

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DEL RIESGO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE CASO DE APLICACIÓN

Vivian Juliette Cortés Arévalo¹; Maryluz Pineda Moreno²; Rafael Orlando Ortiz Mosquera³; Efraín Antonio Domínguez Calle⁴

1

Resumen - Con base en la metodología propuesta y analizada en el artículo previo en el que se plantean las bases conceptuales para la evaluación del riesgo de desabastecimiento como consecuencia de los efectos que la variabilidad hidrológica, fenómenos como el Frío y Cálido del Pacífico y el cambio climático global generan sobre las fuentes abastecedoras. Como complemento de la investigación se ha desarrollado la metodología propuesta, en su etapa preliminar aplicada al sistema de abastecimiento a nivel urbano del municipio de Zipaquirá – Cundinamarca, el cual en la actualidad es administrado por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá – EAAAZ. Para este caso en particular son analizados los elementos principales de la metodología propuesta y se consolidan las bases de datos necesarias para llegar, en la continuación de la investigación, a la cuantificación total del riesgo de desabastecimiento en dicho sistema. Es así como el desarrollo de la metodología y su caso de estudio constituye el primer paso en una serie de trabajos que debe concluir en el desarrollo de herramientas de gestión del riesgo hidrológico en este sector productivo de la economía colombiana, que garanticen el abastecimiento seguro de la población que sirven.

Summary - Based on the proposed and analyzed methodology in the previous article, in which was described the conceptual foundations for the dis – supplier risk evaluation as a consequence of the effects caused on the supplier streams for the hidrological variability, phenomenon as the Cold and Warm of Pacific and the climate change. As an investigation complement was developed the proposed methodology on a preliminary stage, applied to the aqueduct system of the Zipaquirá town at the department of the Cundinamarca – Colombia, which is actually managed by the “Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá – EAAAZ”. For this particular case are analyzed the principal methodology elements and consolidated the information necessary to arrive, in the investigation continue, to the total quantification of the system risk dis – supplier. On this way the methodology development and its study case advance constitute the first step of the series of projects that should be finished with the management tools design of the hidrological risk to this productive area on the Colombian economy, assuring on long time a safe water supply to the population served.

¹ Universidad Nacional de Colombia - Ingeniera Civil – Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola – Unidad de Hidráulica –Bogota, Colombia. E-mail: vjcortesa@unal.edu.co

² Universidad Nacional de Colombia - Ingeniera Civil – Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola – Unidad de Hidráulica – Bogota, Colombia. E-mail: mpinedam@unal.edu.co

³ Universidad Nacional de Colombia - Ingeniero Civil – Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola – Unidad de Hidráulica – M. Sc. En Docencia – Candidato a M. Sc. en Recursos Hidráulicos – Director de la Unidad de Hidráulica - Integrante GIREH (Grupo de investigación de Recursos Hídricos) - Bogota, Colombia. Tel: (+57) 1 3165000 Ext. 13474 – Fax: (+57) 1 3165563 E-mail: roortizm@unal.edu.co

⁴ Ingeniero Hidrólogo – Ph.D. en Ciencias Técnicas - Subdirección de Hidrología del IDEAM - Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos Bogotá (Colombia). E-mail: edc@ideam.gov.co

Palabras Claves - Sistemas de Abastecimiento, Evaluación del Riesgo, Zipaquirá.

Keywords - Systems of drinking water supply, Evaluation of Danger, Zipaquirá.

INTRODUCCIÓN

La concepción y desarrollo de la metodología para la evaluación del riesgo de desabastecimiento se basa principalmente en su conceptualización e implementación simultánea con el caso de estudio; de tal forma que el proceso de retroalimentación entre los mismos fundamenta la elaboración y calibración de la metodología propuesta. Conforme con lo anterior se seleccionó el sistema de abastecimiento a nivel urbano del municipio de Zipaquirá – Cundinamarca, considerando la representatividad de su análisis en el marco departamental y nacional, lo que favorece la posterior extrapolación de la metodología a otros municipios; el abastecimiento de la población a partir de agua superficial principalmente, dadas las limitaciones del Índice de Escasez de agua superficial del IDEAM; la disponibilidad aceptable de datos para la cuantificación de las variables de análisis (demanda y oferta hídrica); y finalmente el interés de los administradores del sistema (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá – EAAAZ) por participar en el presente estudio, con el fin de mejorar las herramientas de planificación y administración del recurso hídrico.

Dado el alcance del proyecto el cual constituye la primera etapa de la investigación, la implementación de la metodología sobre el caso de estudio se reduce a los dos primeros pasos que la componen (evaluación a nivel preliminar).

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA A NIVEL PRELIMINAR

A partir del esquema metodológico planteado en el artículo previo, la etapa preliminar de la metodología de evaluación comprende:

Caracterización Del Sistema De Abastecimiento De Zipaquirá

El municipio de Zipaquirá - Cundinamarca, dentro del perímetro sanitario (casco urbano) se abastece de agua potable por medio del servicio que presta la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá E.S.P. (E.A.A.Z.-E.S.P.), la cual inició operaciones desde 1987 bajo la naturaleza jurídica de empresa industrial y comercial del estado. En la actualidad la EAAAZ tiene una cobertura del 100% de la población urbana y alrededor del 5% de la rural con una continuidad del servicio de 24 horas. En la zona rural, dicha cobertura obedece a la ubicación de la mayoría del sector en una cota superior a la del urbano; lo que dificulta el abastecimiento de la zona alta del municipio por parte de la empresa, dados los altos costos que implicaría su adecuación.

En cuanto al proceso de medición, cálculo, estandarización y gestión del abastecimiento de agua en el sistema y el consumo de los usuarios, se han hecho esfuerzos alrededor de dos frentes (macro y micro medición) a partir de los cuales se tiene:

- En las fuentes de abastecimiento no existe ningún elemento instalado ni para la medición del caudal captado, ni para la estimación del caudal de la fuente. Sin embargo en este último año se han venido tomando mediciones por medio de caudalímetros portátiles en puntos del sistema cercanos a las fuentes (a excepción de La Hoya), las cuales permiten estimar de una manera aproximada las variaciones limnimétricas en las mismas.

- En las plantas de tratamiento están instalados mecanismos de medición, para conocer el caudal tratado y suministrado por las plantas al resto del sistema.

- En cuanto a los instrumentos de medición instalados en la acometida de los usuarios o suscriptores (micromedición), existe un catastro de los equipos y un programa de micro medición en ejecución.

- Pese a lo anterior, hasta el momento la empresa no ha implementado un programa de control de pérdidas y agua no contabilizada, por lo cual no se tiene registro de las pérdidas en el sistema, tanto técnicas como comerciales. A nivel de estimación, se calcula un IANC (Índice de agua no contabilizada) del 40% aproximadamente.

A lo largo su operación, el sistema de abastecimiento ha tenido algunas modificaciones en sus diferentes componentes (fuentes abastecedoras, captación, aducción, tratamiento, conducción y red de distribución) para optimizar el servicio prestado y ampliar su cobertura; hace un poco más de dos años dicho sistema está estructurado de la siguiente manera:

Sistema De Captación Y Aducción

La demanda del casco urbano del municipio es servida a partir de dos sub-sistemas de captación: *Río Frío - La Arteza y Río Neusa*, en los cuales se agrupan las fuentes hídricas (todas de tipo superficial), con las que actualmente se abastece la población. En general estas fuentes se consideran de calidad aceptable, según los muestreos quincenales de las mismas y el programa de mantenimiento trimestral de cada una de las captaciones, sin embargo el tiempo de funcionamiento de las estructuras es en promedio de 50 años, lo que ha repercutido en problemas de estabilidad y vida útil de las mismas especialmente en el caso del Río Neusa.

A continuación se describen en forma general los elementos que conforman los subsistemas de captación:

- *Subsistema de Captación Río Frío – La Arteza*: Esta constituido por las captaciones de fondo ubicadas en Río Frío, las Quebradas El Borrachero, El Clavel, La Hoya (afluentes del Río Frío) y la Arteza (afluente de Río Negro). En la *Ilustración 1* se esquematiza este subsistema y los demás componentes que dependen del mismo.

- *Subsistema de Captación Río Neusa*: El Río Neusa se capta mediante una estructura de tipo lateral ubicada sobre el río a 2 Km. aguas abajo del Embalse, diseñada para un caudal de 500 LPS del cual es actualmente captado 380 LPS. Del volumen captado, 30 LPS son destinados para las veredas de Cogua: La Plazuela y el Mortiño, y 350 LPS para los acueductos regionales de Zipaquirá, Cogua y Nemocón; derivando 300 Lt/s para el municipio de Zipaquirá y entre 60 – 50 LPS para los municipios de Cogua y Nemocón. En la *Ilustración N° 2*. se esquematiza el subsistema de abastecimiento dependiente del río Neusa.

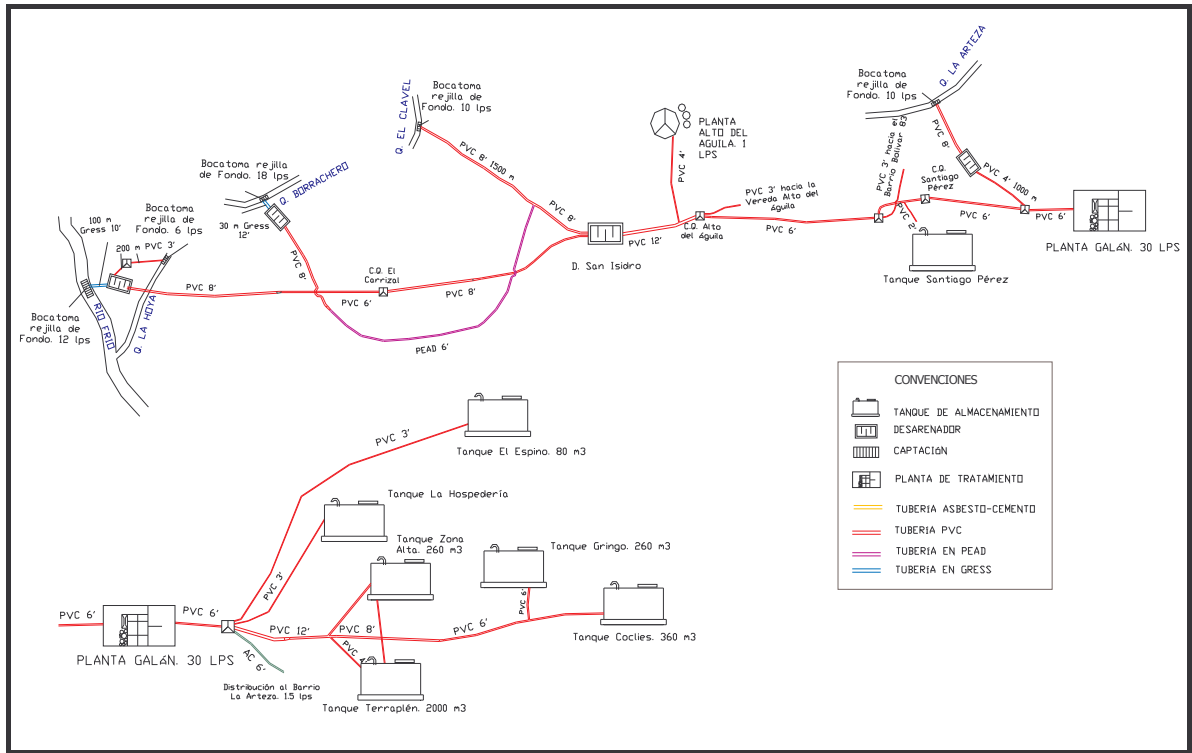


Ilustración 1- Esquema del subsistema de abastecimiento dependiente de Río Frío – La Arteza.

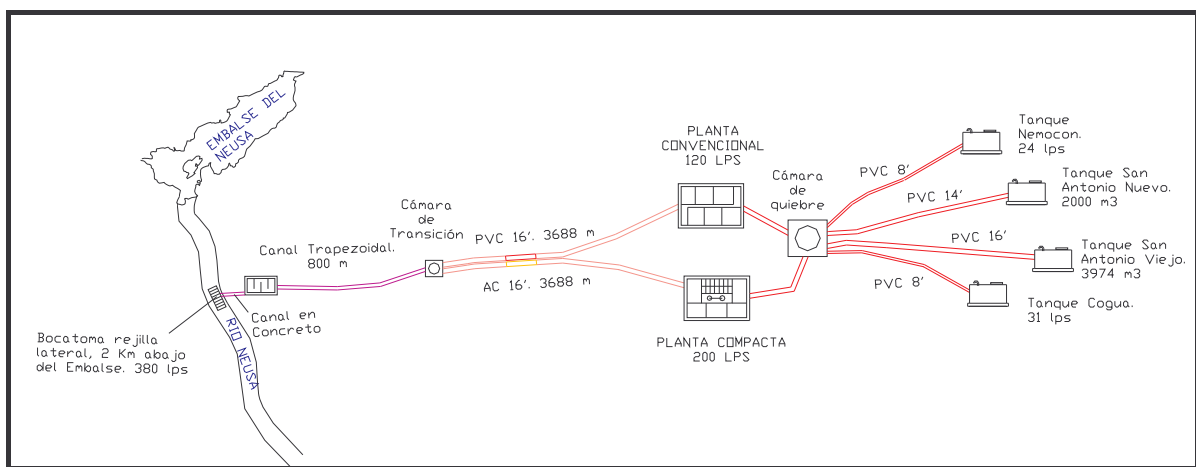


Ilustración 2 - Esquema del subsistema de abastecimiento dependiente del Río Neusa.

Sistema de Tratamiento

El tratamiento del agua cruda captada en las diferentes fuentes de abastecimiento del municipio está compuesto por dos sub-sistemas, cuyas características generales son:

- *Sub-Sistema de Acueducto Galán:* Se abastece del agua captada proveniente de Río Frío, las Quebradas la Arteza, El Borrachero, El Clavel y La Hoya; y está constituido por las plantas Galán y Alto del Águila, así:

Planta Galán: Planta convencional construida hace 50 años, trata un caudal de 30 LPS aproximadamente, medidos por medio de una canaleta parshall ubicada a la entrada de la planta.

Planta Alto del Águila: El sistema de tratamiento puesto en funcionamiento hace un poco más de dos años, es de tipo compacto, diseñado para tratar 15 LPS, actualmente se trata 1 LPS, suficiente para suministrar agua al sector que sirve. Se esperan mayores requerimientos para esta planta con el incremento en la demanda del municipio por la expansión de la zona urbana en una cota superior a la de la planta Galán. La planta ha sido implementada como alternativa para servir a parte de la población rural ubicada dentro de la cobertura del sistema.

- **SUB-SISTEMA DE ACUEDUCTO REGIONAL:** Es un sistema que se abastece del agua proveniente del Embalse del Neusa; está compuesto por dos plantas de tratamiento, una de tipo compacto Degremont, con capacidad de 220 LPS, utilizada para 200 LPS; y otra de tipo convencional con capacidad de 150 LPS, utilizada para un caudal de 120 LPS.

- **SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN:** El municipio cuenta con los siguientes volúmenes de almacenamiento: Alimentados por la planta Galán, están los tanques de Zona Alta (260 m³), El Gringo (260 m³), El Espino (80m³), Coclés (360m³) y la Hospedería que sirve la parte administrativa de la Catedral de Sal. Alimentado por la planta Alto del Águila se encuentra el Tanque Bosques de Silecia (50 m³). Por la planta Regional los Tanques de San Antonio (2000 m³ y 3974 m³ respectivamente) y el Tanque de Terraplén (2000 m³) que es alimentado tanto por la Planta Regional como por la Galán. El sector de la Arteza surtido por la Planta Galán, está directamente conectado al sistema sin tanque de almacenamiento de por medio.

La distribución de agua tratada a la población se hace a través de una red, la cual está constituida por tipo de diámetro según se resume en la *Tabla 1*.

Tabla 1 - Características de la red de distribución.

DIÁMETRO (PLG)	MATERIAL	LONGITUD (M.L)	DIÁMETRO (PLG)	MATERIAL	LONGITUD (M.L)
1	P.V.C	4.211	6	A.C	6.829
2	A.C	134	6	P.V.C	12.242
2	P.V.C	41.440	8	A.C	1.988
3	A.C	2.803	8	GRESS	114
3	P.V.C	63.973	8	P.V.C	1.707
4	A.C	5.476	14	A.C	1.956
4	P.V.C	7.524	14	P.V.C	1.000
6	GALVANIZADO	223	20	A.C	2.049

Caracterización de la Demanda y del Servicio Prestado

A partir de la disposición de la red de suministro, y los demás componentes que forman el sistema de abastecimiento del municipio, la distribución de agua tratada a gran escala está dividida en 3 zonas, cada una de las cuales provee a diferentes sectores de la población; en los cuales debido a que en el municipio hasta ahora se esta implementando un sistema de micro-medición, no se conocen con exactitud el número de usuarios por sector ni el caudal demandado por el mismo. Sin embargo; a partir de las estimaciones realizadas por la empresa en el 2001 a solicitud de las instituciones reguladoras (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), se obtiene la siguiente distribución porcentual:

- **ZONA ALTA:** La zona alta del municipio comprende toda aquella población (25876 usuarios aprox.) que se encuentra ubicada por encima de la cota 2630 m.s.n.m., la cual es alimentada por la planta de tratamiento Galán y Alto del Águila (Sistema de Captación Río Frío)

Adicionalmente, se provee de agua cruda a través de derivaciones de la tubería de aducción de Río Frío a un pequeño sector rural de la población (1064 usuarios aprox.) que por su altura y localización con respecto a la aducción pueden acceder a este servicio:

- **ZONA MEDIA Y BAJA:** Corresponde al suministro de agua tratada a la zona media y baja del municipio, es decir toda aquella población que se encuentra ubicada por debajo de la cota 2630 m.s.n.m. o límite con la zona alta (78780 usuarios aprox.). Se alimenta a partir de las dos plantas de tratamiento que constituyen el Acueducto Regional, el agua tratada es conducida al Tanque San Antonio de 3974 m³ y al Tanque nuevo de 2000 m³ de donde se distribuyen al casco urbano. A su vez este sector abastece el centro poblado rural del municipio (7265 usuarios aprox.), los distritos Agroindustriales (3540 usuarios aprox.) y los clientes especiales, considerados así debido a su mayor consumo de agua con respecto al resto de la población.

En cuanto al caudal demandado, pese a que los datos no están discriminados por sector, la EAAAZ recopila los registros por estrato para los años 2002, 2003 y 2004, los cuales se resumen en la *Tabla 2*.

Tabla 2 - Demanda y valor facturado para el servicio de acueducto por la EAAAZ durante los años 2002, 2003 y 2004 discriminados por estrato (Fuente EAAAZ)

METROS CUBICOS FACTURADOS EN ACUEDUCTO Y SU VALOR EN MILLONES						
ESTRATO	2002		2003		2004	
	ACUEDUCTO		ACUEDUCTO		ACUEDUCTO	
	FACTURADO	VR FACTURADO	FACTURADO	VR FACTURADO	FACTURADO	VR FACTURADO
	M3	MILLONES \$	M3	MILLONES \$	M3	MILLONES \$
ESTRATO 1	283.560,00	164,2	452.043,00	285,3	696.282,00	438,7
ESTRATO 2	970.314,00	705,4	1.017.932,00	633,3	1.326.692,00	852,9
ESTRATO 3	760.664,00	486,3	1.137.795,00	503,9	933.240,00	669,1
ESTRATO 4	188.746,00	123,3	397.435,00	133,2	231.787,00	170,0
ESTRATO 5	3.892,00	2,7	2.649,00	2,7	4.414,00	3,6
ESTRATO 6	-	0,0	-	0,0	129,00	0,1
COMERCIAL	211.341,00	167,3	285.984,00	189,4	307.043,00	262,4
INDUSTRIAL	22.423,00	14,9	31.726,00	18,2	43.131,00	31,6
OFICIAL	35.020,00	19,2	45.178,00	23,3	42.405,00	27,8
ESPECIAL	66.084,00	34,9	100.717,00	51,8	101.524,00	63,2
TOTAL	2.542.044,00	1718,2	3.471.459,00	1841,1	3.686.647,00	2519,4

Identificación y Priorización de los Agentes Amenazantes

A continuación se enuncian las principales agentes amenazantes del sistema de abastecimiento de Zipaquirá, con base en la información existente y la interacción con los administradores del mismo, así:

- Agentes de origen natural: Las amenazas de este tipo se reducen principalmente a la variación del régimen de caudales (Río Frío principalmente), y la afectación sobre las fuentes abastecedoras por causa de los fenómenos hidrológicos analizados. Adicionalmente en las fuentes abastecedoras El Clavel y la Arteza, se presenta un arrastre de sedimentos y productos agrícolas en periodos de crecida lo cual por un lado afecta la calidad del agua en términos de la turbiedad y color especialmente; y por otro puede generar colmatación de las estructuras de captación. En general la calidad del agua de Río Frío se mantiene en condiciones regulares en toda época del año, debido al flujo de productos agrícolas provenientes de la zona agrícola del Páramo de Guerrero.
- Agentes de origen antrópico: Se deben básicamente a dos factores; las condiciones de la infraestructura del sistema y el factor humano:

Las estructuras hidráulicas que componen el sistema de abastecimiento, en general se encuentran desgastadas por el uso prolongado de las mismas y la deficiencia en su mantenimiento, lo cual genera una amenaza latente frente al colapso de parte o la totalidad del sistema.

Existe vulnerabilidad en el canal de aducción del Río Neusa, debido al enraizamiento de los eucaliptos de la zona (Especie foránea, Ver *Ilustración 3*) y al uso continuo por más de 50 años de dicho componente del sistema. Existen estudios y diseños de mejoramiento para la reconstrucción del canal, a la fecha ninguno de ellos ha sido implementado.



Ilustración 3 - Falla en el canal de aducción como consecuencia del enraizamiento de los eucaliptos de la zona

Zipaquirá se abastece en su gran mayoría del agua proveniente del Río Neusa, fuente que de alguna forma se encuentra soportada por la operación del embalse que lleva su

nombre; el cual regula el caudal suministrado por el río tanto en periodos secos como húmedos. Sin embargo asociada a este condensador está parte de la demanda de agua de Bogotá, cuya presión sobre el recurso limita la disponibilidad del mismo para el municipio.

Caracterización de la Zona de Estudio

La caracterización de la zona de estudio está limitada por las cuencas abastecedoras: Cuenca de Río Frío, Sub cuenca de Río Negro y Cuenca de Río Neusa; y la ubicación geográfica de la población abastecida: Municipio de Zipaquirá, cuyas características generales se describen en forma a continuación:

Municipio de Zipaquirá: Localizado a 49 kilómetros de Bogotá en el departamento de Cundinamarca, tiene un área municipal de 194 km² la cual limita por el Norte con Cogua, por el este con Nemocón y Tocancipá, por el sur con Cajicá, Tocancipá, Sopó y Tabio y por el Oeste con Subachoque y Pacho. Además del área urbana, comprende 14 veredas: Páramo de Guerrero, Empalizado, San Isidro; Ventalarga, Río Frío, Barro Blanco, Alto del Aguila, San Jorge, Portachuelo, El Tunal, Barandillas, San Antonio, Paso Ancho y La Granja.

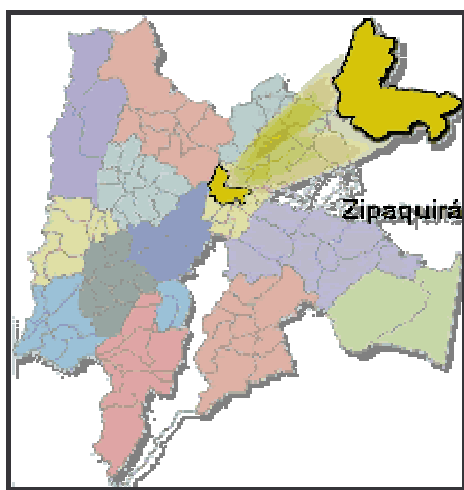


Ilustración 4 - Ubicación de Zipaquirá en el departamento de Cundinamarca

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), en su censo del año 1993, la población Zipaquireña contaba con 69.695 habitantes, de los cuales 60.585 (86.93%) se ubican en la cabecera del municipio y, los restantes 9.110 (13.07%) en el sector rural. Por medio de las proyecciones realizadas por la misma entidad, actualmente la población de Zipaquirá se calcula en 103.234 habitantes, con 90.744 (87.90%) distribuidos en el caso urbano y 12.490 (12.10%) en el sector rural.

Se caracteriza por una intensiva producción agrícola, pecuaria y de recursos minerales como la sal y el carbón. El sacrificio de ganado es uno de los puntos fuertes del municipio a escala regional. Zipaquirá tiene la participación más alta a nivel departamental con el 6.47% de 23.169 cabezas de ganado que es el total del Departamento. Con respecto al cultivo de Papa Zipaquirá es el mayor productor de los de la Sabana Centro aportando el 55.7% del total cultivado. De igual manera, de las 6.879 Ha destinadas por el grupo de municipios, Zipaquirá cultiva el 46 %. Adicionalmente, el municipio aporta mano de obra significativa a otros

municipios en cultivos agroindustriales, principalmente por la cercanía de las partes rurales con la ubicación de las zonas de producción.

Cuenca del Río Frío: Se localiza sobre la vertiente occidental del Río Bogotá, con elevaciones que fluctúan entre 3670 y 2595 msnm. Nace en Zipaquirá en el Cerro Carrasposo, en la región denominada Páramo de Guerrero a 3670 msnm desemboca en el Río Bogotá en el sitio denominado La Balsa a 2595 msnm dentro de la jurisdicción del municipio de Chía.

La cuenca del Río Frío cuenta con una superficie total de 19.736 Ha y un ancho promedio de 6 Km, distribuida en seis municipios del Departamento de Cundinamarca como se observa en la *Tabla 3*. Pertenece a la región Hidrográfica del Río Magdalena, hace parte de la cuenca del Río Bogotá, a la cual entrega sus aguas en la margen derecho del mismo con un área aportante de 195 Km² y longitud de 65 Km. Su extensión total se encuentra dentro de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.

Tabla 3 - Superficie y distribución municipal de la Cuenca del Río Frío²

MUNICIPIO	ÁREA (Ha.)	% ÁREA TOTAL
Zipaquirá	9623.41	48.76
Tabio	5705.56	28.91
Chía	2386.24	12.09
Cajicá	1336.08	6.77
Cogua	258.34	1.31
Cota	426.37	2.16
Área Total	19736	100.0

En su recorrido inicial tiene régimen torrencial y recibe los aportes de las quebradas Guerrero, Aguas Blancas, El Hornillo, Honda, San Diego, y de la laguna Pantano Redondo; los afluentes principales se desarrollan en dirección normal al río y tienen pendientes fuertes, que oscilan entre el 8% y el 10%.

La precipitación media anual en la cuenca del Río Frío varía entre 1160 mm. Y 800 mm. Con las mayores precipitaciones a 3000 msnm y las menores sobre el altiplano (2600 msnm). Estas últimas, obedecen al efecto de abrigo que ofrecen los cordones marginales que lo rodean, haciendo que las nubes ascendentes del flanco occidental lleguen disminuidas a la cuenca.

Subcuenca del Río Negro: El Río Negro nace en el municipio de Cogua en el sector de las Quebradas de Amoladero y Villatina. Sus principales afluentes son las Quebradas El Codito, El Hospital, Salinas y El Tigre. Luego de recorrer las partes altas del páramo y el casco urbano de Zipaquirá desemboca en la zona media del Río Bogotá, aún sobre terrenos zipaquireños.

La subcuenca posee una superficie de 2750 Has, de las cuales 304.7 Has (11.08%) pertenecen al Municipio de Cogua y las restantes 2445.3 (88.92%) comprenden el Municipio de Zipaquirá abarcando la totalidad del casco urbano y buena parte del sector rural; razón por la cual las características del Municipio como clima, geología, hidrología y otros son propios de subcuenca de Río Negro. De las 111 quebradas que nacen en las cordilleras de Zipaquirá,

² CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL CAR, CUENCA DEL RÍO FRÍO Vol. I - Descripción de la situación actual de la cuenca, Bogotá, Dic 1995, p.8.

aproximadamente el 9% alimenta la subcuenca del Río Negro, entre las que se encuentra la Quebrada La Arteza, de la cual se capta agua para el abastecimiento de la población.

Cuenca del Río Neusa: Forma parte de la Hoya Hidrográfica del Río Bogotá, está ubicada en los Municipios de Cogua y Tausa, a una elevación aproximada de 3800 msnm, tiene forma semi-alargada e irregular, con un área de 156 Km², perímetro de 54 Km y pendiente ponderada de 0.19.

La conforman entre los cuerpos de agua más importantes los ríos Guandoque, Salitre, Cubillos y Las Juntas. En la parte central de la cuenca del Río Neusa, se encuentra el embalse de su mismo nombre, ubicado en el municipio de Cogua. Construido en 1948 y en servicio desde 1951, inunda un área de 955 Ha con una capacidad total de almacenamiento de 102 millones de metros cúbicos.

Los más grandes afluentes del embalse son los ríos Guandoque con un flujo de 495 LPS y el río Cubillos con flujo de 2-3 m³/seg (Ver *Tabla 4*). En ambos ríos, principalmente en el segundo se nota una polución doméstica y de pesticidas, por quemas e incendios que significan un peligro para la cantidad y calidad del agua de la represa.

Tabla 4 - Afluentes más importantes del Embalse del Neusa. Fuente CAR

NOMBRE	EXTENSIÓN	FLUJO (m ³ /s)	CONTAMINACIÓN	CAUSAS
Río Guandoque	3.4 Km	0.5	Alto	Polución Doméstica, Pesticidas
Río Cubillos	15.0	2.5	Regular	Pesticidas, Polución Doméstica
Quebrada Blanca	1.5	0.05	Regular	Pesticidas, Polución Doméstica
Quebrada el Chochal	2.6	0.02	Regular	Pesticidas, Polución Doméstica
Quebrada Llano Grande	2.1	0.09	Regular	Polución turística
Quebrada Llano Chiquito	1.7	0.04	Casi nulo	
Quebrada Guanquica	3.1	0.07	Casi nulo	
Quebrada Buenos Aires	1.2	0.025	Regular	Pesticidas
Quebrada Eucalyptus (Peña Blanca)	1.0	0.01	Casi nulo	

Los principales necesidades que soporta el embalse son los caudales de abastecimiento de Zipaquirá, Cogua, Nemocón, parte de la demanda de Bogotá, riego e irrigación, uso industrial, recreativo y ecológico.

Para el abastecimiento de los requerimientos de Bogotá, el Embalse del Neusa opera conjuntamente con los embalses de Sisga y Tominé, cuyas aguas embalsadas son utilizadas en una proporción 20%, 30% y 50% respectivamente para satisfacer la demanda de Bogotá sobre los mismos; considerando que el Embalse del Neusa es de regulación estacional con un caudal medio de 1.5 m³/s, Sisga es de regulación anual con un caudal de 2.5 m³/s y Tominé es de regulación multianual con un caudal de 4 m³/s. Así mismo para garantizar el caudal requerido por Zipaquirá, Cogua y Nemocón el embalse descarga como mínimo un caudal de 0.5 m³/s.

En general la cuenca esta bien instrumentada con un amplio record de registros hidrometeorológicos a partir de los cuales se estima:

- Precipitación promedio anual: 1020 mm. El mes de enero, con 40 mm o menos de precipitación media, es el más seco. El mes más lluvioso (octubre) recibe por lo menos tres veces más lluvia que el mes más seco.
- Temperatura media anual: 10.34 °C
- Temperatura máxima anual: 18.20 °C
- Temperatura mínima anual: 3,34 °C

En la *Ilustración 5* se esquematiza la distribución de las cuencas de interés con respecto al municipio de Zipaquirá y más específicamente su casco urbano.

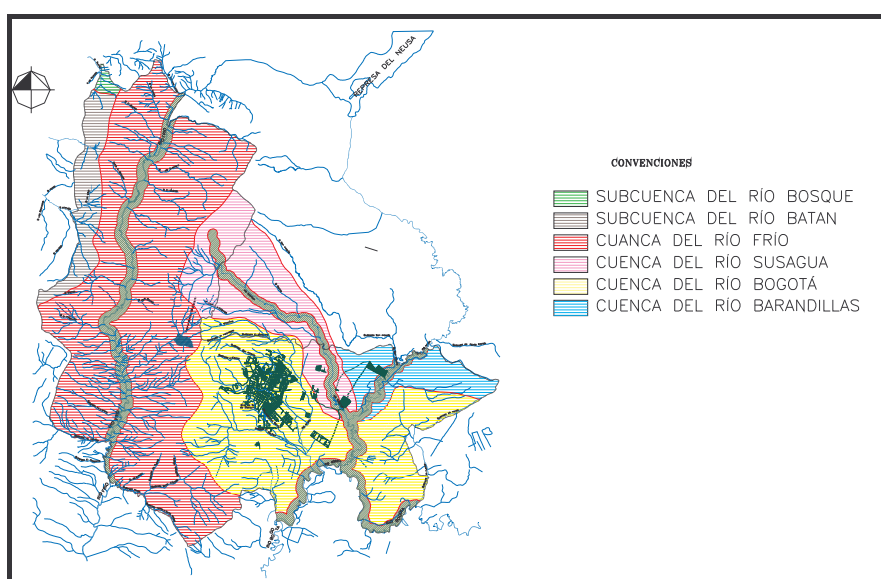


Ilustración 5 - Ubicación de las cuencas de interés y el municipio de Zipaquirá

Formulación del Problema a Nivel Preliminar

De acuerdo con el objetivo del proyecto y de la metodología, la evaluación del riesgo se fundamenta en el análisis de los efectos generados por la variabilidad del régimen hidrológico y fenómenos relacionados al cambio climático global, El Niño y La Niña, sobre las fuentes abastecedoras del sistema de suministro de agua potable en Zipaquirá a nivel urbano; a partir de los cuales el volumen ofertado por las mismas se ve disminuido, comprometiendo la disponibilidad de agua para satisfacer la demanda de la población servida, ubicada dentro del perímetro sanitario del casco urbano de Zipaquirá (100% de la población urbana y 5% de la rural).

Dado que la evaluación del riesgo de desabastecimiento se centra sobre las fuentes abastecedoras, el componente de interés para nuestro estudio corresponde a dos (2) subsistemas de captación y tres (3) zonas de distribución, así:

- Subsistema de Río Frío – Q. La Arteza: Constituido por el Río Frío y las Quebradas La Hoya, El Borrachero, El Clavel y La Arteza, los cuales abastecen la zona Alta del Municipio limitada por la cota 2630 msnm.
- Subsistema de Río Neusa: Conformado por el Río Neusa el cual abastece las zonas Media y Baja del Municipio, ubicadas por debajo de la cota 2630 msnm.

En la *Tabla 5* y la *Ilustración 6* se resumen las proporciones de cada uno de los subsistemas y zonas de distribución mencionadas, los cuales fueron obtenidas a partir de la información de usuarios deducidos para el año 2001 y los valores aproximados de caudal captado en las fuentes abastecedoras en la actualidad; datos suministrados por la entidad prestadora del servicio.

Tabla 5 - Caudales de captación por fuente abastecedora para el municipio de Zipaquirá

ZONA DE ABASTECIMIENTO	SISTEMA DE CAPTACIÓN	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	CAUDAL CONCESIONADO (lps)	CAUDAL CAPTADO (lps)
ZONA ALTA	RÍO FRÍO - LA ARTEZA	RIO FRIO	16,7	12
		Q. LA HOYA	4	6
		Q. BORRACHERO	13	18
		Q. EL CLAVEL	11	15
		Q. LA ARTEZA	2,92	10
ZONAS MEDIA Y BAJA	RÍO NEUSA	RIO NEUSA*	-	300
TOTAL CONCESIONADO Y CAPTADO (lps)			47.62	361

Pese a que la estimación de los usuarios hecha en el 2001 no es reciente, dado que hasta el momento no se ha establecido un catastro de usuarios que permita determinar la cantidad de consumidores por zona; es tomada para este análisis en su etapa preliminar, ya que proporciona un estimativo de su proporción y por ende de la participación de cada subsistema de abastecimiento en la demanda, a partir de lo cual se obtiene la *Ilustración 7*.

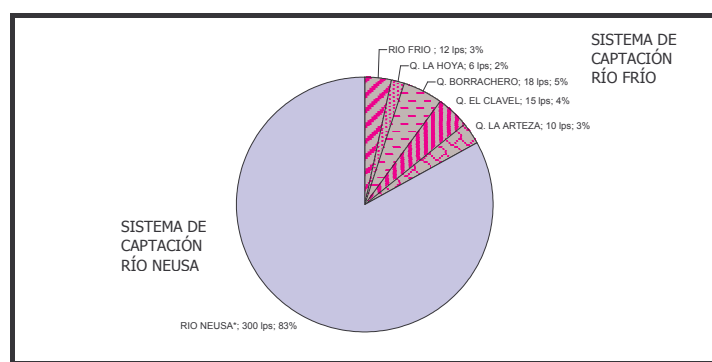


Ilustración 6 - Distribución porcentual del caudal captado. Municipio de Zipaquirá.

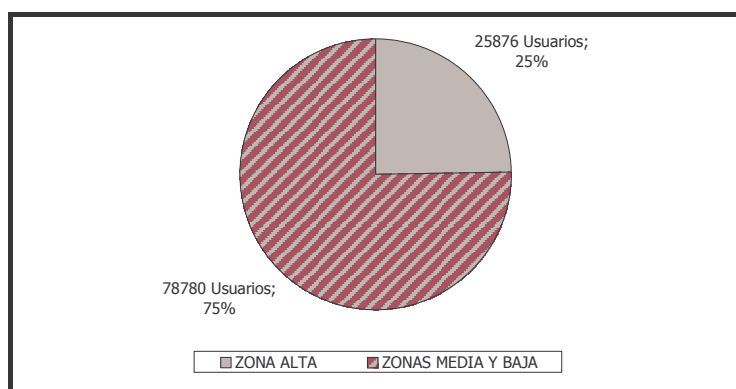


Ilustración 7 - Distribución porcentual de la demanda por zonas de abastecimiento. Municipio de Zipaquirá.

Así mismo, a partir de lo registros de facturación para los últimos tres años (2002-2003-2004, Tabla N° 6) suministrados por la EAAAZ, se deduce que los estratos socioeconómicos con mayor participación en el servicio prestado por la empresa son los estratos 2 y 3, y los de menor participación son los estratos 5 y 6. A su vez la variación en el volumen facturado, representado en las Ilustración N° 8 y 9, está dado por una tendencia en general creciente para todos los sectores pero caracterizada por los siguientes incrementos y decrementos porcentuales mostrados año tras año.

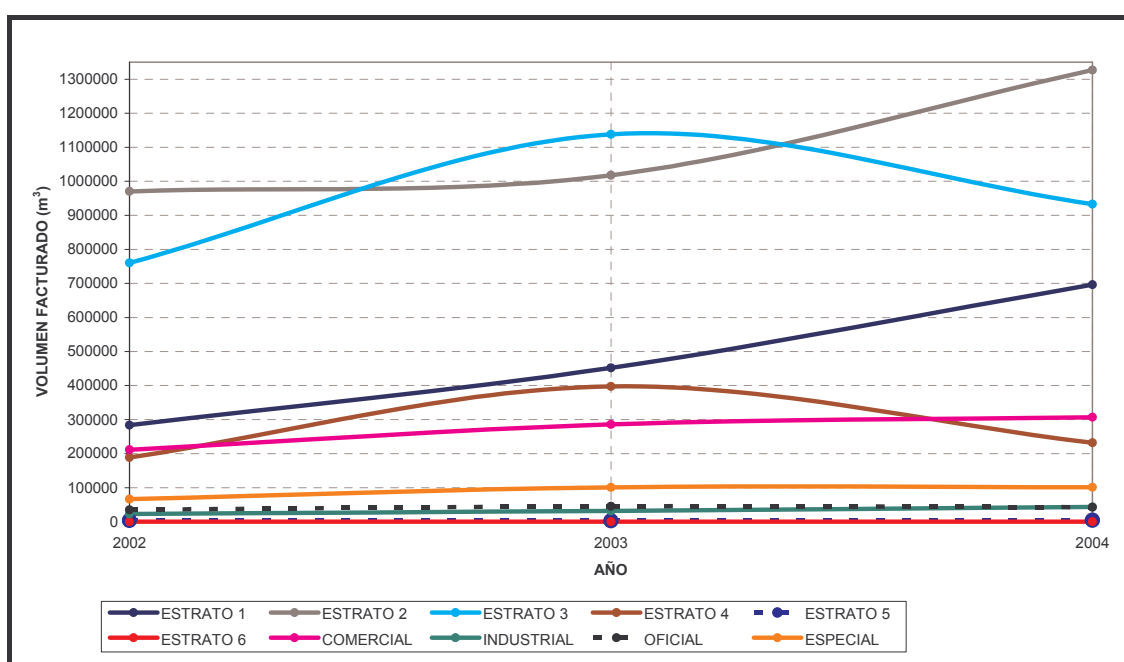


Ilustración 8 -Variación del volumen facturado para cada estrato y sector socioeconómico en el año 2002, 2003, 2004. Municipio de Zipaquirá.

Tabla 6 - Incremento porcentual del volumen facturado en el periodo registrado (2002-2004)

ESTRATO	METROS CUBICOS FACTURADOS EN ACUEDUCTO Y SU VALOR EN MILLONES			INCREMENTO PORCENTUAL DEL VOLUMEN FACTURADO		
	2002	2003	2004	2002-2003	2003-2004	2002-2004
	M3	M3	M3	%	%	%
ESTRATO 1	283.560,00	452.043,00	696.282,00	37%	35%	59%
ESTRATO 2	970.314,00	1.017.932,00	1.326.692,00	5%	23%	27%
ESTRATO 3	760.664,00	1.137.795,00	933.240,00	33%	-22%	18%
ESTRATO 4	188.746,00	397.435,00	231.787,00	53%	-71%	19%
ESTRATO 5	3.892,00	2.649,00	4.414,00	-47%	40%	12%
ESTRATO 6	-	-	129,00	0%	100%	100%
COMERCIAL	211.341,00	285.984,00	307.043,00	26%	7%	31%
INDUSTRIAL	22.423,00	31.726,00	43.131,00	29%	26%	48%
OFICIAL	35.020,00	45.178,00	42.405,00	22%	-7%	17%
ESPECIAL	66.084,00	100.717,00	101.524,00	34%	1%	35%

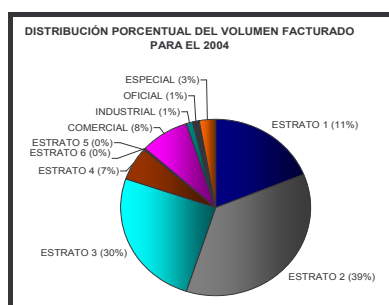


Ilustración 9 - Distribución porcentual del volumen facturado para el 2004. Municipio de Zipaquirá.

El anterior planteamiento se resume en el esquema de la Ilustración N° 10 donde se identifican los agentes amenazantes, los elementos expuestos y el factor de presión sobre el sistema, relacionado con la demanda asociada al mismo.

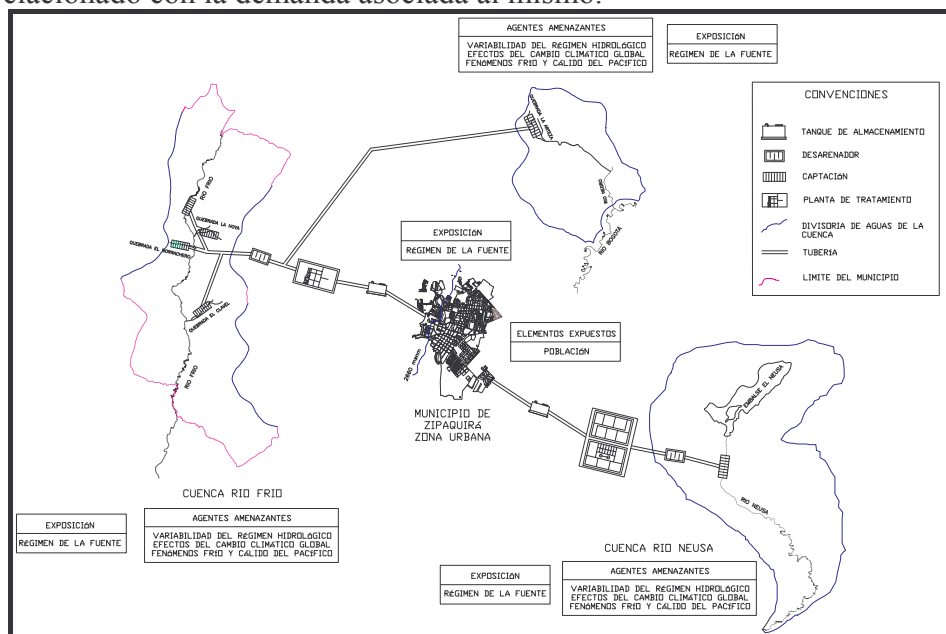


Ilustración 10. Esquema del enfoque del análisis para el sistema de abastecimiento de Zipaquirá.

IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DEL SISTEMA

Dado que la demanda de Zipaquirá se soporta sobre dos subsistemas: Río Neusa y Río Frío – La Arteza, no se discrimina la demanda servida por cada una de las fuentes que lo componen, en la medida en que una vez el agua es captada y conducida a la planta de tratamiento, su distribución se realiza de forma independiente al origen de la misma y con base en el subsistema que la trata. En este sentido no existe información de la demanda asociada a cada fuente, por lo que el análisis debe ser planteado en dos frentes: Río Frío – La Arteza incluidas sus cinco fuentes, y Río Neusa.

Con base en el criterio de selección establecido en la metodología propuesta, para el cual se considera como componente crítico aquel que abastezca un porcentaje mayor al 10% de la población servida, se identifican los puntos críticos del sistema de abastecimiento del Municipio de Zipaquirá:

- El sistema de captación Río Frío – La Arteza, pese a que no soporta la mayor proporción de la demanda (25%), es crítico en la medida que sirve más del 10% de la población beneficiada por el sistema y, debido a que dicha demanda técnicamente no puede ser servida por fuentes alternativas, dada a la inaccesibilidad a las mismas.
- El abastecimiento por parte del Río Neusa, se considera crítico en la medida que soporta el 75% de la demanda, lo que genera un grado de dependencia importante de la fuente. Pese a lo anterior, la percepción sobre la misma es de “aparente invulnerabilidad”, ya que la bocatoma de Zipaquirá por ser la primera después del embalse del Neusa (con un caudal garantizado de 0.5 m³/s), posee una posición ventajosa frente a otros sistemas de abastecimiento. Esta situación no es totalmente cierta, ya que la operación del Embalse en realidad está regulada por los requerimientos de agua de Bogotá en conjunto con los embalses de Sisga y Tominé, lo que obliga a Zipaquirá a dejar pasar el agua suficiente para satisfacer tal demanda, limitando sus posibilidades de abastecimiento con respecto a esta fuente y la demanda de la capital.

ENFOQUE DE LA EVALUACIÓN EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ

Hasta el momento se han determinado las variables a considerar dentro de la evaluación del riesgo, las cuales delimitan los alcances de la misma; ahora con base en la información recopilada a esta altura de la investigación y el conocimiento actual del sistema de abastecimiento se establece el enfoque inicial de la evaluación:

Subsistema de Abastecimiento Río Frío – Q. La Arteza

Este subsistema está conformado por cinco (5) fuentes abastecedoras de tipo superficial: Q. La Hoya, Q. El Clavel, Q. El Borrachero y Río Frío (todas afluentes de este último) y la Q. La Arteza (afluente de Río Negro), por lo que la evaluación de la oferta se centra sobre las cuencas de Río Frío y Río Negro y la evaluación de la demanda sobre la zona alta del municipio de Zipaquirá. Para establecer la estrategia de evaluación de la oferta, inicialmente es necesario determinar las estaciones hidrometeorológicas que pueden utilizarse para el análisis. Para la cuenca del Río Frío existen algunas estaciones limnimétricas en la zona donde están ubicadas las bocatomas del acueducto, a partir de las cuales sería posible

establecer el régimen de afluencias al mismo. En la sub - cuenca de Río Negro por su parte no existe ninguna estación limnimétrica ni antes ni después de la bocatoma, por lo que el régimen de afluencias para este punto de toma debe ser determinado a partir del análisis del rendimiento hídrico de la totalidad de la zona, con base en el cual se generalizan las afluencias para así determinar el volumen ofertado por la fuente a la altura del punto de captación.

Las consideraciones ambientales para protección de fuentes frágiles y condiciones de estiaje son establecidas para cada fuente a partir de su régimen, mientras que por su parte, el factor de reducción por la presión sobre la fuente corresponde al índice de escasez determinado tanto para la totalidad de la cuenca de Río Frío como para la de Río Negro, dada la dificultad para estimar la oferta y la demanda asociadas a cada fuente específicamente.

En cuanto a la demanda, es necesario determinar el volumen demandado por los habitantes de esta zona que según información preliminar está constituida por los requerimientos de 25876 usuarios aproximadamente.

Subsistema de Abastecimiento Río Neusa

La evaluación del subsistema del Río Neusa está limitada por su cuenca, y la zona de distribución media y baja del municipio cuya demanda es abastecida por medio de esta fuente. Pese a que el volumen de información para la oferta es más que suficiente dada la instrumentación de la misma y la longitud de sus registros, su evaluación constituye un caso especial, por el hecho de que el Río Neusa está amortiguado por el Embalse que lleva su nombre y su régimen de afluencias no se encuentra directamente influenciado por los fenómenos hidrológicos al encontrarse regulado por medio de la estructura hidráulica (Ver Ilustración N° 11). Otro factor de aumento en la complejidad de la evaluación se encuentra en el hecho que el Embalse el Neusa trabaja en conjunto con el Embalse del Sisga, por lo que habría la necesidad de identificar la dependencia real de los dos para definir el planteamiento del problema.

- En este caso específico se plantean tres alternativas de análisis:
 - Analizando el volumen de control entre el punto de descarga del embalse y el río aguas arriba de la toma, se considera como oferta las descargas del Embalse, teniendo en cuenta el tiempo de funcionamiento del mismo (más de 50 años), y su registro histórico (afluencias, descargas y volúmenes), el cual proporciona las herramientas para establecer el régimen hidrológico de la fuente abastecedora como oferta para el sistema siendo este último uno de los datos de entrada para el desarrollo de la metodología.
 - Considerando como volumen de control únicamente al embalse, se deben estimar los regímenes de entrada y salida al mismo, este último establecido a partir de la función de producción del embalse con base en la cabeza hidráulica del mismo, los factores limitantes y restricciones por régimen ambiental de caudales y presión sobre el sistema (demanda soportada por el mismo). Esta función debe ser optimizada teniendo en cuenta los criterios de operación del embalse; de donde se deducen sus reglas de despacho que condicionan la oferta para el sistema.
 - Finalmente analizando el volumen de control definido tanto por el embalse como por el Río a la altura del punto de captación, lo cual combinaría los dos planteamientos descritos anteriormente.

Es de resaltar que bajo cualquiera de los anteriores enfoques la demanda es estimada bajo los requerimientos de la zona media y baja de Zipaquirá por ser el sistema de abastecimiento analizado; ya que las restantes demandas que generan presión sobre el río incluida Bogotá se consideran dentro del Índice de Escasez de la respectiva cuenca.

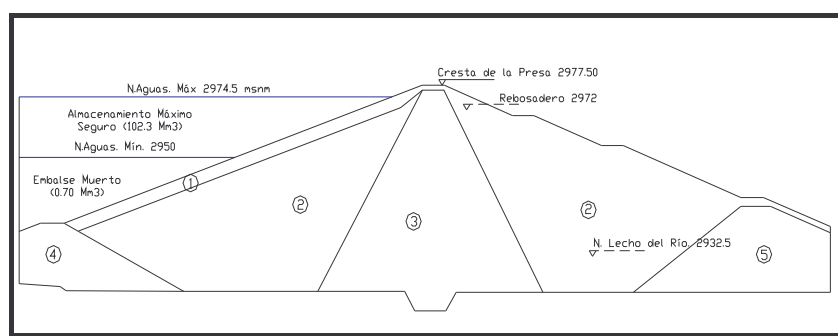


Ilustración 11 - Características hidráulicas e hidrológicas que intervienen en la operación del Embalse

CONCLUSIONES

El proceso de evaluación planteado con el presente proyecto, constituye la primera parte de toda una línea de investigación, cuya continuación conllevará a la refinación del marco metodológico establecido y el caso de estudio.

En general, el sistema de abastecimiento de Zipaquirá es de gran utilidad para la concepción, desarrollo, análisis de sensibilidad y refinación de la metodología, en la medida que dentro de un único sistema se consideran casos tan complejos y con amplia disponibilidad de información hidrometeorológica como el del embalse del Neusa; y de aplicación general como el caso de Río Frío y Río Negro cuya disponibilidad de información es de intermedia a escasa respectivamente; posibilitando así su extrapolación a diferentes sistemas de abastecimiento del país. Obviamente en cada caso se considera la estrategia de análisis particular pero siguiendo una metodología unificada.

El abastecimiento de la fuente Río frío – La Arteza, se considera como de mayor riesgo de desabastecimiento, ya que la fuente Río Neusa, de una forma u otra genera seguridad por la existencia del Embalse de su mismo nombre, el cual actúa como elemento amortiguador. Sin embargo dichas apreciaciones deben ser reevaluadas y replanteadas a partir de un análisis de este tipo.

Por medio del presente proyecto se plantea una metodología de aplicación general, para analizar los diferentes niveles de riesgo a los que está expuesto un sistema de suministro de agua potable en ciudades y municipios, analizándolo como un sistema productivo cuya funcionalidad depende de la disponibilidad suficiente del recurso según los requerimientos de agua ejercidos por la población. Con base en lo anterior este trabajo se justifica claramente, dado que en la medida en que los municipios conozcan la vulnerabilidad de sus sistemas de abastecimiento, es posible la implementación de programas de planificación del mismo. Adicionalmente permitirá a las empresas prestadoras del servicio la estructuración de un horizonte de actividades para la administración y optimización del recurso dentro de los lineamientos ambientales, mejorando sus indicadores de gestión.

REFERENCIAS

Cortés. V, Pineda. M, Ortiz. R, Domínguez. E, *Metodología De Análisis Y Proyección Del riesgo En Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable*. Universidad Nacional de Colombia. 2005.

C.A.R. *Sistema De Regulación Para Abastecimiento En La Sabana De Bogotá. Características Hidráulicas E Hidrológicas*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Subdirección de Operaciones. División de Hidrometeorología y Embalses. Bogotá. 1995. 34 pp.

Corporación Autónoma Regional Car. Cuenca Del Río Frío. *Descripción De La Situación Actual De La Cuenca*. Dic/95. Volumen I

Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Bogotá Eaab. *Estudio Para La Definición De Los Planes Maestros De Acueducto Y Alcantarillado Para El Municipio De Zipaquirá*. Bogotá. 2000.

Plan De Ordenamiento Territorial (Pot). Municipio De Zipaquirá. 2000.