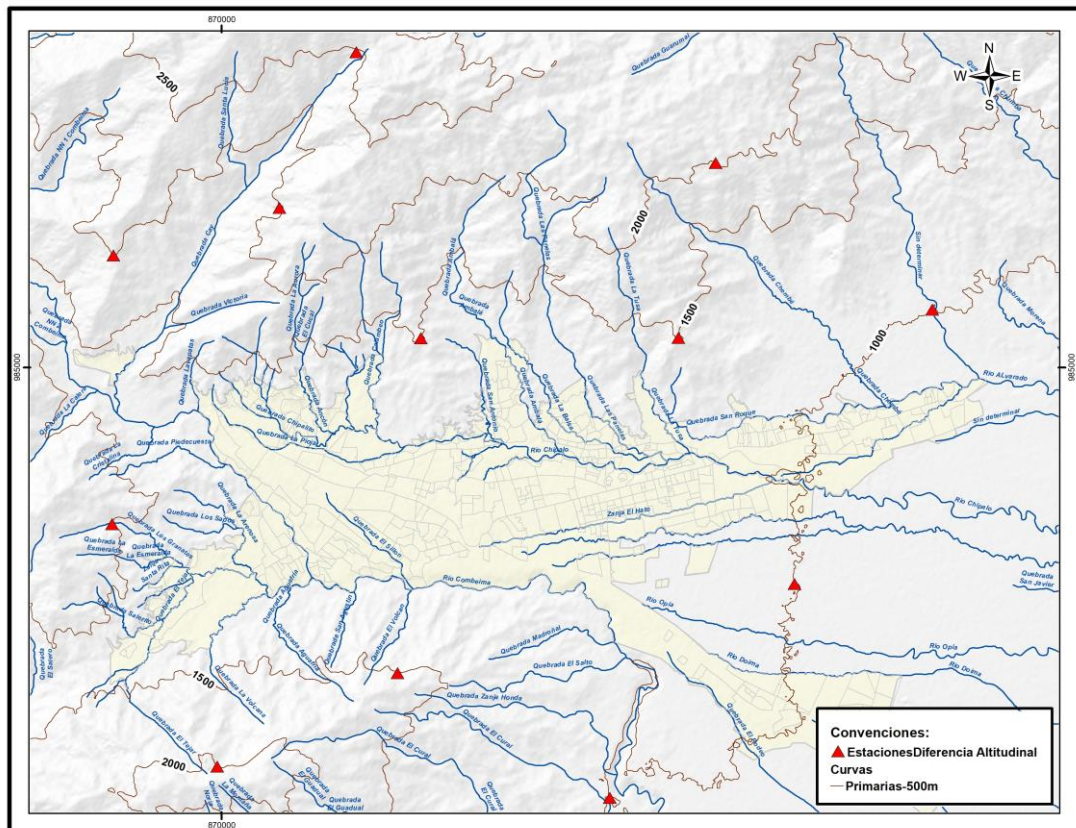


Figura 6-10 Ubicación de los puntos de monitoreo meteorológico para la temática diferencia altitudinal

Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA

6.3 Factores antrópicos

6.3.1 Indicadores de oferta a partir de factores antrópicos

6.3.1.1 Puntos de trasvase

Otra oferta que tiene el municipio de Ibagué para atender la alta demanda de agua para el sector agrícola, en la cuenca del Río Opia, es el trasvase de agua permanente de los Ríos Combeima y Chipalo. La alta demanda hídrica que actualmente se genera al interior de esta cuenca por la gran área de irrigación que anualmente es de 10,624 Hectáreas, según cifras de FEDEARROZ, debe ser atendida con agua proveniente de otras fuentes como son el río Chipalo y el río Combeima, esto se convierte en una fuente de oferta antrópica, ya que no es natural sino inducida.

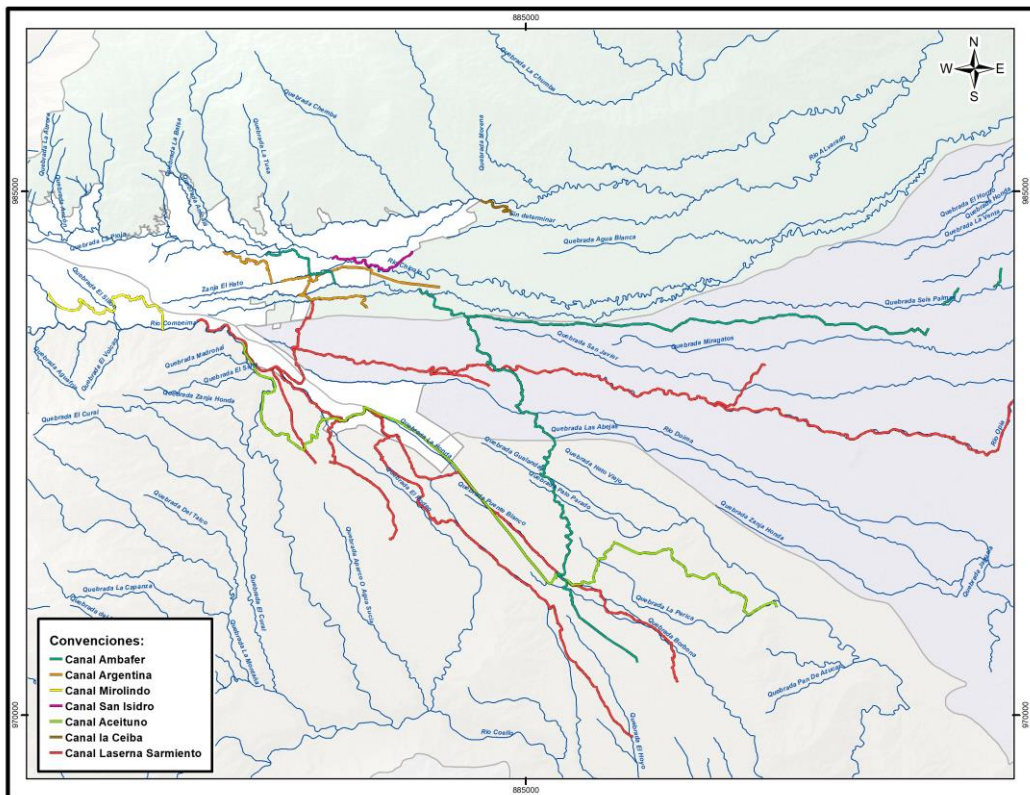


Figura 6-11 Mapa de canales de riego en el área urbana de Ibagué

Fuente: Grupo de seguimiento y control CORTOLIMA

El agua utilizada para la irrigación de la cuenca del río Opia, en su gran mayoría está concesionada por la asociación de usuarios del río Combeima ASOCOMBEIMA. Esta asociación cuenta con 129 usuarios distribuidos en: 109 usuarios sobre la corriente Combeima y la distribución de agua se realiza por un sistema de canales interconectados que permiten distribuir el agua en el área de

irrigación, los otros 20 usuarios se benefician de las aguas del río Chipalo y al igual que los usuarios del río Combeima, cuentan con un sistema de canales independientes direccionados hacia la cuenca del Río Opia.

Las estructuras de captación y conducción visitadas hacen parte del sistema de irrigación de la cuenca del río Opia, estas obras y trasvases están soportados bajo la Resolución No. 578 del 29 de julio de 1969, expedida por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente – INDERENA, (CORTOLIMA, 2017), entidad que reglamentó las aguas del río Opia y permitió que estos movimientos de agua se pudieran materializar.



Figura 6-12 Sistemas de captación y conducción de aguas para uso agrícola – río Combeima

Fuente: elaboración propia construida a partir de vistas de campo



Figura 6-13 Sistemas de captación y conducción de aguas para uso agrícola – río Chipalo

Fuente: elaboración propia construida a partir de vistas de campo

En la figura 6-12, se observan las obras de captación y derivación de agua de la asociación de riego ASOCOMBEIMA sobre el cauce del río Combeima y la figura 6-13 muestra la obra de captación de agua, punto de trasvase y sistema de aprovechamiento de agua residual del canal Ambafer; esta obra se ubica sobre el cauce de la Quebrada Hato de la Virgen. Las anteriores estructuras hacen parte del sistema de irrigación para la meseta de Ibagué, Subzona hidrográfica del río Opia.

Para la identificación de los canales y estructuras de captación de agua, se utilizó el mapa generado por CORTOLIMA (figura 6-11) denominado mapa de canales de riego en el área urbana del municipio de Ibagué. Con dicho insumo se realizó una serie de visitas de campo con el propósito de corroborar la información generada por la autoridad ambiental, en la que se pudieron identificar estructuras de captación y los canales de relacionados en la tabla 6-6.

Tabla 6-6 Relación de canales de abastecimiento de agua para uso agrícola.

Fuente: elaboración propia construida con información CORTOLIMA

NOMBRE DE CANAL	FUENTE	CAUDAL CONCESIONADO (l/s)	USUARIOS
Canal Laserna Sarmiento - Canal Aguas del Combeima	Río Combeima	780.1	35
Canal Piedras Negras		139.06	13
Canal Laserna Sarmiento		1237	21
Canal El Zorro		198.94	14
Canal Aceituno Reposo		877.53	14
Canal Aceituno		778.96	12
Total		4011.59	109
NOMBRE_USUARIO	FUENTE	LITRAJE CONCESIONADO (l/s)	USUARIOS
Canal Ambafer	Río Chipalo	226.11	12
Canal La Argentina		189.92	8
Total		416.03	20

Una vez identificadas las estructuras de captación de agua ubicadas sobre los ríos Combeima y Chipalo, se ubicaron los puntos de monitoreo hidrométrico según la metodología planteada, los cuales buscan medir la cantidad de agua captada y descargada para el uso agrícola en la meseta de la ciudad de Ibagué. A partir de la actividad antes mencionada se construyó el mapa temático de transvases (figura 6-14) en donde se ubicaron 22 puntos de monitoreo a la entrada y salida de los canales antes referenciados.

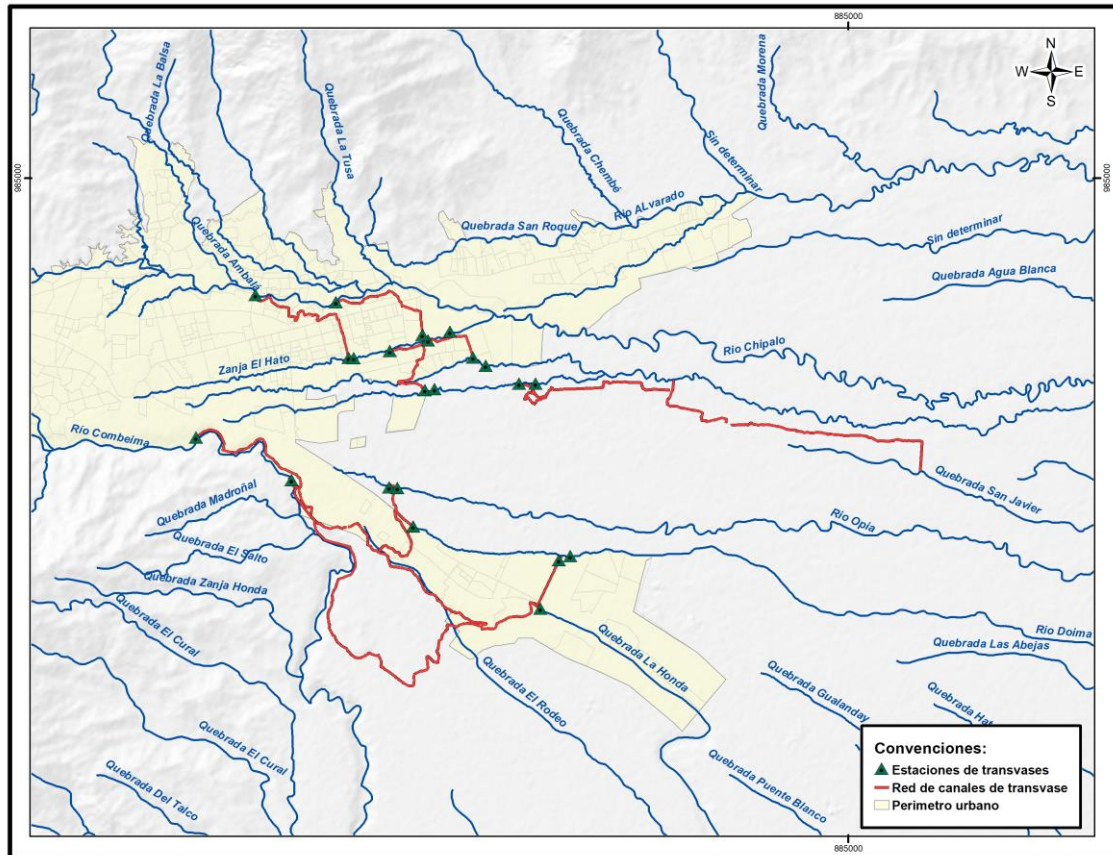


Figura 6-14 Mapa temático de trasvases

Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA y recorridos de campo

6.3.2.2 Puntos de vertimientos o retornos de flujo

La falta de sistemas de recolección final de aguas residuales y el alto número de vertimientos directos sobre los cauces urbanos de la ciudad de Ibagué, sumado a la ausencia de Plantas de Tratamiento de Agua Residual PTAR, han generado que las fuentes hídricas de la ciudad presenten una alta contaminación hídrica. El Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV aprobado por CORTOLIMA en el año 2009 estableció como meta de saneamiento para el año 2019 la construcción de tres grandes colectores que permitieran recolectar gran parte de los vertimientos existentes en la ciudad. Sin embargo, dichas obras a la fecha no se han construido en su totalidad por la falta de recursos de la administración municipal.

Actualmente, el grupo Establecimiento de metas de descontaminación de CORTOLIMA ha identificado en la ciudad 227 puntos de vertimiento en total, con descarga directa sobre los cauces de los ríos Combeima, Opía, Alvarado y Chipalo (ver tabla 6-7), de los cuales 181 puntos son objeto permanente de monitoreo y se ubican dentro del perímetro sanitario del IBAL E.S.P; los otros

46 puntos hacen parte de los vertimientos que generan los acueductos comunitarios y se ubican en la periferia de la ciudad y por consiguiente no son monitoreados permanentemente.

Tabla 6-7 Relación de puntos de vertimientos por corriente hídrica.

Fuente: elaboración propia construida con información CORTOLIMA

Nombre del Río	Numero de vertimientos
Opía	19
Alvarado	42
Chipalo	80
Combeima	40
Otros	46
Total vertimientos	227

Además de los puntos de vertimiento es importante tener en cuenta los caudales vertidos a cada corriente. De acuerdo con el documento Propuesta de meta de reducción de carga contaminante para el municipio de Ibagué, elaborado por CORTOLIMA (CORTOLIMA, 2019), el sistema sanitario vierte a los diferentes corrientes 3.065,72 l/s, siendo el río Combeima la corriente a la que más le retornan aguas y el río Opía al que menos le descargan (ver tabla 6-8).

Tabla 6-8 Relación de caudales vertidos por corriente hídrica.

Fuente: elaboración propia construida con información CORTOLIMA

Río	Caudal L/s
Chipalo	884,87
Combeima	1184,12
Alvarado	377,82
Opía	618,91
Caudal total L/s	3065,72

Se plantea que captar y dirigir todos estos puntos de vertimiento a un mismo lugar podría generar que los cuerpos de agua de la ciudad entren en escasez hídrica de inmediato. Esto debido a que gran parte del agua que en época de verano se observa al interior de los cauces urbanos, corresponde a las descargas sanitarias realizadas al interior de la ciudad. Es importante recordar, que gran parte del agua vertida hace parte de la oferta hídrica concesionada para uso agrícola, razón por la cual se hace coyuntural la toma de esta decisión. La Hacienda la argentina y los usuarios del canal Ambafer reciben alrededor de 272,79 l/s de agua residual proveniente de los colectores Jordán y Hato de la Virgen, convirtiéndose estas aguas en aportes directos a la oferta hídrica para la producción agrícola de la meseta de Ibagué.

Como herramienta y aporte al plan de seguimiento y monitoreo de vertimientos para la ciudad de Ibagué, se plantea la implementación de puntos de monitoreo a los vertimientos con caudales mayores a 50 l/s, además de los puntos establecidos por la Autoridad Ambiental del Tolima CORTOLIMA, para el monitoreo de la carga contaminante dentro de la propuesta de meta de reducción contaminante para el municipio de Ibagué.

Colectada toda la información base anteriormente citada se procedió a la construcción del mapa temático denominado “Mapa de puntos de vertimientos o de retorno de flujos” (figura 6-15), teniendo en cuenta los criterios establecidos en el ítem 6.1.2.1.2 y se obtuvo lo siguiente:

- 27 puntos de vertimientos cuyo caudal es mayor o igual a 50 l/s,
- 9 puntos de monitoreo y aforo ya establecidos por CORTOLIMA para el seguimiento de las metas de descontaminación para el municipio de Ibagué,
- 4 Plantas de Tratamiento de Agua Residuales PTAR.

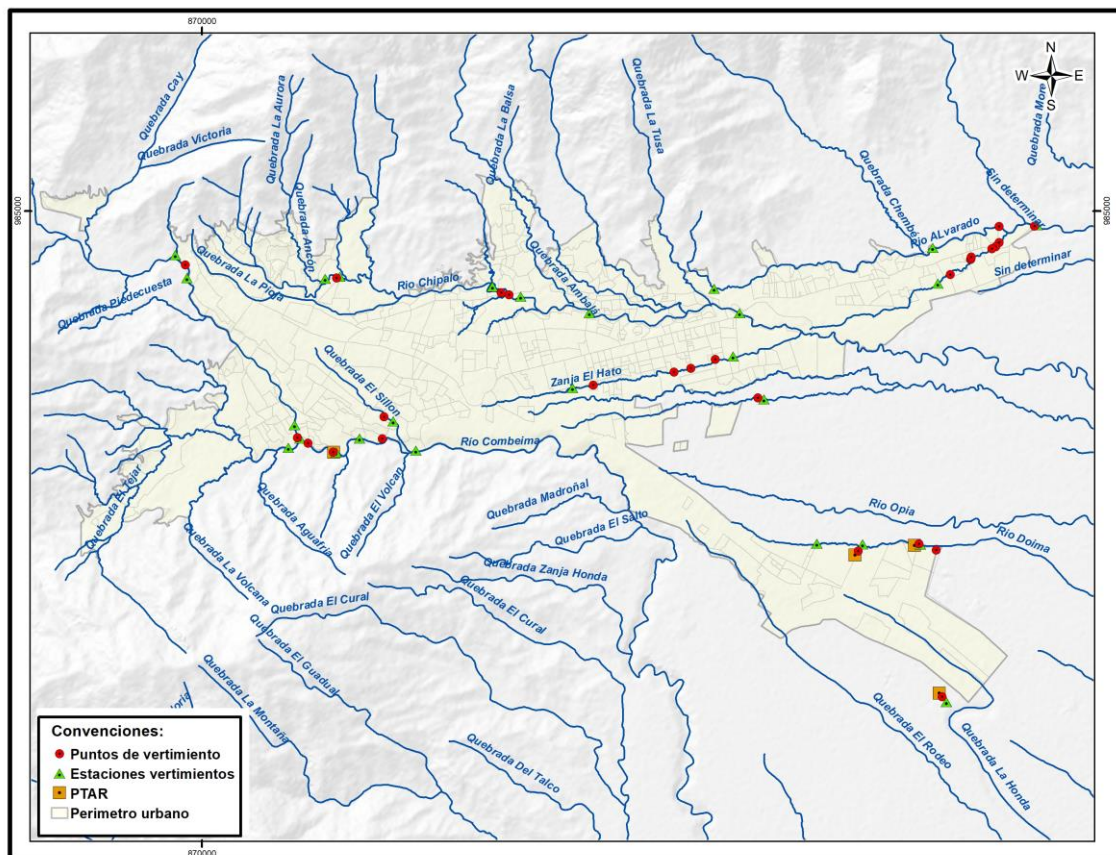


Figura 6-15 Mapa de puntos de vertimientos o retornos de flujo
Fuente: Elaboración propia con información IBAL y grupo de metas descontaminantes CORTOLIMA

Construido el mapa temático a partir de la información base se puede identificar:

- a. La ubicación de los puntos propuestos a partir de la presente metodología, buscó integrar la red de puntos de monitoreo ya establecida por la Corporación Ambiental, con el propósito de robustecer la información sobre la oferta hídrica que generan los vertimientos o retornos de flujo y la caracterización del recurso hídrico en términos de calidad del agua.
- b. Teniendo en cuenta los puntos de monitoreo establecidos por CORTOLIMA para el seguimiento de las metas descontaminantes y como quiera que en estos puntos no existen equipos de medición, se propone que estos sigan siendo utilizados para tal fin y se busque la manera de instrumentar los mismos, ya que estos puntos vienen siendo referente para la Autoridad Ambiental y el IBAL desde hace mucho tiempo.

6.3.3 Indicadores de demanda hídrica del municipio de Ibagué

Según el inventario de usuarios del recurso hídrico incluido en el SIRH, que maneja la Autoridad Ambiental del Tolima CORTOLIMA, la demanda hídrica sectorial para la ciudad Ibagué es de 12.902,89 l/s, distribuida porcentualmente en tres sectores (figura 6-16) de la siguiente manera: i) sector agrícola con un 34%, ii) sector doméstico con un 29 %, este presenta dos tipos de usuarios, el primero es la empresa de acueducto y alcantarillado de Ibagué IBAL E.S.P, con un 26% y el segundo son 32 acueductos comunitarios con un 3%, iii) sector de generación de energía o hidroenergético, este último el de mayor demanda al interior de la ciudad con el 37%.

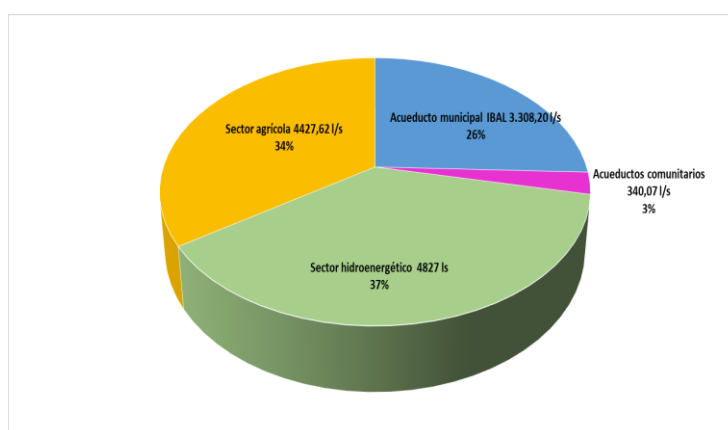


Figura 6-16 Demanda hídrica total para el municipio de Ibagué
Fuente: Elaboración propia con información de CORTOLIMA

El municipio de Ibagué, actualmente presenta una demanda hídrica superficial para el consumo humano de 3.648,27 l/s representada en 32 acueductos comunitarios debidamente legalizados y el acueducto de la ciudad administrado por la IBAL.

Los acueductos comunitarios están ubicados por encima de la cota de servicios de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y alcantarillado IBAL, benefician a 22.032 usuarios, demandan 340,07 l/s de agua, cuyas captaciones se encuentran ubicadas en 36 quebradas que emergen de la parte alta de las montañas que circundan la ciudad (tabla 6-9), generando con ello 37 puntos de captación.

Tabla 6-9 Relación de fuentes abastecedoras de acueductos comunitarios.

Fuente: elaboración propia construida con información CORTOLIMA

NOMBRE DEL ACUEDUCTO	FUENTE DE ABASTECIMIENTO	Nº DE USUARIOS	Q CONCESIONADO l/s
LA VEGA	Q. Lavapatas	55	1,85
CHAPETÓN	Q. Alta Gracia y Ramos astilleros	210	7,9
SANTA TERESA	La Cristalina	104	2
CLARITA BOTERO	Q. El Cucal y La Aurora	282	8
LA PAZ	Q. La Aurora	274	8
SANTA CRUZ	Q. El Pañuelo	60	8
CALAMBEO	Q. Grande	1030	12,5
AMBALA	Q. Las Panelas	2207	40
GAVIOTA	Q. La Tusa	1560	13,3
TRIUNFO	Q. Ambala	7000	10
LOS CIRUELOS	Q. Ambala	410	7,6
SAN ANTONIO	Q. Mojicango	169	2,03
BELLA VISTA	Q. Ambala	80	2,04
MIRADOR GAVIOTA	Q. La Tuza	30	13,33
DELICIAS	Q. La Balsa y Panelas	574	9,52
MODELIA	Q. Cocare	1846	14
FLORIDA	Q. La volcana	452	6
SAN ISIDRO	Q. Granate	401	8,5
COLINAS I	Q. La Esmeralda	144	1,9
GRANADA	Q. Granate	242	5,5
BATALLÓN	Q. La Volcana	420	51,52
ACUARICAURTE	Q. Tejar	1320	51,52
COLINAS II	Q. La Esmeralda	116	1,1
TÚNELES	Q. La Tigra	100	2
JAZMÍN BAJA	Q. Tigra y El Salerito	164	2
LA ISLA	Q. La Tigra	48	1,8
MIRAMAR	El Tejar y Gallinaza	265	8,3
BOQUERÓN	Q. Tejar y Canelas	1965	29,5
JAZMÍN ALTA	Q. El Salero	52	1,3
LA UNIÓN	Q. La Tigra y El Salero	225	5,76
DARÍO ECHANDIA	Q. POZOZ D.E.	55	1
CERROS DE GRANATE	Q. GRANATE	176	2,3
	TOTAL	22036	340,07

El acueducto de la ciudad se abastece por medio de 4 bocatomas operadas por el IBAL, ubicadas sobre el río Combeima y las quebradas Cay, Chembe y La Esmeralda, de donde se extraen 2.299,20 l/s, para atender 106.348 usuarios (tabla 6-10). Actualmente, el municipio viene construyendo el acueducto complementario para ciudad, el cual se abastecerá del río Cocora en una cantidad de 1.009 l/s, se estima desde la administración municipal que esta obra esté culminada a finales de año 2021 y con esto se pueda atender aproximadamente 153.000 usuarios. Con el aumento de agua para la ciudad se estima que el IBAL tendrá un caudal disponible de 3.308,2 l/s.

Tabla 6-10 Relación de fuentes abastecedoras para la empresa IBAL.
Fuente: elaboración propia construida con información CORTOLIMA

EMPRESA	FUENTE DE ABASTECIMIENTO	CAUDAL CONCESIONADO l/s
IBAL S.A. E.S.P	Quebrada Chembe	69,8
IBAL S.A. E.S.P	Río Combeima	1.860
IBAL S.A. E.S.P	Quebrada Cay	367,5
IBAL S.A. E.S.P	Quebrada La Esmeralda	1,9
IBAL S.A. E.S.P	Río Cocora	1.009
	Total	3.308,2

En segunda instancia se tiene la generación de energía a baja escala por medio de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas PCH, este sistema de propiedad de la empresa CELSIA, la cual está interconectada a la línea de transmisión de ISAGEN, cuenta con una concesión de agua de 4.827 l/s captada del río Combeima, en el sector del barrio san José y conducida 6.30 kilómetros más adelante mediante un sistema de canales hasta el sector de Mirolindo, en donde nuevamente es vertida a la misma fuente hídrica.

El tercer y más grande usuario de agua en Ibagué es el sector agrícola, con una demanda total de 4.427,62 l/s, de los cuales 4.011,59 l/s o el 90.60 %, son derivados de la cuenca del río Combeima y 416,03 l/s o el 9.40 % de la cuenca del río Chipalo, toda esta agua es transvasada a la cuenca del río Chipalo, esto en atención a que en esta cuenca se desarrolla toda la producción agrícola de la meseta de Ibagué.

Teniendo en cuenta la alta demanda de agua que presenta la ciudad de Ibagué para los diferentes sectores, se propone la implementación de sistemas de medición de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos para cada temática o parámetros de diseño establecidos para el indicador de demanda. A

continuación, se describen con mayor detalle estos puntos de captación.

6.3.3.1 Puntos de captación de agua para otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc...)

En la actualidad, parte de la demanda hídrica superficial que se requiere para atender la producción agrícola asentada sobre la meseta de la ciudad y la generación de energía que se produce al interior del municipio, es abastecida con el uso de aguas residuales, como se mencionó en el ítem 6.3.2.2 de vertimientos o retornos de flujo. Las aguas captadas para atender los sectores agrícola e hidroenergético son derivadas por diferentes estructuras de captación ubicadas al interior de la ciudad por el generador eléctrico HIDROTOLIMA, las asociaciones de riego ASOCOMBEIMA y ASOCHIPALO y algunas de las familias más prestantes y adineradas de la zona y posteriormente conducidas a la cuenca del río Opia, mediante sistemas de conducción a flujo libre (canales de riego). Es de resaltar que estas actividades, aunque están debidamente licenciadas por la autoridad ambiental de la región, no permiten que sobre estos cauces en algunos momentos del año exista el caudal ambiental necesario para mantener los ecosistemas acuáticos. La nula o escasa información de los caudales captados para las actividades antes descritas, como los caudales dejados después de las captaciones, ha hecho que no se cuente con datos exactos de cuánta agua se deriva para las actividades antes mencionadas, como tampoco la oferta disponible que poseen estos cuerpos de agua.

Con el propósito de dar una solución a la carencia de información con respecto a la cantidad de agua captada para los sectores diferentes al de consumo humano, se propone en el presente diseño implementar puntos de medición, para ello se generó el mapa temático “*Puntos de captación de agua para otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc...)*” (figura 6-17), teniendo en cuenta los siguientes condicionantes:

En lo referente al generador eléctrico HIDROTOLIMA y la PCH mencionada, se propone que este usuario implemente una red de medición y monitoreo integral, la cual permita conocer el agua captada, conducida y retornada a la fuente hídrica río Combeima. También, que permita conocer el comportamiento de la fuente antes de la captación y en el tramo entre la captación y la descarga, estos dos últimos puntos con propósitos de conocer el

comportamiento del cauce en términos de caudal ambiental. Para el generador eléctrico HIDROTOLIMA, se ubicaron 5 puestos de toma de datos de hidrometría. El número total de estaciones establecidas para esta temática corresponde a la metodología planteada ítem 5.1.2.2.1.

En cuanto a los sistemas de captación de agua para la producción agrícola, se identificaron 13 bocatomas para la captación de agua con fines productivos de arroz y otras especies, sobre los cauces de los ríos Combeima, Alvarado, Chipalo y Opia, como también sobre las quebradas Agua blanca y Hato de la Virgen. Los sistemas de medición propuestos, además de buscar concientizar a este sector en hacer un uso razonable del agua captada, también apunta a hacer un seguimiento y control del agua realmente captada en épocas de sequía por parte de la autoridad Ambiental a los usuarios con propósitos de hacer un cobro de la Tasa de Uso de Agua TUA más efectiva, ya que este sector, aunque es el más productor de la meseta de Ibagué, es el que más atenta contra la estabilidad hídrica de las cuencas abastecedoras para la producción arrocera.

El número de puntos a ubicar para el control de caudales en los canales que transportan agua para la irrigación de áreas cultivadas corresponde a las 13 bocatomas mencionadas.

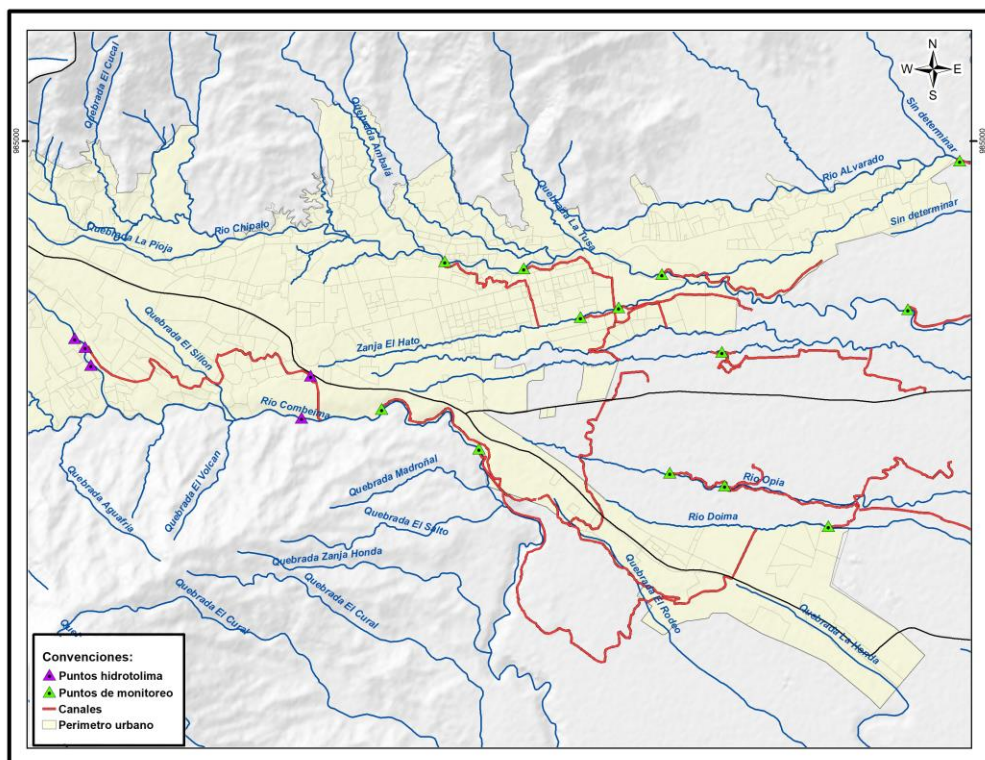


Figura 6-17 Mapa de puntos de captación de agua para actividades humanas no agua potable - Otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc...)

Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA

6.3.3.2 Puntos de captación para consumo humano

Como se mencionó en la Tabla 6-9 y la tabla 6-10, el municipio hoy cuenta con más de (40) puntos de abastecimiento de agua para consumo humano, mostrándose con ello una imperiosa necesidad de agua al interior de la ciudad y alta demanda de la misma.

En la figura 6-18 se muestra la ubicación de los puntos de monitoreo propuestos para los acueductos comunitarios y de operación del IBAL E.S.P, tal como se propone en la metodología de diseño de la red, en donde la medición de la cantidad de agua realmente captada servirá como dato fundamental al seguimiento y control del sistema, tanto para los acueductos comunitarios como para la empresa prestadora de servicio de agua de Ibagué IBAL E.S.P.

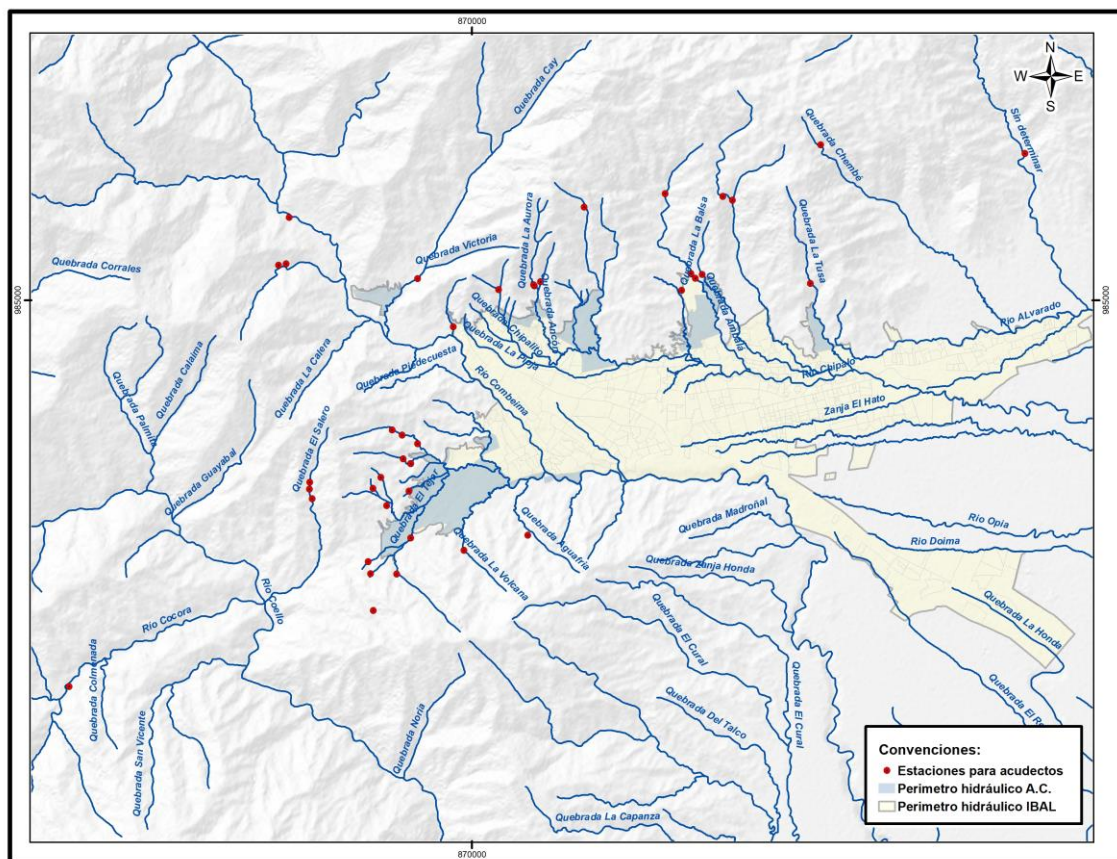


Figura 6-18 Ubicación de los puntos de monitoreo para la temática Puntos de captación para consumo humano

Fuente: Elaboración propia con información CORTOLIMA

Con un número de 42 bocatomas y el mismo número de puntos de monitoreo, la red propuesta busca capturar información permanente y

continua, tendiente a generar información que permita establecer políticas de uso y conservación del recurso hídrico por parte de la autoridad ambiental del departamento y en especial de los usuarios del agua.

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El éxito de una red hidrometeorológica en los cuales el resultado se evidencia a largo plazo, está directamente relacionado con garantizar la operatividad y mantenimiento del mismo. Partiendo de esta necesidad, se propone a la Alcaldía de Ibagué y CORTOLIMA, directos beneficiarios de la red a implementar, disponer parte de la sobretasa ambiental que reciben para montar y mantener la operatividad de la red, la cual brindará a la ciudad información ambiental y climática permanentemente, esto con el propósito de poder generar directrices de planificación urbana y de Gestión del Recurso Hídrico.

7.1 Consolidación del diseño de la red Hidrometeorológica para la ciudad de Ibagué

Realizada la ubicación de los puntos de monitoreo de meteorología e hidrometría, en cada uno de los mapas temáticos propuestos según el índice de Oferta y Demanda (ver mapas 7-1 al 7-4), se pudo observar un alto requerimiento de equipos de medición al interior de la ciudad de Ibagué, evidenciando con ello la necesidad de implementar una red tendiente a capturar información que permita establecer de manera directa la cantidad de agua disponible en términos de Oferta y la asignada en términos de demanda, además de monitorear las variables climatológicas que se registran al interior de la ciudad.

La ubicación de los puntos de monitoreo mostró inicialmente la siguiente relación de estaciones por indicador de diseño:

Tabla 7-1 Número de puntos de monitoreo meteorológico e hidrométrico para el Indicador de Oferta
Fuente: Propia

Temática	Número de puntos de monitoreo
Red de drenaje	14
Infraestructura física y vial de la ciudad	17
Densidad mínima de estaciones de meteorología en zonas urbanas	12
Diferencia altitudinal en zonas rurales	12

Puntos de transvase	22
Puntos de vertimiento o retorno de flujo	26
Total estaciones	103

Como se puede observar en la tabla 7-1, el número total de puntos de monitoreo requeridos según el indicador de oferta hídrica es de 103, de los cuales, 79 estaciones son de hidrometría, donde la temática que más puntos requiere es la de vertimientos o retorno de flujos con 26, seguida de transvase con 22 y en más baja cantidad las temáticas de red de drenaje e infraestructura física y vial con 14 y 17 respectivamente. En lo que respecta a la red de meteorología se establecieron 24 puntos de monitoreo atmosférico, de los cuales 12 se ubican al interior de la ciudad como temática de densidad mínima y 12 puntos de la temática de diferencia altitudinal en zonas rurales. Con dichas estaciones se cubriría la totalidad de la ciudad de Ibagué y la zona rural aledaña al casco urbano representando de manera adecuada la climatología de la zona de estudio.

En lo que respecta al indicador de demanda se obtuvo la siguiente relación de puntos de monitoreo:

Tabla 7-2 Número de puntos de monitoreo hidrometeorológico por Indicador de Demanda
Fuente: Propia

Temática	Número de puntos de monitoreo
Puntos de captación de agua para otros sectores (Agrícola, industrial, eléctrico etc...)	18
Puntos de captación de agua para consumo humano	42
Total estaciones	60

Analizado el requerimiento de estaciones para el indicador de demanda tabla 7-2, se encuentra que el mayor número de estaciones se obtiene para la temática de puntos de captación para consumo humano con 42 puntos de monitoreo, esto demuestra la alta demanda de agua que presenta la ciudad de Ibagué en relación a la gran cantidad de puntos de abastecimiento existentes para consumo humano, lo anterior, debido al aumento poblacional y la baja capacidad que tiene la empresa prestadora de este servicio IBAL E,S,P, para

atender toda el área urbana del municipio. Es importante resaltar que ninguno de los 37 acueductos comunitarios adicionales a los cinco puntos ya existentes y que son operados por la empresa del municipio cuentan con un equipo de medición a la entrada del sistema de abastecimiento, el cual permita conocer realmente la demanda de agua por usuario y así poder planificar la expansión de la ciudad y las áreas que estos acueductos administran.

Por otro lado, llama la atención el número elevado de sistemas de control y monitoreo requerido para la temática de Puntos de captación de agua para otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc...) 18, de los cuales cinco, corresponden a la Pequeña Central Hidroenergética PCH Mirolindo y el restante para las concesiones de agua para uso netamente agrícola, ubicados todos estos usuarios sobre la meseta de Ibagué en la cuenca del río Opia.

De manera que de los 103 puntos de monitoreo planteados para el indicador de oferta hídrica y los 60 establecidos para medir la cantidad de agua captada (demanda) para un total de 163 entre estaciones de meteorología e hidrometría, es importante resaltar que 139 corresponden solo a estaciones de hidrometría, de las cuales, 79 corresponden a estaciones con propósito de medir la oferta hídrica superficial y 60 a cuantificar la demanda de agua.

7.2 Transposición de mapas temáticos

Finalizada la construcción de cada uno de los mapas temáticos según el indicador propuesto, se procede a sobreponer cada una de las redes propuestas por temática, con el propósito de identificar los puntos de monitoreo común y así seleccionar el sitio de monitoreo final. Para esta actividad, se tuvieron en cuenta los aspectos planteados en la metodología de diseño de la red.

En la figura 7-1, se observa la transposición de los puntos de monitoreo de hidrometría, en relación a cada una de las temáticas establecidas en el diseño de esta red, Red de drenaje, Infraestructura física y vial de la ciudad, Puntos de transvase, Puntos de vertimiento o retorno de flujo y Puntos de captación de agua para otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc..). De este proceso es relevante destacar que el mayor número de estaciones se ubica sobre la cuenca del río Chipalo (76), mientras que la cuenca del río Opia fue la de menor número

de puntos (12) y la cuenca del río Combeima con 44, para un total de 132 estaciones de hidrometría.

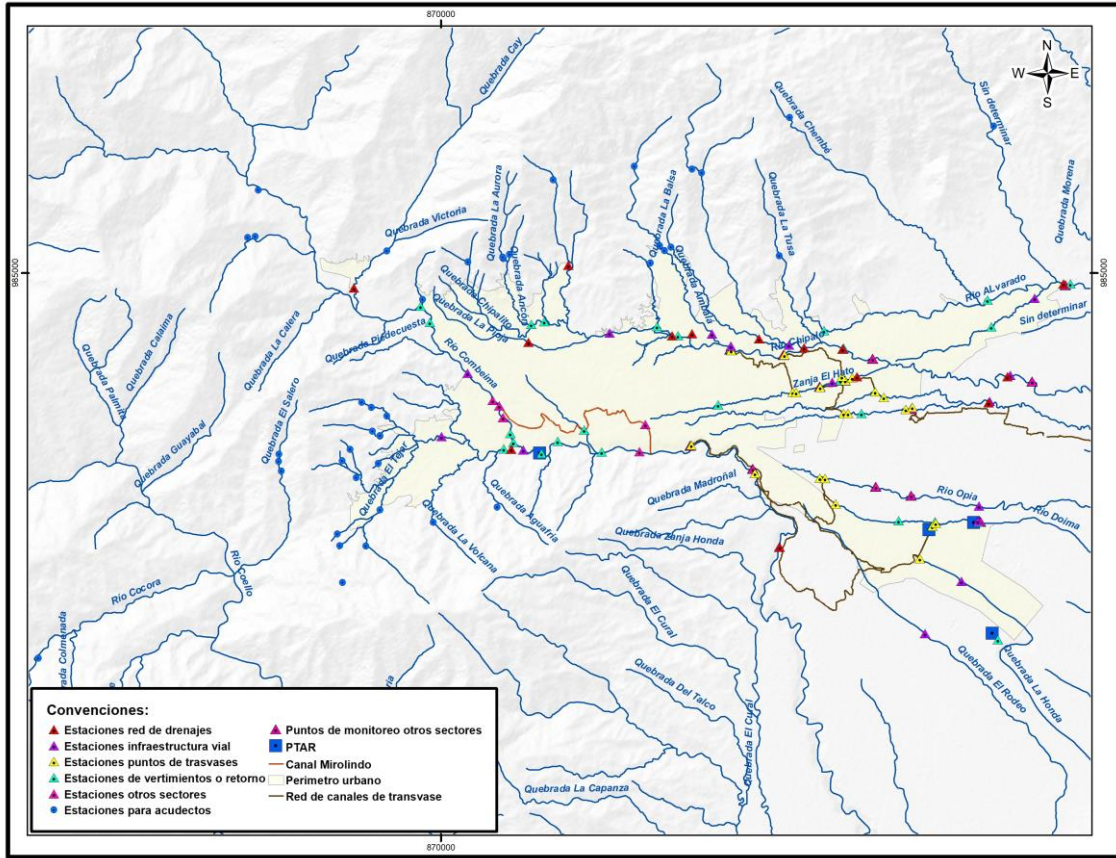


Figura 7-1 Transposición de puntos de monitoreo de hidrometría

Fuente: Elaboración propia

De igual manera que, en la red hidrométrica, para el diseño de la red de meteorología, se cruzaron las temáticas determinadas para tal objetivo (figura 7-2), Densidad mínima de estaciones de meteorología en zonas urbanas y Diferencia altitudinal. A partir del cruce temático se observa que sobre la parte norte de la ciudad se ubica la mayor cantidad de estaciones de meteorología debido a la temática diferencia altitudinal en zonas rurales, siete (7), mientras que sobre el flanco sur sólo se ubican cuatro (4).

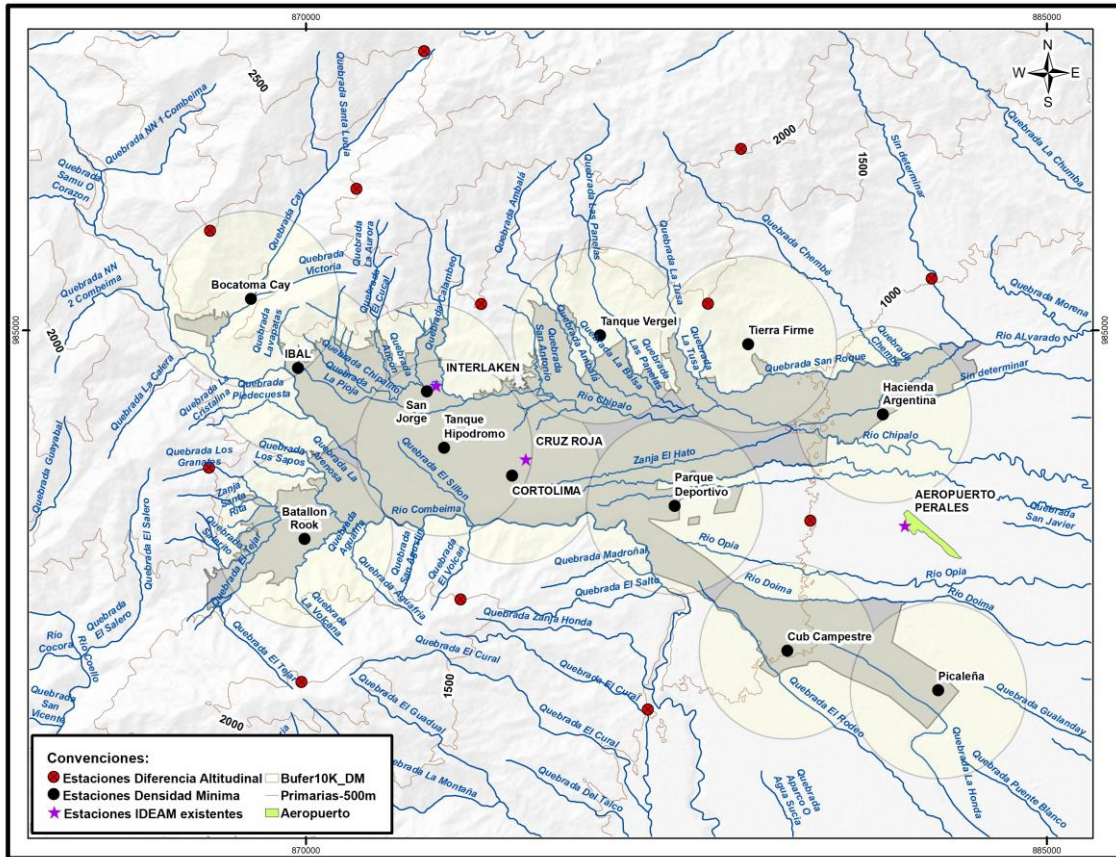


Figura 7-2 Transposición de puntos de monitoreo de meteorología
 Fuente: Elaboración propia

7.2.1 Red hidrométrica

Una vez generado el mapa transposición de puntos de hidrometría, se procedió a identificar los sitios de monitoreo redundantes para esta red, con el fin de establecer los puntos de observación hidrológica definitiva, los cuales se muestran en la figura 7-3. En esta selección de sitios es importante anotar que:

- a. La temática de Puntos de captación de agua para consumo humano no presentó reducción en cuanto al número de estaciones de monitoreo, debido a que, de acuerdo con la metodología establecida para la colocación de los sistemas de medición, es necesario que en cada bocatoma exista un equipo que permita medir la cantidad real de agua captada.
- b. En cuanto a la temática Puntos de transvase, se redujeron cuatro estaciones, debido a que estos puntos se cruzaban con los puntos de monitoreo ubicados en las cuatro principales bocatomas de agua para uso agrícola, razón por la cual esto generó una reducción de estaciones en la temática de Puntos de Transvase.

- c. En lo que respecta a las temáticas Red de drenaje e Infraestructura física y vial de la ciudad, se presentó una reducción de siete puntos de monitoreo, de los cuales seis en la temática Infraestructura física y vial de la ciudad y tan solo una en la temática Red de drenaje. La baja reducción de puntos de monitoreo en la temática Red de drenaje se debe a la necesidad de conocer la cantidad de agua disponible en las cuencas ubicadas al interior de la ciudad y en su periferia.
- d. Por último, las temáticas Puntos de vertimiento o retorno de flujo y Puntos de captación de agua para otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc...), presentaron las mayores reducciones, con un total de 19 puntos, de los cuales doce puntos de monitoreo corresponden a la temática de Puntos de vertimiento o retorno de flujo y siete a la temática de Puntos de captación de agua para otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc...). Es de resaltar que la alta reducción de estaciones en la temática Puntos de vertimiento o retorno de flujo se debe a que la misma presentaba una redundancia significativa con otras estaciones, las cuales pueden completar la información requerida para esta temática.

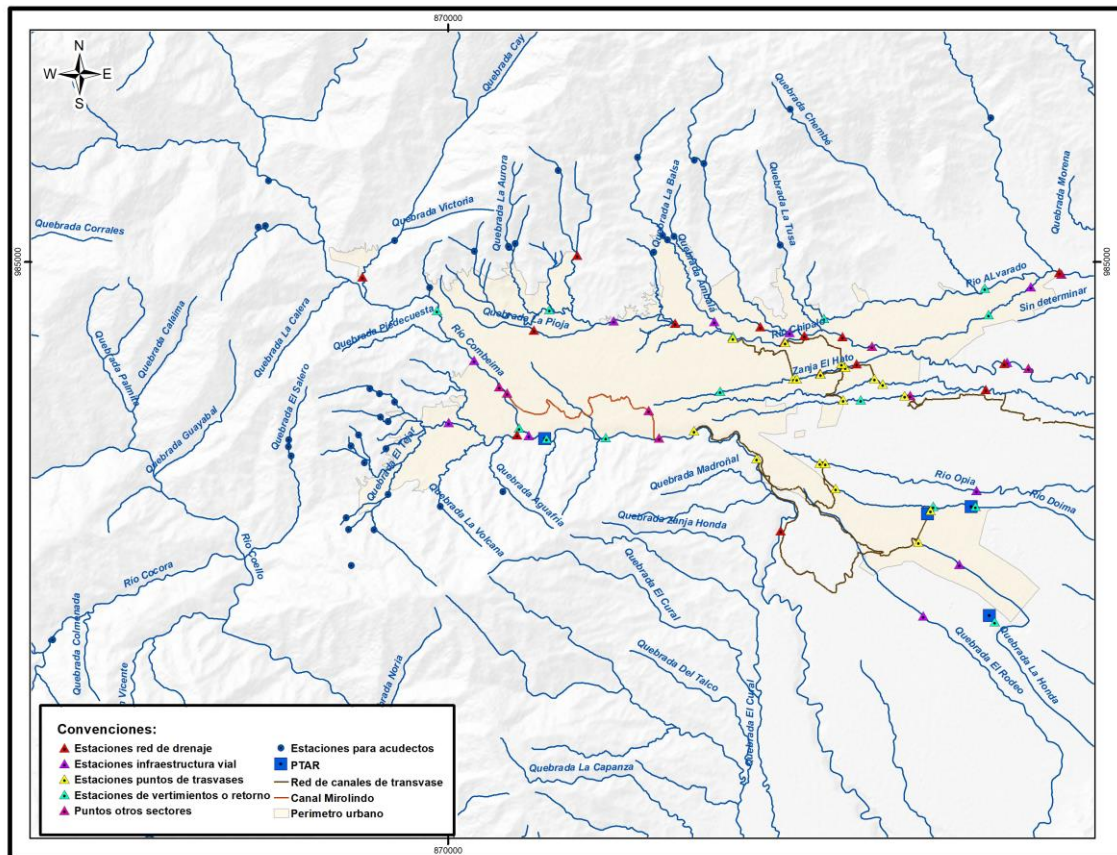


Figura 7-3 Mapa final de puntos de monitoreo red hidrométrica
 Fuente: Elaboración propia

Generado el mapa final de la red de hidrometría (figura 7-3), se establece el número definitivo de estaciones por temática (tabla 7-3), en el cual se observa los puntos a tener en cuenta para la instrumentación hidrológica de la ciudad; este insumo será de gran importancia para la planificación hídrica del municipio en términos Ambientales, sociales, económicos y de planificación urbana, ya que la ciudad de Ibagué viene experimentando cambios significativos en cuanto a su infraestructura y potencial económico, razón por la cual es de suma importancia tener claridad del potencial hídrico que puede ofertar sus cuencas y la demanda que existe actualmente.

Las estaciones de monitoreo hidrométrico a instalar en los puntos definidos, solo medirán la variable nivel, en atención a que el sistema propuesto corresponde a equipos no invasivos, con tecnología tipo radar por impulsos para medir el nivel del agua sin contacto físico o directo. Con los datos recolectados las autoridades que implementen la red deberán hacer campañas de aforo que permitan establecer una curva de caudales y con ello conocer la cantidad de agua que pasa por el punto de monitoreo.

Tabla 7-3 Número de puntos final de monitoreo hidrométrico por Indicador de Oferta.

Fuente: Propia

Temática	Número de puntos de monitoreo
Red de drenaje	13
Infraestructura física y vial de la ciudad	11
Puntos de transvase	18
Puntos de vertimiento o retorno de flujo	14
Total estaciones	56

Tabla 7-4 Número de puntos de monitoreo hidrometeorológico por Indicador de Demanda.

Fuente: Propia

Temática	Número de puntos de monitoreo
Puntos de captación de agua para otros sectores (Agrícola, industrial, eléctrico etc...)	11
Puntos de captación de agua para consumo humano	42
Total estaciones	53

7.2.2 Red meteorológica

Del diseño final mostrado en la Figura 8-4 y relacionado en la tabla 8-3, se resalta:

Tabla 7-5 Número de puntos final de monitoreo meteorológico por Indicador de Oferta.

Fuente: Propia

Temática	Número de puntos de monitoreo
Densidad mínima de estaciones de meteorología en zonas urbanas	12
Diferencia altitudinal en zonas rurales	12
Total estaciones	24

El número total de estaciones propuestas en el presente diseño es de veinte cuatro (24) puntos de monitoreo de meteorología, respaldando los siguientes aspectos:

- a) Teniendo en cuenta el diseño planteado y como quiera que existen al interior de la ciudad dos (2) estaciones, las cuales presentan una mala ubicación, pensando en esto y con la intención de mejorar la toma de datos y continuidad de los mismos, se plantea que las estaciones Pluviométricas estación Cruz roja e Interlaken de propiedad del IDEAM sean reubicadas a los puntos de monitoreo propuestos más cercanos. Es importante resaltar que la reubicación de la estación pluviométrica Interlaken debe realizarse teniendo en cuenta que el predio en donde se ubica actualmente el equipo de monitoreo está constantemente siendo utilizado para la siembra de cultivos de pancoger, los cuales cubren el pluviómetro en algunas ocasiones y no permiten que haya una adecuada medición de la lluvia caída en la zona. Adicionalmente, el poco mantenimiento que se realiza por parte del IDEAM a la vegetación invasora que se ubica en este predio ha hecho que la maleza interfiera con la normal medición en este punto. En cuanto a la reubicación de la estación Cruz Roja, esta se plantea en atención a que el sitio en donde se ubica el equipo no garantiza una adecuada medición.
- b) La estación Interlaken sería reubicada en el punto de monitoreo denominado San Jorge, 150 metros al sur de el sitio en donde se ubica y en adelante se

llamaría, estación San Jorge Interlaken, la estación Cruz Roja, ubicada en la sede del IDEAM se reubicaría a 246 metros de distancia sentido sur occidental, en la sede de la Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA y tomaría el nombre de estación CORTOLIMA Cruz Roja; con estas reubicaciones se mejoraría la captura de información meteorológica, esto en atención a que los puntos en donde se ubican las estaciones Interlaken y Cruz Roja no presentan condiciones apropiadas para adelantar esta actividad, además que esto dará continuidad a las series de datos ya captadas por las estaciones antes referenciadas,

- c) La estación Aeropuerto Perales operada por el IDEAM para la aeronáutica civil, puede quedar en el sitio en donde se ubica actualmente, recomendando de antemano que se reubique a una zona abierta en la cual no tenga influencia de construcciones, ya que el punto en donde se encuentra actualmente hace parte de las zonas en donde se planteó la ampliación del aeropuerto; es de mencionar que el terminal aéreo Perales cuenta con áreas apropiadas para reubicar este punto de monitoreo.

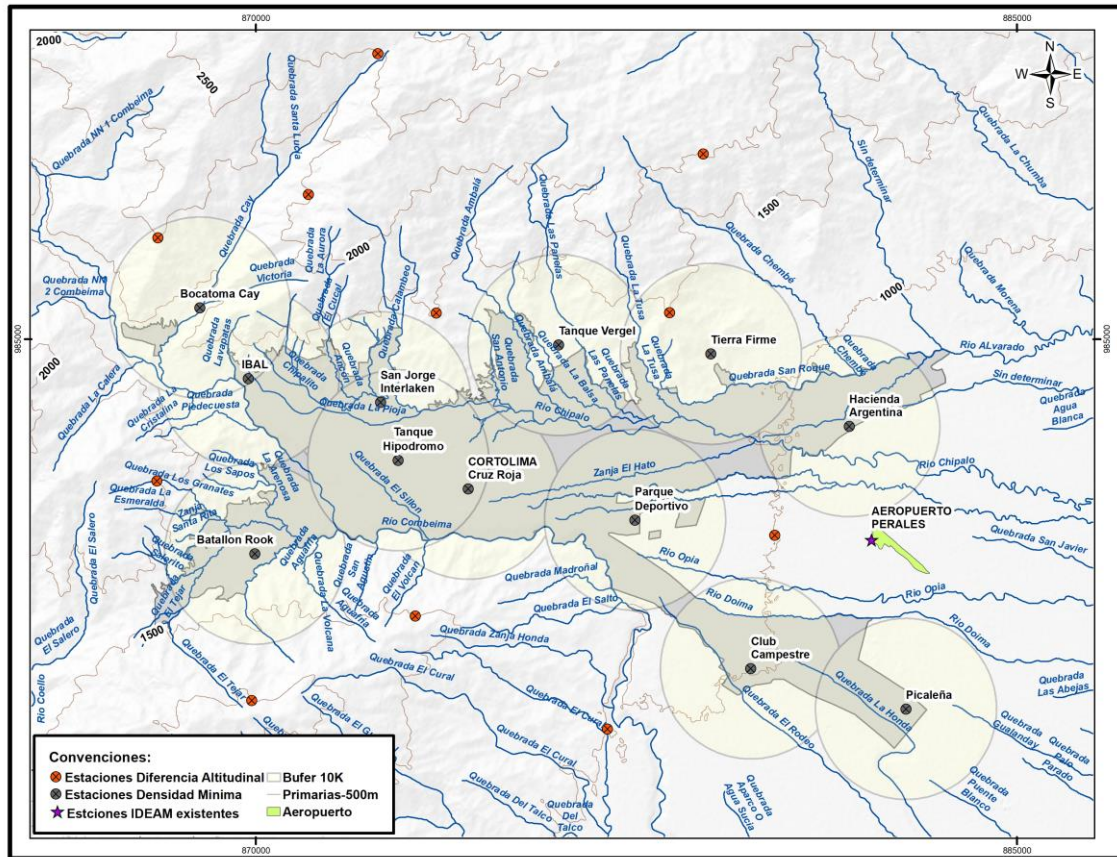


Figura 7-4 mapa final de puntos de monitoreo red de meteorología. Fuente:
Elaboración propia

En cuanto a la red de monitoreo meteorológica se plantea que en estos puntos de monitoreo se midan las siguientes variables:

- Radiación solar
- Velocidad y dirección del viento
- Precipitación
- Temperatura
- Humedad relativa
- Presión atmosférica

La medición de los parámetros antes mencionados permite tener una mejor valoración del clima al interior de la zona urbana del municipio de Ibagué.

7.2.3 Responsables de instalación y mantenimiento

Definidos los puntos finales de monitoreo a partir de las diferentes temáticas se establecen los responsables de instalación, operación y mantenimiento de la redes de hidrometría y meteorología, esto debido a que al interior de la ciudad existen diferentes actores que de una u otra manera se benefician y administran el recurso hídrico superficial., Las instituciones que por sus competencias deben hacer inversiones directas en la red son la Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA, toda vez que esta obligación le fue impuesta mediante el Decreto 1076 de 2015 y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (Minambiente, 2015), quien en Colombia es la encargada del manejo de la información científica, hidrológica y meteorológica, de allí que estas dos, tanto del orden nacional como del orden departamental, sean las principales entidades para hacer este tipo de inversiones.

Otros dos actores que, desde el contexto de beneficiarios, deben hacer inversiones en la construcción de la red de monitoreo hidrométrica y meteorológica, son la alcaldía de Ibagué desde la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Ibagué IBAL y el sector privado, este último teniendo en cuenta su alto consumo de agua para la generación de energía y la producción agrícola., en las tablas 8-4 a 8-6, se plantea la responsabilidad directa de un actor en función de la temática correspondiente y sus competencia.

Tabla 7-6 Responsable de instalación, operación y mantenimiento de puntos de monitoreo hidrométrico por Indicador de Oferta.

Fuente: Propia

Temática	Número de puntos de monitoreo	Responsable
Red de drenaje	13	CORTOLIMA
Infraestructura física y vial de la ciudad	11	CORTOLIMA - IDEAM
Puntos de transvase	18	CORTOLIMA - Asociaciones de Riego
Puntos de vertimiento o retorno de flujo	14	IBAL
Total estaciones	56	

Tabla 7-7 Responsable de instalación, operación y mantenimiento de puntos de monitoreo hidrométrico por Indicador de Demanda.

Fuente: Propia

Temática	Número de puntos de monitoreo	Responsable
Puntos de captación de agua para otros sectores (agrícola, industrial, eléctrico, etc...)	11	Asociaciones de Riego e Generador eléctrico HIDROTOLIMA
Puntos de captación de agua para consumo humano	42	IBAL y Acueductos comunitarios
Total estaciones	53	

Tabla 7-8 Responsable de instalación, operación y mantenimiento de puntos de monitoreo meteorológico por Indicador de Oferta.

Fuente: Propia

Temática	Número de puntos de monitoreo	Responsable
Densidad mínima de estaciones de meteorología en zonas urbanas	12	CORTOLIMA - IDEAM y Alcaldía de Ibagué
Diferencia altitudinal en zonas rurales	12	CORTOLIMA - IDEAM
Total estaciones	24	

7.2.4 Identificación de la red hidrometeorológica

Con la finalidad de realizar la ubicación e identificación de cada uno de los puntos de monitoreo de la red de meteorología e hidrometría, se definieron códigos ID para cada estación según la temática a la cual pertenezca, para ello se estableció la siguiente codificación:

- a. H-RD: Hidrométrica Red de Drenaje
- b. H-IV: Hidrométrica red de Infraestructura Vial
- c. H-TR: Hidrométrica red de Trasvase
- d. H-VR: Hidrométrica red de Vertimiento o Retorno
- e. H-OS: Hidrométrica red de Otros Sectores
- f. H-AC: Hidrométrica red Acueductos
- g. M-DM: Meteorológica Densidad Mínima
- h. M-DA: Meteorológica Diferencia Altitudinal

La codificación establecida con las letras H y M busca diferenciar la red Hidrométrica de la red Meteorológica, como también un número al interior de la temática. En las tablas anexas 10-1 a 10-8 se presentan las coordenadas de ubicación, el ID para cada estación y otros elementos prioritarios al momento de ubicar geográficamente una estación.

En las figuras 7-5 y 7-6 se observa la ubicación final de las estaciones de hidrometría y meteorología identificadas con sus respectivos códigos.

7.2.5 Costos de instalación

La implementación de una red como la diseñada requiere de inversiones considerables para los diferentes actores, lo que lleva a plantear costos generales de suministro, instalación y puesta en funcionamiento de la red diseñada, a partir de costos utilizados por la Autoridad Ambiental del Tolima CORTOLIMA, quien, en los últimos cuatro años, ha venido realizando este ejercicio. Lo anterior es un soporte para la elaboración del presupuesto general de inversión para el montaje de la red hidrometeorológica para el área urbana del municipio de Ibagué. En las tablas anexas 10-9 y 10-10 se muestran los valores de referencia para la construcción de obras civil, adquisición e instalación de equipos y puesta en marcha de la red de meteorología e hidrometría.

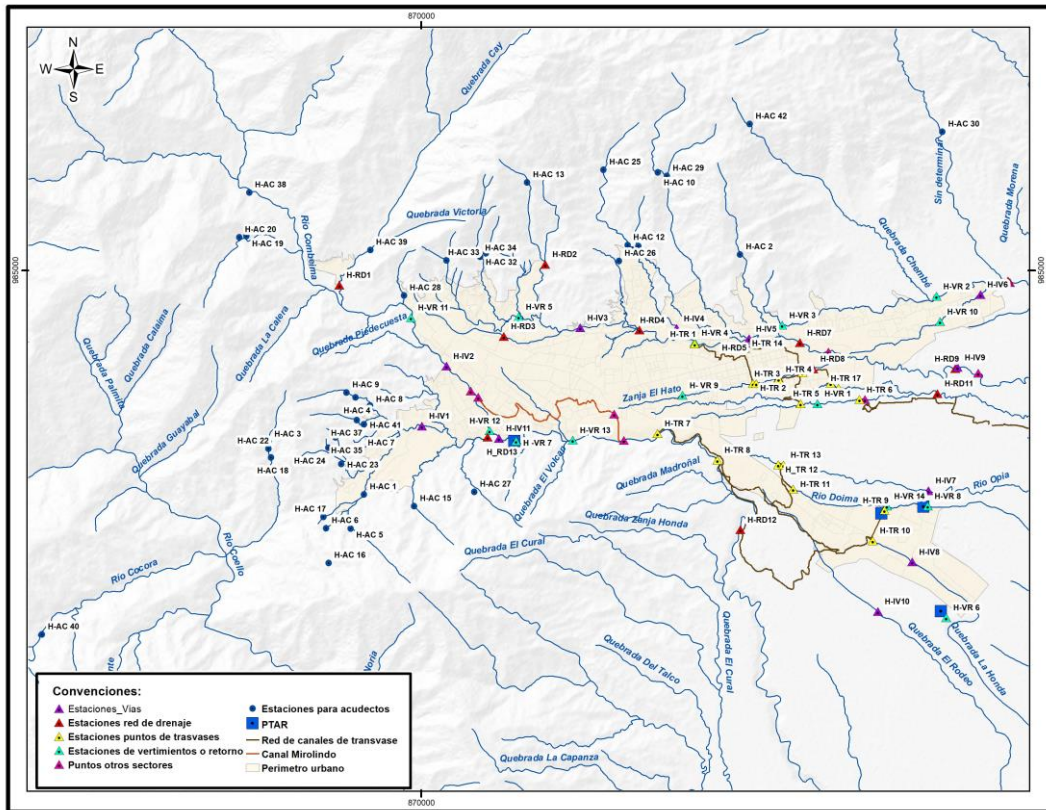


Figura 7-5 mapa final de ubicación final y códigos ID puntos de monitoreo red de hidrometeorológica
Fuente: Elaboración propia

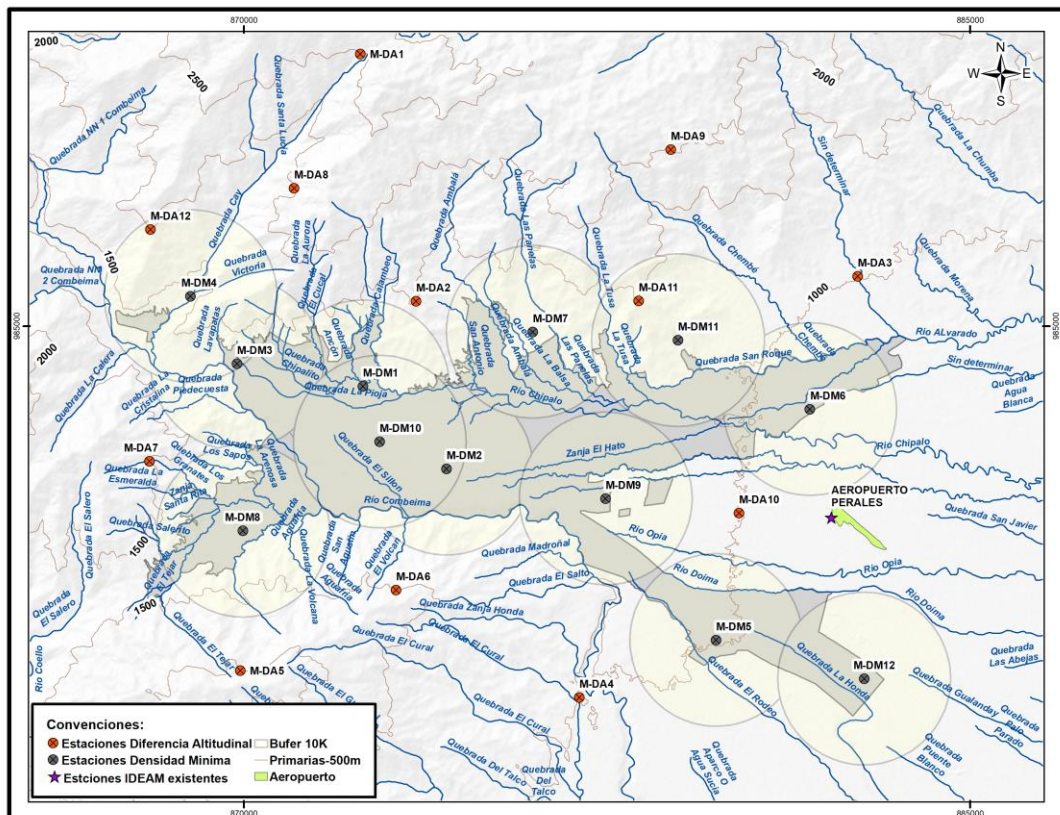


Figura 7-6 mapa final de ubicación final y códigos ID puntos de monitoreo red de meteorología
Fuente: Elaboración propia

8 CONCLUSIONES

La necesidad de instrumentar una ciudad que viene desarrollándose física y poblacionalmente, como también económicamente, es una tarea prioritaria, más si se tienen en cuenta los usos del agua como factor principal de una región, los cuales hacen que sea necesario generar conocimiento base para la toma de decisiones y la generación de lineamientos ambientales.

La propuesta metodológica planteada y desarrollada en el presente trabajo aporta conocimiento en lo relacionado a las técnicas de diseño de redes de hidrometeorología en zonas urbanas con carencia de información ambiental. Esto basado en el uso de mapas temáticos que permitan identificar individualmente las necesidades de información que se requieren al interior de una ciudad con escaso número de puntos de monitoreo.

El presente diseño se realizó con el propósito de generar información a los diferentes actores de la ciudad, los cuales fueron agrupados por temáticas y especialmente se diferencian según su indicador, siendo este último aspecto el más relevante al momento de implementar el presente diseño, ya que con esto se identifican las necesidades en función de la Planificación Integral del Recurso Hídrico, mostrando la metodología utilizada como una herramienta más integral en el diseño de redes de monitoreo.

El método propuesto para el diseño de redes de monitoreo hidrometeorológico parte de la construcción de mapas temáticos y la transposición de los mismos, los cuales se construyen a partir de la identificación de tres factores de diseño: físicos, antrópicos e históricos. Para cada factor se propone una serie de indicadores que pueden ser construidos a partir de cartografía que está disponible en todas partes.

La metodología busca identificar la oferta hídrica natural y antrópica. En la oferta hídrica natural se lograría caracterizar y cuantificar la oferta atmosférica y la hídrica superficial. Queda por fuera la oferta hídrica subsuperficial que debe ser desarrollada posteriormente. En la oferta hídrica antrópica se incluyen los vertimientos de cualquier tipo de usuario y los transvases realizados a cada cuenca. La metodología garantiza la caracterización de la oferta atmosférica teniendo en cuenta las diferencias topográficas tanto en

zona urbana como rural; y la caracterización de la oferta hídrica superficial para todas las fuentes que son usadas para captación de diferentes usos.

Adicionalmente, la metodología propone identificar la demanda según tipo de usuario y cuantificarla de manera que se pueda realizar el balance hídrico oferta – demanda en cualquier punto.

El diseño desarrollado tiene las ventajas con respecto a otros diseños de que la construcción de los mapas temáticos se realiza basada en la información disponible, que se puede realizar siguiendo los pasos indicados y no dependerán de subjetividades y que se puede establecer prioridades según la entidad que requiera la instalación de estaciones, ya que se identifican plenamente los objetivos abordados.

El conocimiento espacial de la ciudad y de las necesidades de instrumentación de la misma por parte del diseñador es un factor importante pero no absolutamente necesario al momento de implementar la presente metodología.

En lo que respecta a la localización final de los puntos de monitoreo para el componente de hidrometría se pudo establecer un requerimiento de 109 estaciones de monitoreo de las cuales 56 aportan información en términos de oferta y 53 de demanda hídrica, quedando con este diseño instrumentadas todas las corrientes urbanas de la ciudad de Ibagué.

En cuando a la red meteorológica se establecieron 24 puntos de monitoreo, de los cuales 12 se ubican al interior de la ciudad y 12 en su periferia. Con la ubicación de la red de meteorología al interior de la ciudad y en la periferia de la misma se busca describir espacial y temporalmente el clima del municipio de Ibagué, como también que esta red aporte información permanente al comité local de emergencias.

Debido a que las estaciones Interlaken y Cruz Roja presentan una inadecuada ubicación y ello interfiere en la captación de información climatológica especialmente la variable lluvia, se propone la reubicación de las mismas en sitios cercanos a estas, con el propósito de continuar con la serie de datos existentes y mejorar la toma de datos climáticos.

El municipio de Ibagué recibe con el desarrollo de este trabajo un insumo muy importante para la planificación ambiental y urbanística al interior de la ciudad; el requerimiento de información para el desarrollo de proyectos

urbanísticos y el seguimiento ambiental es un rezago administrativo que debe ser tenido en cuenta con el resultado final de este trabajo.

Para la puesta en marcha de la red diseñada es importante que las instituciones del orden departamental, local y los gremios, aporten de manera directa los recursos necesarios que permitan la construcción de la misma, ya que esta unión posibilitará que el municipio de Ibagué cuente con información hidrometeorológica permanente, la cual ayudará al desarrollo del municipio.

El establecimiento conjunto de la red propuesta entre las entidades públicas y las organizaciones identificadas, las cuales se beneficiarán directamente de la información captada, mejorará significativamente el seguimiento y control, permitiendo con ello que los actores puedan establecer políticas claras de gobernanza del agua al interior de la ciudad.

Dentro del análisis realizado a la información existente de reportes de precipitación registrada al interior de la ciudad durante los periodos (1971 - 2015) para la estación Aeropuerto Perales, (1997 - 2017) estación Cruz Roja y (1994 - 2017) estación Interlaken, se pudo observar que las series de datos analizadas presentan porcentajes de datos faltantes del 1.07 % para la estación cruz roja y 17.21% para la estación Cruz Roja, siendo este último el más alto; la ausencia tan amplia de información para la Cruz Roja se debe a los procesos de captura por falta de personal y reubicación de los equipos que a otros problemas de carácter técnico. Por otro lado, los valores máximos y mínimos de precipitación media mensual de las series de datos analizadas para cada una de las estaciones mostraron que la estación Interlaken registró la máxima precipitación en comparación con la registrada por la estación Arp. Perales, de igual manera que los valores medios. Con lo anterior se deja evidenciado que la precipitación media de la parte baja del municipio de Ibagué, donde se ubica el aeropuerto Perales, es menor que la de la parte alta de la ciudad, donde se ubica la estación Interlaken, razón por la cual se recomienda que los diseños de estructuras hidráulicas al interior de la ciudad se realicen con información de la estación Interlaken y no con información de la estación Arp. Perales.

Finalmente, es importante anotar que los objetivos propuestos para el desarrollo de este trabajo fueron alcanzados de la mejor manera y cumplen con las expectativas generadas.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Municipal de Ibagué. (2014). *Decreto 0824 de 2014*. 108–109.
- Bastidas Tulcán, J. carlos. (2015). *Desarrollo de una metodología para el diseño óptimo de redes de monitoreo de calidad de agua en fuentes hídricas superficiales*. 1–166.
- Congreso de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012*. 30. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CONSORCIO ALVARADO 2015. (2016). FASE DE DIAGNÓSTICO, PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL ACUÍFERO DE IBAGUÉ. In *Fs* (Issue 1).
- Corporación Atonoma Regional del Tolima CoRTOLIMA. (2019a). *CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO*. 1–159.
- Corporación Atonoma Regional del Tolima CoRTOLIMA. (2019b). *CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE*.
- Corporación Atonoma Regional del Tolima CoRTOLIMA, 2019. (2019). Propuesta de meta de reducción de carga contaminante para el municipio de Ibagué. *Corporación Atonoma Regional Del Tolima CoRTOLIMA, 2019*, 5–24.
- CoRTOLIMA. (2017). *Soporte técnico para la revisión de la reglamentación de la Cuenca Hidrográfica del Río Opia*. 154.
- CoRTOLIMA. (2019). Propuesta de meta de reducción de carga contaminante para el municipio de Ibagué. *Corporación Atonoma Regional Del Tolima CoRTOLIMA, 2019*, 5–24.
- DANE. (2005). *Boletín Censo General Ibagué*. http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/73001T7Tooo.PDF
- Domínguez-Calle, E., & Lozano-Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148), 321. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.132>
- Elesbon, A. A. A., Silva, D. D. da, Sedyama, G. C., Montenegro, A. A. A., Ribeiro,

- C. A. A. S., & Guedes, H. A. S. (2014). Proposta metodológica para projeto de redes hidrométricas: parte I- espacialização não tendenciosa dos dados hidrológicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(9), 980–985. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p980-985>
- FEDEARROZ. (2017). IV Censo nacional arrocero 2016. In *Division de investigaciones económicas*.
- Fernández Lopera C. & Sabas Ramirez. (2012). Sistema de Alerta Temprana Centrado en la Población para la Cuenca Media del Río Otún Early Warning System Population Centered for the Middle Basin of Otún River . *Grupo de Investigación En Ecología, Ingeniería y Sociedad, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia*.
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. (2004). *Meteorología Y Climatología*.
- Guenni, L. B. De. (2007). *EL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO : TEORIA Y*. 1–14.
- IDEAM. (2004). *GUIA PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA*.
- IDEAM. (2017). *Plan estratégico de la red hidrológica, meteorológica y ambiental del IDEAM*. 73.
- IDEAM. (2018a). Evaluación Nacional del Agua 2018. In *Cartilla ENA 2018*.
- IDEAM. (2018b). *PROTOCOLO DE MODELACIÓN HIDROLOGICA E HIDRULICA*.
- IDEAM, INVEMAR, & MINAMBIENTE. (2017). Protocolo de Monitoreo del Agua - Colombia. *Ideam*, 1–587.
- José F. B, G. E. L. A. (2011). *Metodologías para generar y utilizar información meteorológica*.
- Keum, J., Kornelsen, K. C., Leach, J. M., & Coulibaly, P. (2017). *Entropy Applications to Water Monitoring Network Design : A Review*. 1–21. <https://doi.org/10.3390/e19110613>
- Lohani, A. K. (n.d.). *1 Diseño de Redes Hidrometeorológico*.
- López Jiménez, V. L. (2014). Propuesta Metodológica para el Rediseño de una Red Meteorológica en un Sector de la Región Andina Colombiana. *Publicaciones e Investigación*, 8(1), 55. <https://doi.org/10.22490/25394088.1281>

- Martínez, M. T., & González, J. A. (2018). "Protocolo de integración de la red pública y privada de estaciones hidrometeorológicas." <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27295>
- Melisa, M. S., & Coll, A. (2013). *Sistemas de Alerta Temprana (S . A . T) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla*. 18(2), 303–308.
- Minambiente. (2015). Decreto 1076 de Mayo 26 de 2015. *Diario Oficial*, 1, 654.
- MinAmbiente. (2010). *Política Nacional Recurso Hídrico*.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico. *Minambiente*. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/gobernanza-del-agua/programa-nacional-de-monitoreo-del-recurso-hidrico>
- Montealegre Bocanegra, J. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. *IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)*, 1–134. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Actualizacion+Modelo+Institucional+El+Niño++La+Niña.pdf/02f5e53b-0349-41f1-87e0-5513286d1d1d>
- OMM. (2007). *Directrices sobre la gestión de datos climáticos*.
- OMM. (2010). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*.
- OMM. (2011a). *Guía de prácticas climatológicas*.
- OMM. (2011b). Guía de Prácticas Hidrológicas Volumen I. In *World Meteorological Organization*, No. 168. http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/guide/spanish/168_Vol_I_es.pdf
- OMM. (2012). Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos. *Organization Meteorológica Mundial*, 8(6), 528.
- OMM. (2017). *Reglamento Técnico, Volumen I – Normas meteorológicas de carácter general y normas recomendadas*.

- OMM. (2020). *Guía de prácticas hidrológicas Volumen I, Hidrología – De la medición a la información hidrológica.*
- OMM, O. M. M. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas OMM N° 168.*
- OMM, O. M. M. (2000). *Guía de prácticas de servicios meteorológicos para el público.*
- Overeem, Leijnse, U. (2011). Measuring urban rainfall using microwave links from commercial cellular communication networks. *Water Resources Research*, 47(12), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2010WR010350>
- Paola, M. E. D., & Carlos, R. S. J. (2016). *Propuesta de diseño de un sistema de alerta temprana por inundación en la subcuenca del río tejalpa (SIATI-ScRT).* 133.
- Putthividhya, A., & Tanaka, K. (2013). Optimal rain gauge network design and spatial precipitation mapping based on geostatistical analysis from co-located elevation and humidity data. *Chiang Mai Journal of Science*, 40(2), 187–197. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2012.v3.201>
- Rosero M. C. (2007). *DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA DE BOGOTÁ Y CUENCA ALTA DEL RÍO TUNJUELO AUTOR (ES): MARIA CONSTANZA ROSERO *. (Subdirección de Hidrología-IDEAM). GERMÁN BERNAL GARCÍA *. (Subdirección de Meteorología-IDEAM). PALABRAS CLAVES : A.* 137.
- Sensors, H., & Networks, G. (2010). *Hydrometeorological Monitoring Networks.* 1–17.
- Taracena, D. L., Teresa, M., & Rada, M. (2006). *Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=289122815008>.*
- Tolima, C. D. E. L. (2019). *POLÍTICA PÚBLICA INTEGRAL. Gobernación Del Tolima.*
- UNAL, I.-. (2012). *Diseño de redes de monitoreo hidroclimatológico y de sistemas de alerta temprana.*
- Zurich, & Prácticas, S. (2016). *21 experiencias de Sistemas de Alerta Temprana en América Latina.* 1–143.

10 ANEXOS

Anexo 10-1 Estaciones de monitoreo hidrométrico temática Red de Drenaje

Fuente: Propia

ID- ESTACIÓN	CORRIENTE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
H-RD1	Quebrada Cay	868095.66	984674.78
H-RD2	Quebrada Calambeo	872893.40	985152.04
H-RD3	Quebrada La Pioja	871923.83	983477.82
H-RD4	Río Chipalo	875080.89	983622.96
H-RD5	Quebrada La Balsa	876984.18	983548.13
H-RD6	Río Chipalo	877972.10	983347.25
H-RD7	Río Chipalo	878822.14	983321.36
H-RD8	Quebrada Hato de la Virgen	879134.25	982714.14
H-RD9	Río Chipalo	882437.50	982712.87
H-RD10	Río Alvarado	883670.83	984746.69
H-RD11	Quebrada Agua Sucia	882023.80	982135.74
H-RD12	Río Combeima	877431.66	978979.92
H-RD13	Río Combeima	871547.67	981137.00

Anexo 10-2 Estaciones de monitoreo hidrométrico temática Infraestructura Vial

Fuente: Propia

ID- ESTACIÓN	CORRIENTE	ESTRUCTURA - UBICACIÓN	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
H-IV1	Quebrada El Tejar	Puente Batallón Rook	870015.06	981402.63
H-IV2	Río Combeima	Puente Río Combeima	870586.37	982791.09
H-IV3	Río Chipalo	Puente B/Sorrento	873703.93	983676.24
H-IV4	Quebrada Ambalá	Puente B/Vergel	875951.09	983656.84
H-IV5	Quebrada La Balsa	Puente B/Cañaveral	877637.03	983413.87
H-IV6	Quebrada La Chicha	Puente B/El País	883028.99	984435.86
H-IV7	Río Opía	Puente variante/calle 145	881810.7	979884.61
H-IV8	Quebrada La Honda	Puente variante/calle 145	881429.02	978230.9
H-IV9	Río Chipalo	Puente variante/calle 145	882493.6	982745.13
H-IV10	Quebrada El Rodeo	Puente variante/calle 145	880626.8	977081.01
H-IV11	Río Combeima	Puente calle 25 B/Villa del Río	871804.71	981111.32

Anexo 10-3 Estaciones de monitoreo hidrométrico temática Transvases

Fuente: Propia

ID-ESTACIÓN	CORRIENTE	ESTRUCTURA - UBICACIÓN	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
H-TR 1	Río Chipalo	Canal La Argentina tramo 1	876372.8	983295.34
H-TR 2	Quebrada Hato de la Virgen	Descarga Canal Argentina1	877725.82	982379.02
H-TR 3	Quebrada Hato de la Virgen	Quebrada Hato de la Virgen	877800.51	982373.65
H-TR 4	Quebrada Hato de la Virgen	Canal La Argentina tramo 2	878326.38	982480.02
H-TR 5	Quebrada Agua Sucia	Descarga Canal Argentina2	878837.8	981908.58
H-TR 6	Quebrada Agua Blanca	Canal Ambafer 2	880208.04	982000.06
H-TR 7	Río Combeima	Canal Laserna Sarmiento	875500	981220.19
H-TR 8	Río Combeima	Canal Aceituno	876894.8	980599.29
H-TR 9	Quebrada Doima	Descarga canal Laserna	880783.67	979430.31
H-TR 10	Quebrada La Honda	Descarga canal Laserna	880513.3	978723.15
H-TR 11	Quebrada Doima	Descarga canal aguas del Combeima	878661.51	979924.02
H-TR 12	Río Opia	Descarga canal aguas del Combeima	878314.6	980493.52
H-TR 13	Río Opia	Control de caudales Río Opia	878432.74	980483.49
H-TR 14	Río Chipalo	Bocatoma Canal Ambafer	877541.86	983192.38
H-TR 15	Quebrada Hato de la Virgen	canal Ambafer 1	878882.18	982632.78
H-TR 16	Quebrada Agua Sucia	Descarga Canal Ambafer 1	879537.75	982383.7
H-TR 17	Quebrada Agua Sucia	Control de caudales Q. Agua Sucia	879719.8	982261.72
H-TR 18	Quebrada Hato de la Virgen	Descarga canal Ambafer	878802.19	982712.87

Anexo 10-4 Estaciones de monitoreo hidrométrico temática Vertimientos o Retorno

Fuente: Propia

ID-ESTACIÓN	CORRIENTE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
H-VR 1	Quebrada Agua Blanca	879226.99	981910.99
H-VR 2	Río Alvarado	881996.65	984400.94
H-VR 3	Q. La Tusa	878407.16	983731.90
H-VR 4	Río Chipalo	876365.01	983330.07
H-VR 5	Río Chipalo	872265.56	983926.23
H-VR 6	Quebrada la Honda - PTAR La Arboleda	882224.36	976943.50
H -VR 7	Río Combeima PTAR Las Américas	872206.38	981037.62
H-VR 8	Río Doima	881792.96	979530.07
H-VR 9	Quebrada Hato de la Virgen	876083.12	982102.05
H-VR 10	Quebrada La Chicha	882082.54	983814.44
H-VR 11	Río Combeima	869755.66	983906.88
H-VR 12	Río Combeima	871590.79	981279.55
H-VR 13	Río Combeima	873526.09	981063.06
H-VR 14	Río Doima PTAR Comfenalco	880844.86	979531.06

Anexo 10-5 Estaciones de monitoreo hidrométrico Otros Sectores

Fuente: Propia

ID-ESTACIÓN	CORRIENTE	ESTRUCTURA - UBICACIÓN	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
H-OS 1	Q. Agua Blanca	Canal Ambafer 2	880334.25	982001.74
H-OS 2	Río Combeima	Bocatoma Canal Mirolindo	871327.20	982071.03
H-OS 3	Río Alvarado	Bocatoma canal La Ceiba	883715.88	984713.49
H-OS 4	Río Chipalo	Bocatoma canal piedras	882979.46	982605.70
H-OS 5	Río Chipalo	Bocatoma canal Had. San Isidro	879484.74	983106.26
H-OS 6	Río Combeima	Descarga canal mirolindo	874716.93	981062.56
H-OS 7	Río Combeima	Control de caudales Río Combeima	871151.72	982213.67
H-OS 8	Canal Mirolindo- HIDROTOLIMA	Control de caudales canal mirolindo	874489.50	981674.42
H-OS 9	Q. Hato de la Virgen	Control de caudales canal la argentina	878323.73	982499.89
H-OS 10	Q. Hato de la Virgen	Control de caudales canal Ambafer	878868.04	982635.10
H-OS 11	Río Chipalo	Control de caudales sistema Ambafer	877519.93	983192.56

Anexo 10-6 Estaciones de monitoreo hidrométrico Acueductos Comunitarios

Fuente: Propia

ID-ESTACIÓN	RAZON SOCIAL	CORRIENTE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
H-AC 1	J.A.C Barrio Ricaurte	Quebrada El Tejar	868663.74	868663.74
H-AC 2	J.A.C Administradora Acueducto B/ Gaviota	Quebrada La Tusa	877432.88	877432.88
H-AC 3	Acueducto Los Túneles	Quebrada La Tigrera	866445.40	866445.40
H-AC 4	Acueducto Del Barrio San Isidro	Quebrada Granate	868473.05	868473.05
H-AC 5	J.A.C De Usuarios Barrio Boquerón	Quebrada El Tejar	868351.01	868351.01
H-AC 6	J.A.C De Usuarios Barrio Boquerón	Quebrada Canelas	867777.44	867777.44
H-AC 7	J.A.C Del Acueducto Dario Echandia	Afloramiento N.N	868622.19	868622.19
H-AC 8	J.A.C Del Acueducto Barrio Cerros De Granate	Quebrada Granate	868811.95	868811.95
H-AC 9	J.A.C. Acueducto Barrio Granada	Quebrada Granate	868260.45	868260.45
H-AC 10	Acueducto De Usuarios Barrio Las Delicias	Quebrada Las Panelas	875520.95	875520.95
H-AC 11	Acueducto De Usuarios Barrio Las Delicias	Quebrada La Balsa	875061.98	875061.98
H-AC 12	J.A.C. Acueducto Barrio Bellavista	Quebrada Ambalá	874812.26	874812.26
H-AC 13	Asociación De Usuarios Del Acueducto Alcantarillado B/ Calambeo	Quebrada Grande	872474.16	872474.16
H-AC 14	Asociación De Usuarios Del Acueducto B/ Los Ciruelos	Quebrada Ambalá	874913.86	874913.86
H-AC 15	J.A.C Administradora Acueducto B/ Florida	Quebrada La Volcana	869830.81	869830.81
H-AC 16	J.A.C Del Acueducto Del B/ Miramar	Quebrada La Gallinaza	867837.83	867837.83
H-AC 17	J.A.C Del Acueducto Del B/ Miramar	Quebrada El Tejar	867722.35	867722.35
H-AC 18	Asociación De Usuarios Del Acueducto Alcantarillado B/ La Isla	Quebrada La Tigrera	866500.31	866500.31
H-AC 19	Junta Administradora De Acueducto Y Alcantarillado Del Barrio Chapetón	Quebrada Ramos Y Astilleros	865932.06	865932.06
H-AC 20	Junta Administradora De Acueducto Y Alcantarillado Del Barrio Chapetón	Quebrada Altagracia	865768.58	865768.58
H-AC 21	J.A.C Administradora Del Acueducto B/ La Unión	Quebrada El Salero	857083.91	857083.91

ID-ESTACIÓN	RAZON SOCIAL	CORRIENTE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
H-AC 22	J.A.C Administradora Del Acueducto Del B/ La Unión	Quebrada Tigrera La	866438.97	866438.97
H-AC 23	J.A.C Del Barrio Jazmín Parte Baja	Quebrada Salerito	868137.54	868137.54
H-AC 24	J.A.C Del Barrio Jazmín Parte Baja	Quebrada Tigrera La	867835.94	867835.94
H-AC 25	J.A.C De La Vereda Ambalá Sector El Triunfo	Quebrada Ambala	874253.76	874253.76
H-AC 26	Asociación De Usuarios Acueducto Del B/ San Antonio	Quebrada Mojicongo	874608.18	874608.18
H-AC 27	Asociación De Usuarios Rural La Martinica	Quebrada Frías Agua	871229.50	871229.50
H-AC 28	J.A.C Barrio La Vega	Quebrada Lavapatás	869600.19	869600.19
H-AC 29	Asociación De Acueducto Y Alcantarillado Del Barrio Ambalá (Acuambala)	Quebrada Pavas Las	875730.49	875730.49
H-AC 30	Asociación De Usuarios Del Acueducto Y Alcantarillado De La Urbanización (Acuamodelia)	Quebrada Cocare	882148.50	882148.50
H-AC 31	Junta Administradora Barrio Clarita Botero - Acuclarita	Quebrada Cucal El	871516.33	871516.33
H-AC 32	Junta Administradora Barrio Clarita Botero - Acuclarita	Quebrada Aurora La	871376.82	871376.82
H-AC 33	Asociación De Usuarios Acueducto B/ Santa Cruz	Quebrada Pañuelo El	870596.56	870596.56
H-AC 34	Asociación Acueducto Urbano Del Barrio La Paz	Quebrada Aurora La	871361.44	871361.44
H-AC 35	Asociación De Usuarios Del Acueducto Alcantarillado B/ Jazmín Parte Alta	Quebrada Salero El	868003.62	868003.62
H-AC 36	Asociación De Usuarios Del Acueducto Y Alcantarillado Del B/ Colina Del Sur Etapa 1 (Acuacolinás 1)	Quebrada Esmeralda La	868666.32	868666.32
H-AC 37	J.A.C Urbanización Colina Del Sur 2	Quebrada Esmeralda La	868499.96	868499.96
H-AC 38	Instituto de Acueducto y Alcantarillado de Ibagué IBAL	Río Combeima	866003.80	866003.80
H-AC 39	Instituto de Acueducto y Alcantarillado de Ibagué IBAL	Quebrada Cay	868820.16	868820.16

ID- ESTACIÓN	RAZON SOCIAL	CORRIENTE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
H-AC 40	Instituto de Acueducto y Alcantarillado de Ibagué IBAL	Río Cocora	861159.00	861159.00
H-AC 41	Instituto de Acueducto y Alcantarillado de Ibagué IBAL	Quebrada Esperanza La	868666.49	868666.49
H-AC 42	Instituto de Acueducto y Alcantarillado de Ibagué IBAL	Quebrada Chembe	877664.50	877664.50

Anexo 10-7 Estaciones de monitoreo meteorológica temática Densidad Mínima

Fuente: Propia

ID- ESTACIÓN	NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
M-DM1	San Jorge Interlaken	872460.0747	983767.5731
M-DM2	CORTOLIMA Cruz Roja	874184.9233	982061.1483
M-DM3	IBAL	869858.7126	984240.724
M-DM4	Bocatoma Cay	868904.3586	985640.2139
M-DM5	Club Campestre	879750.9741	978511.2663
M-DM6	Hacienda Argentina	881695.5111	983283.4111
M-DM7	Tanque Vergel	875970.4455	984891.8164
M-DM8	Batallón Rook	869980.7122	980784.39
M-DM9	Parque Deportivo	877472.0074	981441.3517
M-DM10	Tanque Hipódromo	872806.7325	982624.24
M-DM11	Tierra Firme	878970.2973	984712.1639
M-DM12	Picalaña	882805.0878	977707.5608

Anexo 10-8 Estaciones de monitoreo meteorológica temática Diferencia Altitudinal

Fuente: Propia

ID- ESTACIÓN	Vereda	Coordenada X	Coordenada Y
M-DA1	Chapetón	868065.33	986950.71
M-DA2	La cascada	872419.86	990643.15
M-DA3	Calambeo	873562.03	985530.92
M-DA4	La esperanza	882687.41	986030.52
M-DA5	El totumo	876923.46	977325.73
M-DA6	El tejtar I y II	869917.57	977893.68
M-DA7	Martinica Parte baja	873138.98	979557.63
M-DA8	El cural	868052.17	982225.69
M-DA9	La Cascada parte baja	871044.75	987867.46
M-DA10	Chembe	878826.62	988657.2
M-DA11	Picalaña sector rural	880224.14	981138.97
M-DA12	La maría china alta	878157.36	985530.28

Anexo 10-9 Costos de instalación estación meteorológica tipo
Fuente: Valores establecidos por CORTOLIMA para su red de monitoreo

Descripción del producto.	Und.	Cant.	V/unitario	V/Total
Suministro Unidad Registradora y Transmisora de datos RTU ADCON	Global	1	\$ 18.588.943	\$ 18.588.944
Suministro Adaptador de corriente A922 Adaptador de Voltaje (9VDC – 28VDC) VDC a 9VDC ADCON.	Global	1	\$ 1.441.300	\$ 1.441.301
Suministro de Sensor Radiación Global + soporte y cable PIRANOMETRO MS 40 EKO INSTRUMENTS KIPP & ZONEN	Global	1	\$ 5.521.190	\$ 5.521.191
Suministro Pluviómetro RG1 ADCON Pluviómetro	Global	1	\$ 3.626.669	\$ 3.626.670
Suministro Anemómetro Ultrasónico ADCON	Global	1	\$ 7.476.768	\$ 7.476.769
Suministro de Sensor Digital de Temperatura y Humedad ADCON	Global	1	\$ 10.417.731	\$ 10.417.732
Suministro de Sensor de Presión Barométrica ADCON	Global	1	\$ 9.245.131	\$ 9.245.132
Suministro sistema de energía y gabinete para conexionado de equipos	Global	1	\$ 3.332.129	\$ 3.332.130
Cerramiento de 3X3X2m (largo, ancho, alto)	Global	1	\$ 6.178.950	\$ 6.178.951
Suministro e instalación de mástil y soporte para pluviómetro	Global	1	\$ 4.734.000	\$ 4.734.001
Transporte	Global	1	\$ 5.640.000	\$ 5.640.001
Servicio de instalación y configuración de las estaciones.	Global	1	\$ 8.772.000	\$ 8.772.001
Costo Total Estación Meteorológica .				\$ 84.974.823

Anexo 10-10 Costos de instalación estación hidrométrica tipo
Fuente: Valores establecidos por CORTOLIMA para su red de monitoreo

Descripción del producto.	Und.	Cant.	V/unitario	V/Total
Suministro Unidad Registradora y Transmisora de datos RTU ADCON	Global	1	\$ 18.588.943	\$ 18.588.943
Suministro Adaptador de corriente A922 Adaptador de Voltaje (9VDC – 28VDC) VDC a 9VDC ADCON	Global	1	\$ 1.441.300	\$ 1.441.300
Suministro de Sensor Nivel RLS OTT	Global	1	\$ 1.441.300	\$ 1.441.300
Suministro e instalación de miras limnimétricas en aluminio	Global	1	\$ 11.604.809	\$ 11.604.809
Aforos, batimetría y generación de la curva de gastos	Global	1	\$ 1.494.000	\$ 1.494.000
Suministro e instalación cerramiento de 1,5x1,5x2m	Global	1	\$ 19.200.000	\$ 19.200.000
Suministro e instalación de mástil y cercha	Global	1	\$ 5.942.111	\$ 5.942.111
Transporte	Global	1	\$ 9.102.000	\$ 9.102.000
Servicio de instalación y configuración de las estaciones.	Global	1	\$ 5.640.000	\$ 5.640.000
Costo Total Estación Hidrométrica.				\$ 74.454.463