

ESPECIALIZACION EN PLANEACION AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

TRABAJO DE GRADO

**TITULO DEL PROYECTO: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD EN FUENTES
HÍDRICAS SUPERFICIALES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS FRENTE
AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO SUBIA EN LOS
MUNICIPIOS DE FUSAGASUGA, GRANADA Y SILVANIA**

**PRESENTADO AL PROFESOR: Fernando Ortiz Cárdenas
PRESENTADO POR: María Teresa Mecon Castillo
Código 2700669**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
BOGOTA D.C MAYO DE 2016**

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD EN FUENTES HÍDRICAS SUPERFICIALES ABASTECEDORAS DE ACUEDUCTOS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO SUBIA EN LOS MUNICIPIOS DE FUSAGASUGA, GRANADA Y SILVANIA

ANALYSIS OF VULNERABILITY IN THE SURFACE WATER SOURCES THAT CATERERS THE AQUEDUCTS VERSUS TO CLIMATE CHANGE IN THE RIVER BASIN SUBIA, IN THE MUNICIPALITIES OF FUSAGASUGA, GRANADA AND SILVANIA.

María Teresa, Mecon Castillo
Ingeniera Ambiental, Bogotá, Colombia., mariateresa.mecon@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio determinó los indicadores hidroclimáticos que componen el índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento (IVH) que “denota el grado de fragilidad de la cuenca hidrográfica para mantener una oferta”, de acuerdo a esto y al Estudio Nacional de Agua (ENA), departamentos como Boyacá y Cundinamarca presentan un alto grado en la escala de vulnerabilidad, relacionando el índice de uso del agua (IUA) muy alto y una regulación muy baja (IRH).

Una vez determinado el conjunto de indicadores para llegar el IVH se procedió a analizar el desabastecimiento en relación con los bajos caudales en las fuentes hídricas (estiaje), es importante resaltar que aún en los periodos de lluvia (torrencialidad) se presentan contextos de desabastecimientos debido a los daños que sufren las bocatomas y sistemas de tratamiento.

Una correcta decisión frente al desabastecimiento de agua mejoraría la salud de la población, principalmente, en la disminución de enfermedades gastrointestinales causadas por el consumo de agua no tratada, a su vez, evitaría la fuga de recursos en soluciones poco efectivas y más duraderas, aclararía la prospectiva de los municipios a los cuales la gestión pública no se presta de manera constante.

No se puede responsabilizar a la variabilidad climática como el precursor de un desabastecimiento en acueductos, teniendo en cuenta que los sistemas de aducción y conducción del preciado líquido tienen pérdidas superiores al 30% por falta de mantenimientos estructurales, inversión y conocimiento de la dinámica hídrica de la zona.

Palabras claves: Desabastecimiento, vulnerabilidad y Cambio Climático.

ABSTRACT

This study determined the hydroclimatic indicators making up the index of hydric vulnerability by shortage (IVH, acronym in Spanish) which "denotes the fragility level of the river basin to maintain a supply of water," according to this and the National Water Study (ENA, acronym in Spanish) departments like Boyacá and Cundinamarca would have a high degree on the scale of vulnerability, which relates the rate of water use (IUA, acronym in Spanish) very high and a water regulation (IRH, acronym in Spanish) very low.

Once determined the set of indicators to reach the IVH, proceeded to analyze the shortage in relation to the low flows in water sources (drought.), it is important to note that even in periods of rain (torrential) there is shortages, because damage in the treatment systems.

A decision right versus against water shortages would improve the health of the population, mainly in the decrease of gastrointestinal diseases caused by drinking untreated water, in turn, would avoid leakage of resources in ineffective and more durable solutions, would clarify the prospect of the municipalities, where the public administration does not lend itself constantly.

You can not to blame climate variability as precursor of a shortage in the water supply systems, taking into account that systems adduction and conduction of the precious liquid has losses greater than 30% due to lack of structural maintenance, investment and knowledge of hydric dynamics of area.

Key words: Shortages, vulnerability and Climate Change.

INTRODUCCIÓN

La "cantidad" del recurso hídrico disponible para el abastecimiento de acueductos municipales rurales se ve alterada por el Cambio Climático, que se traduce en la necesidad de conocer las consecuencias sociales, económicas, ambientales y sanitarias, principalmente, frente a la disminución de los volúmenes de captación de agua en las bocatomas municipales rurales.

Tal situación, se ignora en las ciudades donde se concentra la mayor población colombiana como es el caso de Bogotá, Barranquilla, Medellín, Cali, entre otras; por tener acceso al recurso de manera inmediata y sin interrupciones, las consecuencias del fenómeno de Cambio Climático, aparentemente natural según algunos expertos en el tema, vuelve vulnerable a todos los consumidores del recurso, debido a que las zonas de recarga hídrica se ubican generalmente en zonas rurales.

El cambio climático entorpece la lucha contra la pobreza a través del desabastecimiento de agua potable, el incremento en la incidencia de enfermedades y la reducción de la productividad agrícola, que afecta tanto el ingreso de los campesinos, como el precio de productos alimentarios [1].

Las inundaciones y los deslizamientos son los eventos que afectan al sector con más frecuencia y con un mayor número de registros, seguidos por los sismos; sin embargo, las sequías empiezan a ser cada vez más importantes, debido al crecimiento de la población y en consecuencia de la demanda de agua, lo que está ocasionando la vulnerabilidad de los sistemas [2].

Se prevé que hacia el 2015 el 66% de los municipios estarán en alto riesgo de desabastecimiento de agua, y para el 2025 las dificultades cobijarían al 69% de las poblaciones del país [3]; en la que los principales afectados será la población que se concentran a lo largo de las cordilleras, en las que se ubican principalmente las fuentes de abastecimiento, sin dejar de lado que aquellos que tienen un servicio más que intermitente serán los más afectados.

Los efectos más notorios de un inminente Cambio Climático son el incremento en las temperaturas, variación en los regímenes de precipitación, baja productividad de los suelos a causa de la escorrentía, el aumento en la frecuencia de los eventos naturales y fenómenos climáticos, que tienen resultados negativos en la seguridad alimentaria y disponibilidad de alimentos, disparando los índices de desnutrición en los niveles sociales más bajos [4].

Casos recientes de sequía llevaron a racionamientos en el servicio de acueducto y alcantarillado, porque las fuentes de aguas fueron asignadas de manera prioritaria a otros usos o consideradas para la demanda de otros sectores. En el 2007 se presentaron más de 20 casos de emergencias por sequía o lluvias en diferentes municipios del país, en los que se afectó la continuidad y calidad del servicio. El diseño, operación y mantenimiento de los sistemas no han sido adaptados para enfrentar los eventos generados por el exceso o déficit de oferta hídrica, cambios climáticos o contaminación [5].

Existen herramientas directas e indirectas que permiten establecer la vulnerabilidad al desabastecimiento por fenómenos de estiaje o torrencialidad, que podrían ser parte del diagnóstico de escenarios futuros en cuencas y subcuencas con vulnerabilidades calificadas en altas y muy altas, en una escala que va desde muy baja hasta muy alta, siendo pertinentes para la toma de iniciativas de prevención.

Se determinaron los indicadores hidroclimáticos que componen el índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento (IVH) que “denota el grado de fragilidad de la cuenca hidrográfica para mantener una oferta” [6], de acuerdo a esto y al Estudio Nacional de Agua (ENA) [7] departamentos como Boyacá, y Cundinamarca presentan un alto grado en la escala de vulnerabilidad, relacionando el índice de uso del agua (IUA) muy alto y una regulación muy baja (IRH).

La coyuntura en la determinación del grado de vulnerabilidad en las fuentes de abastecimiento de las cabeceras municipales avala la obligación de incluir los riesgos potenciales mediante un análisis de vulnerabilidad por parte de quienes establecen las medidas de contingencia y emergencia en la prestación del servicio público de acueducto [8].

Un estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia [9] alertó a nación al afirmar que:

(...) la primera crisis de agua que va a vivir el país será en el año 2015, donde habrá un 66 por ciento de población colombiana en alto riesgo de desabastecimiento de agua, como consecuencia del alto grado de contaminación de las fuentes superficiales de agua y a la utilización de las aguas subterráneas que estaban siendo guardadas para las futuras generaciones (...).

Una vez determinado el conjunto de indicadores para llegar el IVH se procedió a analizar el desabastecimiento en relación con los bajos caudales en las fuentes hídricas (estiaje), es importante resaltar que aún en los periodos de lluvia (torrencialidad) se presentan contextos de desabastecimientos debido a los daños que sufren las bocatomas y sistemas de tratamiento, en general; esto sin contar fenómenos de remoción en masa o abnegación de los ríos que asientan más la problemática.

Infortunadamente no se tiene conocimiento ni una clara priorización de las principales cuencas y subcuencas que sufrirían un mayor impacto ante eventos de torrencialidad o sequía en Colombia, esto contando solo para aquellas que poseen una ubicación geográfica definida.

Correlacionar el cambio climático con el desabastecimiento en fuentes hídricas en los municipios que se ubican en la cuenca del Río Subia, permite realizar adaptaciones en el fortaleciendo de la infraestructura de acueductos, el ordenamiento del territorio, la generación de una conciencia social y el desarrollo de prácticas productivas sostenibles, propiciará el ahorro y uso eficiente del recurso.

Una correcta decisión frente al desabastecimiento de agua mejoraría la salud de la población, principalmente, en la disminución de enfermedades gastrointestinales causadas por el consumo de agua no tratada, a su vez, evitaría la fuga de recursos en soluciones poco efectivas y más duraderas, aclararía la prospectiva de los municipios a los cuales la gestión pública no se presta de manera constante.

El presente artículo no solo recoge, analiza y correlaciona los datos tomado *in situ* y registros hidroclimáticos, planteando circunstancias que no solo deberán ser atendidos con urgencia, sino también genera la necesidad de abordar el Cambio Climático como el detonante de muchas afectaciones socio económicas en el territorio nacional, tomando como estudio piloto los municipios de Fusagasuga, Granada y Sylvania en la cuenca del Río Subia.

1. METODOLOGÍA

La determinación de la vulnerabilidad hídrica de una cuenca, se logra a través de la aplicación de la metodología propuesta por el Instituto de Hidrología, Meteorología

y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) en el 2011, en la que busca establecer marcos de desabastecimiento ya sea por fenómenos de torrencialidad o estiaje.

El análisis de la incidencia del cambio climático en la vulnerabilidad de fuentes hídricas superficiales inicia con la caracterización morfométrica y climática de la cuenca del Río Subia, información que fue tomada de la tesis de pregrado titulada “Caracterización cuantitativa de los escenarios de oferta, distribución y demanda del patrimonio hídrico en la cuenca del Río Subia en los municipios de Silvania, Granada, Cundinamarca” [10].

1.1. LOCALIZACIÓN

La cuenca del Río Subia se ubica en la subzona hidrográfica del Río Sumapaz, comprendida en la zona del alto Magdalena que a su vez conforman el área hidrográfica del Magdalena – Cauca [11].

La cuenca del Río Subia posee un área de 120.87 km² que corresponden al 75% del área del Municipio de Silvania y el 25% del Municipio de Granada, recoge el agua de las quebradas Chiquinquirá, La Victoria, Puente de Piedra, Carbonera, Guachuni, Quebrada Honda y Yayatá [12].

En particular, la morfología de cuencas de drenaje ha reunido un conjunto de parámetros que representan propiedades inherentes al sistema fluvial. Horton [13], Schumm [14] y Strahler [15] fueron pioneros en la caracterización morfológica cuantitativa de cuencas de drenaje. De este modo, la caracterización geomorfológica se realizó consultando los planes y esquemas de Ordenamiento Territorial de cada Municipio, de tal manera que permitiera obtener una visión más globalizada en su relación con la dinámica hídrica de la Cuenca.

La dinámica hídrica asociada a la morfometría en el municipio de Silvania presenta cursos surcados y fuertes desniveles estabilizados por afloramientos estructurales, característicos de cauces con corrientes fuertes. El sistema hídrico del municipio cuenta con siete microcuencas del Río Subia y un drenaje directo, dos microcuencas y dos drenajes directos sobre el Río Barroblanco y cuatro drenajes directos sobre el Río Los Panches [12].

Se integraron las variables de precipitación, temperatura y caudal de las principales estaciones climatológicas (CP), limnigráficas (LG) y limnimétricas (LM) ubicadas dentro del perímetro de la cuenca, éstas se encuentran bajo el control y administración del IDEAM y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), por lo que fue necesario solicitar los registros a cada una de las entidades.

La caracterización hidrológica se realizó con registros medios mensuales de precipitación y temperatura de las estaciones climatológicas principales ubicadas dentro del perímetro de la cuenca. Para el análisis de caudal se recogieron valores de nivel diario de las estaciones disponibles, permitiendo así la elaboración de las

curvas de duración de caudales, con el fin de obtener aquellos índices de vulnerabilidad que permiten conocer las condiciones para un desabastecimiento.

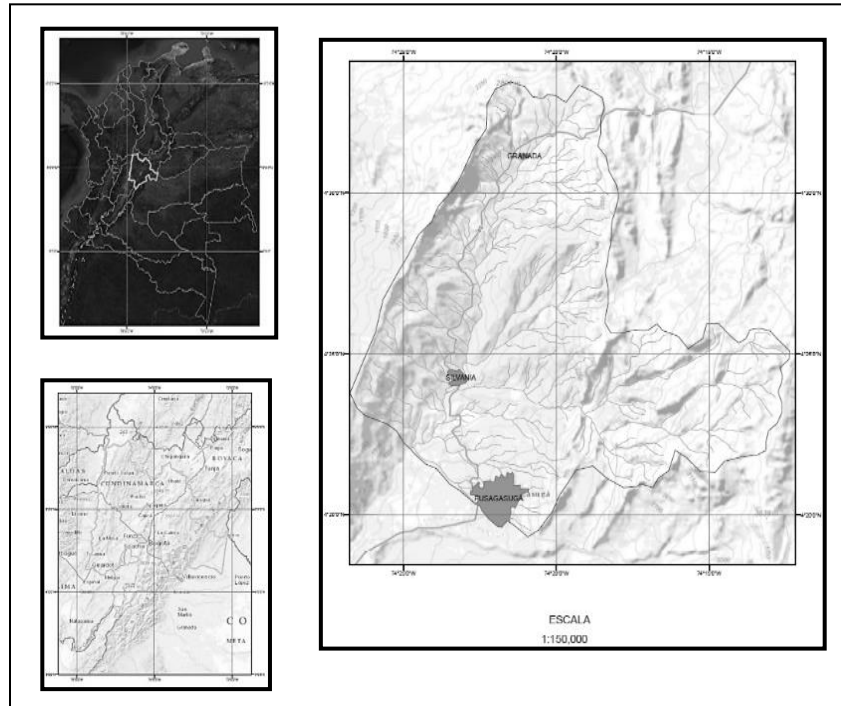


Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de estudio.
Fuente: Mecon & Salazar, 2013

La selección de estaciones se llevo a cabo teniendo en cuenta tres criterios. El primero de estos, hace referencia a que las estaciones LG y LM deben tener un mínimo de 10 años de funcionamiento continuo. El segundo, determina que estas deben estar ubicadas dentro del perímetro de la cuenca del Río Subia. Finalmente, el tercero, fija que estas deben tener por lo menos el 80% de registros, ya sean anuales, mensuales y diarios.

Para definir el índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento fue necesario integrar: el Índice de Regulación (IRH), que relaciona el volumen bajo la línea del caudal medio (V_p) y el volumen bajo la curva de duración de caudal (V_t), así: $IRH = V_p / V_t$; la Demanda Hídrica Sectorial (D_h) y su relación directa con la oferta hídrica superficial disponible (O_h); el Índice Morfométrico de Torrencialidad (IFM), que relaciona el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la curva y la densidad de drenaje, partiendo del hecho que las características físicas de la cuenca inciden en el regimen de caudales y escorrentías; el Índice de Variabilidad Hídrica (IVH), que se obtiene de la curva de duración de caudales, en la que se muestra como es la variabilidad de estos en una determinada zona, siendo una cuenca torrencial, aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, que existen grandes diferencias entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos [11].

Luego de la valoración de los indicadores, se procedió a interpretar los resultados obtenidos al entrelazar el IRH y el Índice de Usos del Agua (IUA) que arrojó un la vulnerabilidad por torrencialidad; el IFM frene al IVH que presenta un marco de vulnerabilidad por estiaje, mostrando así dos posibles ambientes en una misma zona.

Una vez definido los indicadores se procedió a identificar los escenarios de vulnerabilidad de acuerdo a la georreferenciación en los puntos de captación de los acueductos rurales y urbanos en los municipios de Fusagasugá, Granada y Sylvania, relacionados en la información suministrada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios a través del Sistema Único de Información (S.U.I).

Unas vez evaluado el grado de vulnerabilidad hídrica en los acueductos de los municipios de Fusagasugá, Granada y Sylvania se estudio el componente de cambio climático y su relación con el desarrollo o aumento en la frecuencia de este tipo de situaciones, resaltando las implicaciones económicas, sociales, culturales y ambientales que han visto durante los último años, en los que los fenómenos niña y niño se ha comportado de manera extrema, golpeando a las poblaciones más desfavorecidas y alejadas de las grandes urbes.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La dinámina hídrica esta asociada a la morfometria y relieve de la cuenca, que la comprenden los siguientes parámetros: área, perímetro, forma, Pendiente Media del Cauce Principal, Pendiente Media de la Cuenca y Altura Media (H₅₀), que se muestran a continuación.

Tabla 1. Morfología y Relieve de la Cuenca del Río Subia

Características	Unidad	Valor
Área	Km ²	162
Perímetro	Km	56,7
Índice de Gravelius	-	1,25
Densidad de drenaje	Km / Km ²	1.5
Pendiente Media de la Cuenca	Grados	0.02

Fuente: Caracterización Cuantitativa de los Escenarios de Oferta, Distribución y Demanda del Patrimonio Hídrico en la Cuenca del Río Subia en Municipios de Sylvania y Granada Cundinamarca (Gomez I. , 2010)

La Cuenca del Río Subia está conformada por la corriente principal que lleva este mismo nombre, recoge las aguas de las siguientes quebradas principales: El Soche, Río Seco, Guasimal, Q. Santa Helena, San Raimundo, Porvenir, Chiquinquirá, Chuscales, San Isidro, Honda, Victoria, Guachiní, Yayatá, Río Barroblanco, Las Pilas, Sabaneta y Los Sauces.

La cuenca del Río Subia pertenece al área geográfica de los municipios de Granada, Silvania y Fusagasugá, operadas por el IDEAM y la CAR, de los cuales solo estos dos últimos cuentan con estaciones de monitoreo hidrológico, de este modo, se escogieron cuatro estaciones que cumplieron con los criterios de selección establecidos; dos LG y dos CP, con series entre 10 y 30 años.

Tabla 2 Estaciones Hidrometeorológicas seleccionadas para el estudio en la Cuenca Río Subia

Código	Estación	Corriente	Tipo	Fecha Insta.	Operadora	Series	Elev. m.s.n.p .m	Ubicación Geográfica					Municipio	
								0	2	N	7	2		W
21195120	ITA VALSALICE	SUBIA	CP	15/02/1989	IDEAM	1989 – 2009	1460	04	23	N	74	23	W	FUSAGASUGA
21195140	UNIV FUSAGASUGA	SUBIA	CP	15/06/1996	CAR	1996 - 2011	1720	04	20	N	74	22	W	FUSAGASUGA
21197080	BONANZA LA HDA	BARROBLANCO	LG	15/08/1993	IDEAM	1996 – 2010	1520	04	24	N	74	21	W	SILVANIA
21197110	SILVANIA	SUBIA	LG	15/11/1971	IDEAM	1978 – 2008	1480	04	24	N	74	23	W	SILVANIA

Se realizó la georreferenciación de las fuentes de abastecimiento, bocatomas y poblaciones servidas de los acueductos principales y veredales, a los cuales se pudo acceder, con el fin de identificar la veracidad de la información suministrada por las estaciones y su relación con el comportamiento hidrológico, entendiéndose en un marco de desabastecimiento.

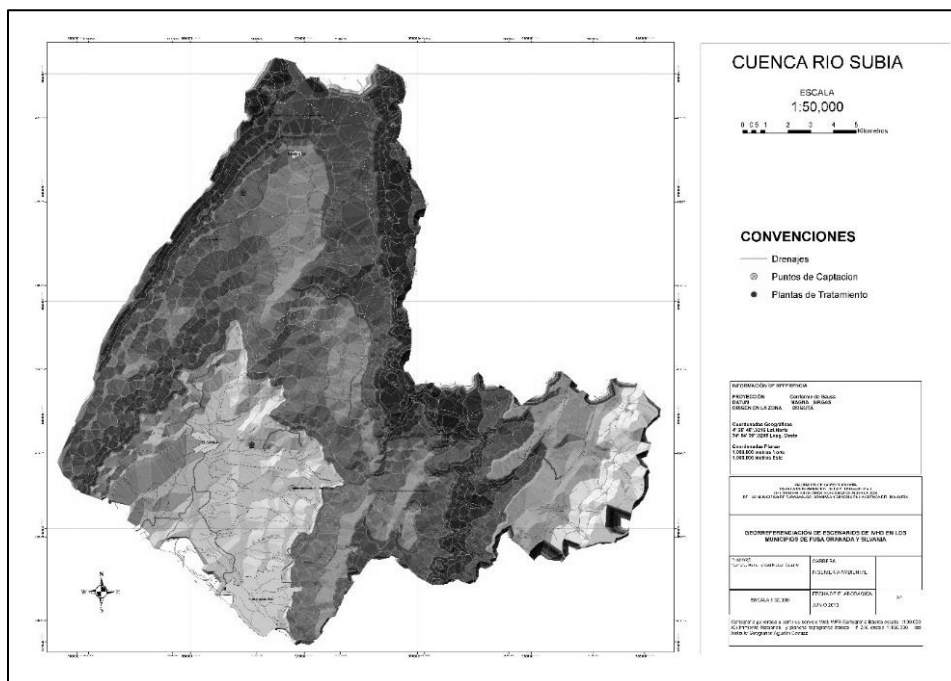


Figura 2. Estaciones Hidrometeorológicas disponibles y seleccionadas

Fuente: Mecon & Salazar, 2013 [16]

La cuenca del río Subia presenta un comportamiento de precipitación bimodal con dos épocas de lluvia máxima en los meses de marzo a mayo y en los meses de

octubre a diciembre, con precipitaciones promedio de entre 46 y 165 mm. La temporada seca se presenta en los meses de enero a febrero y de junio a septiembre, con valores promedio bajos.

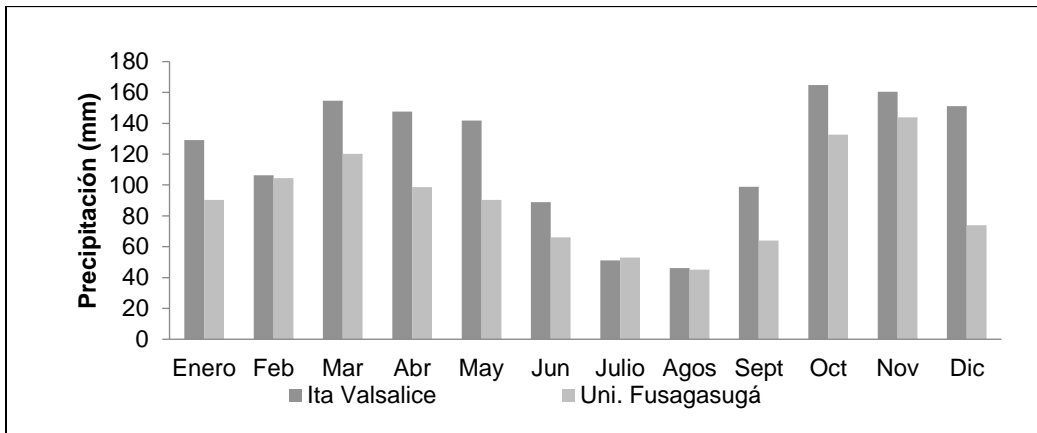


Figura 3. Precipitación media mensual multianual Río Subia (1996 – 2009)
Fuente: Mecon & Salazar, 2013 [16]

La precipitación en la cuenca, teniendo como referencia las estaciones seleccionadas, presentan dinámicas similares entre los años 1996 – 2000 y 2007 - 2009; para el año 1997 la estación Ita Valsalice registro en promedio una precipitación de 99.2 mm, mientras que en la Uni. Fusagasugá tuvieron una precipitación de 58.7 mm pero para el año siguiente se registra un aumento proporcional para las dos estaciones al igual que en los años resaltados.

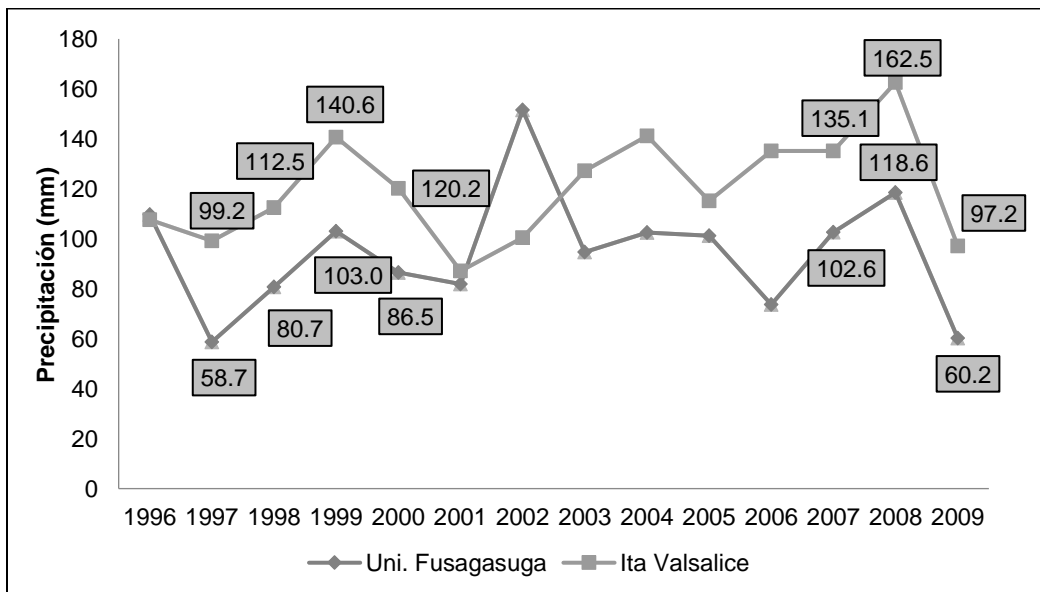


Figura 4. Precipitación media mensual multianual Río Subia (1996 – 2009)
Fuente: Mecon & Salazar, 2013 [16]

Para el estudio de la temperatura en la Cuenca del Río Subia se tomaron valores máximos y mínimos registrados en la estación Uni. Fusagasugá (21195140).

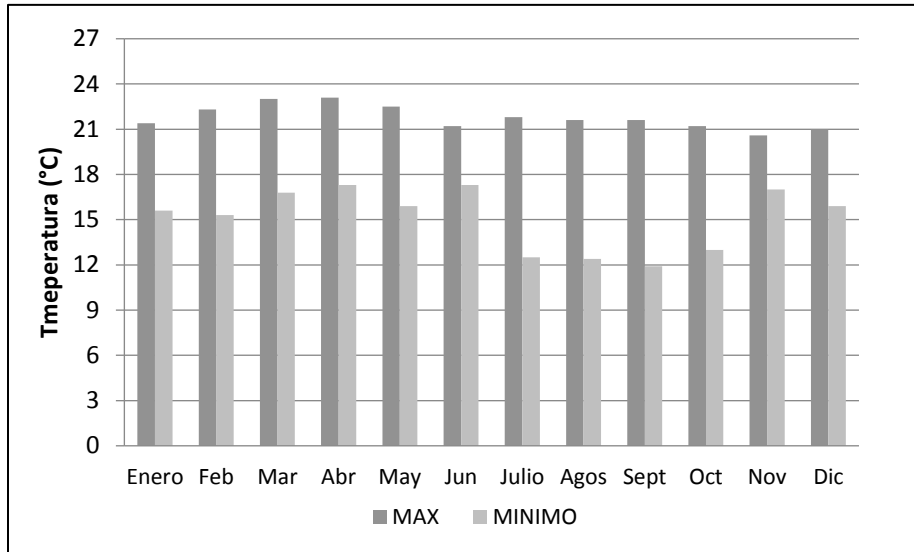


Figura 6. Temperatura media mensual anual Río Subia
Fuente: Mecon & Salazar, 2013 [16]

El Río Subia (Estación Silvania) presenta un comportamiento similar frente a la corriente Río Barroblanco, pero sus caudales son más elevados como se ve en los meses de abril, octubre y noviembre, con un descenso en el mes de diciembre, como ocurre en las dos estaciones.

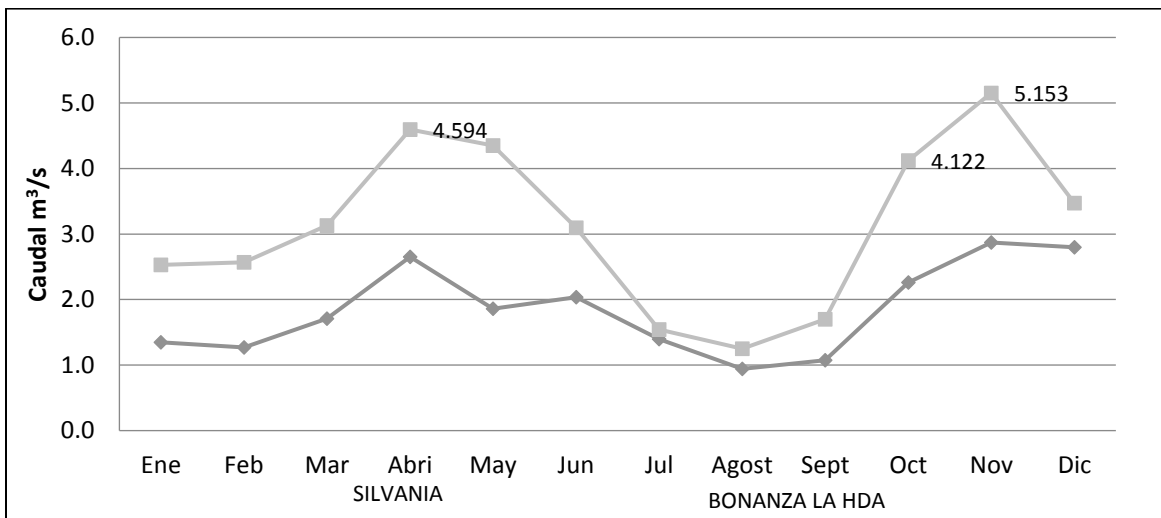


Figura 7. Caudales medios mensuales multianuales en dos corrientes afluentes a la Cuenca Río Subia

Fuente: (Mecon & Salazar, 2013)

La estimación de indicadores para determinar la vulnerabilidad en fuentes hídricas de abastecimientos se determinaron con la elaboración de las curvas de duración de caudales para condiciones promedio y secas, con el fin de conocer las condiciones para un desabastecimiento.

La curva de duración de caudales se realizó con valores medios diarios de las estaciones Bonanza La Hda. (21197080) y Silvania (21197110), permitiendo la extracción de datos necesarios para consolidar el cálculo de indicadores que permitirán el análisis de vulnerabilidad para fuentes abastecedoras. El caudal máximo que se puede otorgar en una cuenca hace referencia al caudal en 50% del tiempo es decir, el Q50, que estará asociado a cada corriente según corresponda.

Tabla 3. Análisis de caudal según la curva de duración de caudales en cada estación.

Estación	Corriente	Q ₅₀	Q ₉₀	Q ₉₅
BONANZA LA HDA	Río Barroblanco	1,238	0,242	0,114
SILVANIA	Río Subia	1,82	0,58	0,365

Se presentan caudales firmes superiores a la demanda hídrica sectorial de la cuenca en general, teniendo como base una demanda promedio de 1.45 m³/s, la pérdida de regulación hídrica en cada una de las corrientes, esto asociado la alta variabilidad del caudal a lo largo de las series de estudio, lo que significa un rápido agotamiento del recurso en épocas de estiaje o torrencialidad, sin dejar de lado la alta demanda y poca disponibilidad del recurso.

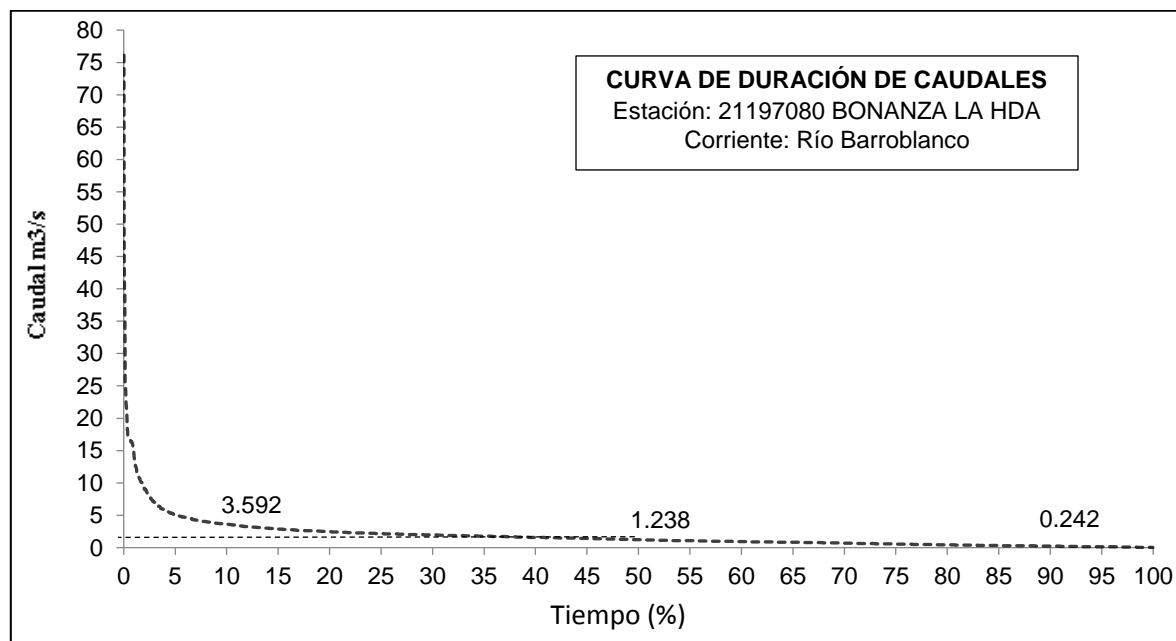


Figura 8. Curva de duración de Caudales Estación Bonanza La Hda. (21197080)
Fuente: Elaboración propia.

Para la corriente Río Barroblanco en la estación: 21197080 BONANZA LA HDA en el 90% del tiempo el caudal no supera los 0,242 m³/s y en la corriente Río Subia (Estación: 21197110 SILVANIA) el caudal no supera los 0,580 m³/s en el 90% del tiempo, siendo más elevada su variabilidad respecto a la corriente Barroblanco. En

el 50% de su tiempo permanece con menos caudal respecto al caudal ambiental (Q50) = 1,820 m³/s. (Figura 7 y 8).

Tabla 4. Estimación de indicadores de vulnerabilidad en la corriente Río Barroblanco - Estación: Bonanza La Hda. (21197080)

Indicador	Calificación	
Vulnerabilidad por Torrencialidad	IRH	Bajo
	IUA	Muy Alto
	IVH	Alto
Vulnerabilidad por Estiaje	IFM	Moderado
	IV	Muy Alto
	IVH	Alto

La corriente Río Barroblanco un índice de retención hídrica (IRH) bajo y un índice de uso de agua (IUA) muy alto proporciona un índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) por torrencialidad alto y un IVH por fenómenos de estiaje con categoría alta, asociado a las grandes diferencias entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos como ocurre en las dos corrientes estudiadas.

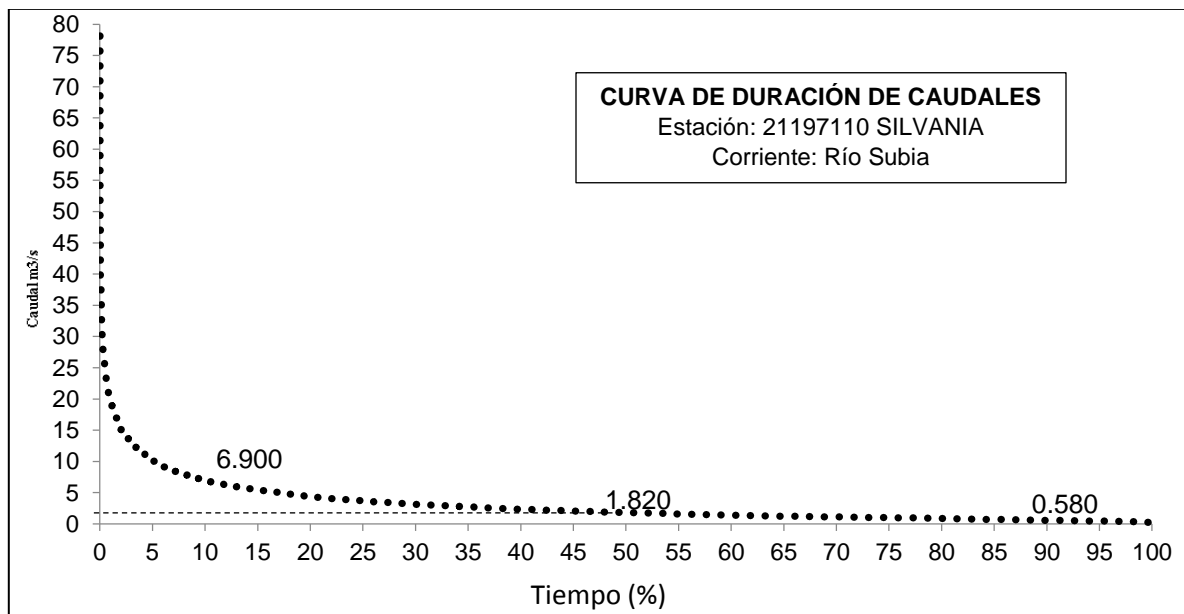


Figura 9. Curva de duración de Caudales Estación Silvania (21197110)

Fuente: Elaboración propia, 2016

La corriente Río Subia se tiene que un IRH Alto relacionado con IUA Muy alto que forjan un IVH por eventos torrenciales categoría medio, pero para eventos de estiaje el tener un IV Muy alto significa tener una IVH por estiaje Alto.

Tabla 5. Estimación de indicadores de vulnerabilidad en la corriente Río Subia - Estación: Silvania (21197110)

Indicador		Calificación
Vulnerabilidad por Torrencialidad	IRH	Alto
	IUA	Muy alto
	IVH	Medio
Vulnerabilidad por Estiaje	IFM	Bajo
	IV	Muy Alto
	IVH	Alto

Tabla 6. Consolidado de vulnerabilidad por corriente hídrica.

INDICADOR			
Estación	Corriente	IVH Torrencialidad	IVH Estiaje
Bonanza La. Hda	Rio Barroblanco	Alto	Alto
Silvania	Rio Subia	Medio	Alto

Fuente: Elaboración propia, 2016

El ENA (2010) presentó en su informe final que la fuente hídrica Río Barroblanco a la altura del municipio de Silvania y Fusagasugá exhibe las siguientes condiciones:

Tabla 7. Estimación de Indicadores de vulnerabilidad según el ENA (2010)

MUNICIPIO	FUENTE HIDRICA	Demanda Hídrica Anual (Mmc)	IRH	CONDICIÓN CLIMÁTICA MEDIA		CONDICIÓN CLIMÁTICA SECA	
				IUA	IVH	IUA	IVH
Silvania	Rio Subia	0,43	Alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Fusagasugá	Rio Barroblanco	4,7	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: IDEAM, 2010., [11]

Los resultados obtenidos en el pasado ENA no coinciden con los calculados para el estudio, teniendo como referencia que la cuenca posee un índice de variabilidad muy alto en sus caudales, como indicador y no se especifica a qué población surte, en el caso del municipio de Silvania referenciar dos fuentes hídricas implica desarrollar el cálculo de indicadores para cada una de ellas; para el caso de Fusagasugá se requiere que los indicadores estén asociados con las otras fuentes

en las que se realizan captaciones como es el caso de Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Fusagasugá ESP.

Las fuentes hídricas que tributan a los Ríos Barroblanco y Subia tienen que ser analizadas de manera independiente, de tal manera que se amplíe el espectro del análisis en la dinámica de los cuerpos hídricos, para la cuenca del Río Subia como fuente principal.

De acuerdo a los resultados obtenidos y al trabajo de campo realizado se definieron los siguientes escenarios de vulnerabilidad, por estiaje o torrencialidad, en acueductos ubicados en la zona rural y urbana, de cada municipio.

Tabla 8. Acueductos Municipales

Acueducto	Fuente hídrica de captación	Zona de servicio
Asociación de usuarios del acueducto de las veredas del norte de Fusagasugá	Comparten captación con EMSERFUSA	Rural
Empresa de Servicios Públicos De Fusagasugá E.S.P (EMSERFUSA)	Río Barroblanco (EMSEFUSA capta del Río Barroblanco, con un caudal medio diario concesionado de 180 L/s)	Urbano
Empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Silvania s.a. ESP (EMPUSILVANIA S.A. ESP)	Río Barroblanco	Cabecera principal
Asociación de Usuarios Acueducto Laguna Verde Vereda San Reimundo Territorial del Municipio de Granada Cundinamarca – ASALAV	Laguna Verde	Vereda San Reimundo
Asociación de Afiliados Del Acueducto Regional de Granada Cundinamarca - ASOAGUAS.	Qda. La Cascada	Cabecera principal

Fuente: Elaboración propia, 2016

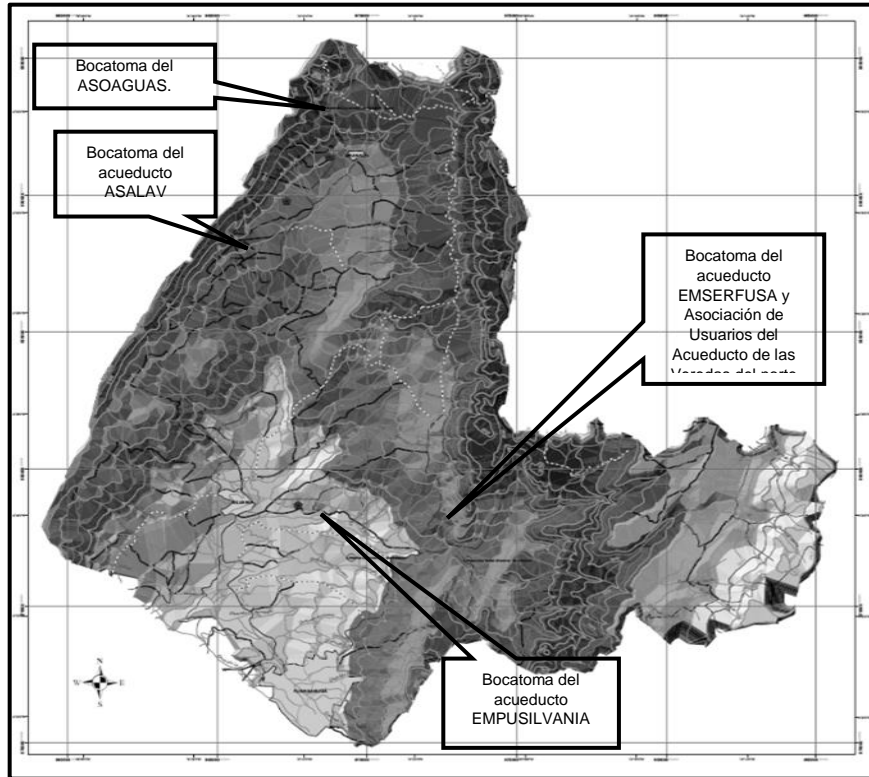


Figura 10. Vulnerabilidad Hídrica al Desabastecimiento en la cuenca del Río Subia.
Fuente: Elaboración propia, 2016

“El cambio climático está afectando recursos específicos como el agua y los suelos, ocasionando crisis para quienes lo utilizan. El agua es el recurso que se va a ver más afectado, dado que se reducirán los glaciares. Los caudales y los ríos se disminuirán; sin embargo, en algunas ocasiones y dependiendo de las cuencas, el caudal aumentará generando inundaciones” [17].

Una variación en las precipitaciones anuales de cualquier región en Colombia significa serios impactos en la población como: desabastecimiento de agua para el consumo humano y las actividades que desarrollan las poblaciones, desmejoramiento del saneamiento básico con implicaciones en la salud humana, incremento de los costos de la provisión de agua y conflictos entre la población y las entidades encargadas de la gestión de los recursos hídricos y de la provisión de agua para consumo [18, p. 12].

El Comité municipal de Gestión del Riesgo y Desastres [19] junto con la Empresa de Servicios públicos de Fusagasugá, EMSERFUSA, reiteró que existe desabastecimiento de agua en los caudales que surten las plantas de tratamiento. Esto tendría implicaciones de orden económico y social, pues reduciría la oferta del recurso a una demanda que día a día es más alta, obligando al municipio a tomar decisiones frente a los planes de contingencia, si activarlos o no.

Entre el 2015 y el 2016 el departamento de Cundinamarca, puntualmente en Fusagasuga, Granada y Silvania, presentó situaciones de desabastecimiento por la temporada de sequía con 42 municipios en alto riesgo, activando los planes de emergencia en los Comités de Gestión del Riesgo, a su vez se presentaron medidas de mitigación como restricciones en cuanto al consumo y distribución del líquido [20]

Definir los efectos del cambio climático depende de la capacidad de adaptación y nivel de vulnerabilidad que cada uno de los países maneja que a su vez se refleja en los cambios en las costumbres y hábitos, incluidas las demás actividades humanas, teniendo mayores consecuencias en las zonas con menor desarrollo en el mundo, como lo es Latinoamérica [21].

En Colombia se han identificado seis aspectos ambientales que se verían afectados con la aceleración del cambio climático: servicios costeros y litorales, recursos hídricos, coberturas vegetales y ecosistemas, glaciares, agricultura y salud humana. Enfatizando en el tema que compete, vulnerabilidad hídrica, los principales efectos que se han causado y que tendrán continuidad son: en primer lugar lo relacionado con los sistemas hídricos para conservar y mantener su régimen hidrológico. En segundo lugar, la vulnerabilidad de los sectores productivos, ante el cambio representativo en la oferta y disponibilidad hídrica [21].

Un cambio climático progresivo en la cuenca del Río Subia se traducirá en que la intensidad de las lluvias será aún mayores, ocasionando inundaciones en ríos, deslizamiento de tierras, avalanchas y donde los niveles son más bajos se dará apertura a escenarios de sequía y desabastecimiento del recurso hídrico para las poblaciones. Esta relación analizada con la variable temperatura será un incremento entre el 2.4 °C a 3.0 °C hacia el año 2080 – 2100 y un aumento en la precipitación, desde el 2% al 20% [22].

Se han considerado que las principales características de una amenaza de desabastecimiento en los municipios son: mal uso del recurso hídrico, tala indiscriminada en zonas de recarga, contaminación ambiental por sustancias de interés sanitario, concentración de población en centros urbanos, pérdida de coberturas vegetales, introducción de especies foráneas y cambio de usos del suelo, siendo de gran preferencia las actividades agropecuarias. La disminución en la disponibilidad del agua y la asignación del mismo para actividades no vitales, trae como consecuencias daños en las infraestructuras de los acueductos y pérdida de vida humanas [23].

Para el año 2030 es probable que el país ya no cuente con glaciares, el 56% de sus páramos pueden desaparecer partiendo del hecho que el 25% de la población colombiana depende del recurso hídrico de allí. El cambio climático actúa de manera diferente de acuerdo al tipo de ecosistema, se muestra a continuación algunos ejemplos, donde el factor común es el desabastecimiento de acueductos [24].

Tabla 9. Impactos del cambio climático en las Regiones de Colombia

<p style="text-align: center;">Región Caribe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la temperatura superficial marina • Aumento en la degradación de suelos • Aumento transmisión de vectores (Dengue y Malaria) • Fusión del área glaciaria la Sierra Nevada de Santa Marta • <u>Desabastecimiento sector agrícola y acueductos.</u> • Aumento de inundaciones: 3mm/año. 	<p style="text-align: center;">Región Andina</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de biodiversidad • Pérdida de capacidad de hidroeléctricas • Aumento en la frecuencia de incendios forestales. • Aumento transmisión de vectores (Dengue y Malaria) • Inundación de valles interandinos, pérdida de cosechas y grandes deslizamientos. • Aumento en la degradación de suelos y <u>desabastecimiento de acueductos</u>
<p style="text-align: center;">Región Pacífica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de frecuencia de eventos extremos: inundaciones • Aumento transmisión de vectores (Dengue y Malaria) • Aumento en la degradación de suelos y tierras • <u>Desabastecimiento de acueductos</u> 	<p style="text-align: center;">Región Amazonía y Orinoquía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la evapotranspiración y degradación de suelos • Aumento en la frecuencia de incendios forestales. • Pérdida de biodiversidad y del ecosistema.

Fuente: Lozano & Gutiérrez, 2009. [24].

(...) Colombia en los últimos años ha desarrollado análisis de vulnerabilidad e implementado medidas de adaptación exitosas, actividades que lo han posicionado como uno de los países líderes en la investigación, aplicación de políticas e implementación de proyectos, de adaptación y mitigación, en el tema de cambio climático. Sin embargo, aún hay muchos espacios para nuevas investigaciones nacionales en algunos temas específicos, lo cual puede ser determinante para aprovechar todas las oportunidades derivadas de las negociaciones internacionales. (...) [25].

Para llegar a ser más puntuales en los posibles efectos que diesen lugar por cambio climático es necesario tener presente las lecciones aprendidas por otras naciones, adaptándolas a la escala departamental y/o municipal, algunas de estas son: Identificar con precisión las amenazas que más generan variabilidad en la escala de temperatura, relacionar la vulnerabilidad de los recursos naturales, humanos, económicos e infraestructurales, priorizar las áreas o comunidades con vulnerabilidades más altas, incentivar, aún más, las áreas que ejecutan proyectos de adaptación, aterrizar las medidas de adaptación a las verdaderas necesidades de la comunidad y ecosistemas, finalmente integrar los intereses institucionales para mejorar los productos y experiencias.

3. CONCLUSIONES

La caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del Río Subia permitió su total delimitación, analizando cada una de las variables hidroclimáticas y morfológicas intrínsecas de la cuenca, identificando así las principales fuentes abastecedoras de acueductos. Aunque no se realizan captaciones directas del Río Subia, existen tres afluentes que suplen la demanda de los tres municipios, estos son: Río Barroblanco, Qda. La Cascada y Laguna Verde.

La cuenca del Río Subia es de orden 4 ubicándose en la parte alta de la cuenca del Sumapaz, caracterizada por tener zonas con muy pocos valles, razón por la cual, son en su mayoría relieves abruptos. Hidrológicamente la Cuenca está constituida por 20 bocatomas detectadas en su gran mayoría para los sistemas de distribución en las veredas.

El alto IUA a lo largo de la cuenca refleja una vulnerabilidad por torrencialidad de media a alta asociada a la creciente demanda de los sectores productivos en cada uno de los municipios, con un promedio de 1,86 m³/s, llegando a estar por encima caudal medio de la cuenca (Q_{50}), entre 1,238 y 1,82 m³/s, reduciendo la capacidad de retención hídrica, siendo más evidente en la subcuenca del Río Barroblanco.

La vulnerabilidad ante eventos de estiaje es alta en los tres municipios de acuerdo a las dos corrientes analizadas, aunque presentan índices morfométricos entre bajo y moderado, la cuenca evidencia una alta variabilidad en sus caudales, lo que refleja susceptibilidades tanto en las bocatomas como en los sistemas de aducción y conducción del recurso tratado.

Al correlacionar el IVH obtenidos en esta investigación y los resultados mostrados en el ENA 2010 se prueba que la Vulnerabilidad de la cuenca tiende a ser muy alta de acuerdo a la valoración obtenida en los IUA e IV. Esto permite esclarecer el panorama real de las fuentes de abastecimiento de acueductos, tanto rurales, veredales y urbanos e identificando futuros escenarios de VH. Con la ayuda de la georreferenciación de los puntos de captación se logró definir los escenarios de VH dentro de la cuenca del Río Subia para los municipios de Fusagasugá, Granada y Silvania.

Se recomienda ampliar el cubrimiento de esta investigación hacía zonas que no cuentan con información georreferenciada, así aumentaría el grado de conocimiento acerca de la realidad hidrológica del país y fortalecer los análisis por medio de la modelación para zonas que no cuentan con estaciones de monitoreo.

Son inminentes las consecuencias que sufriría la población colombiana ante la aceleración de un cambio climático, enfrentándose a un estrés hídrico cuándo los abastecimientos anuales de agua estén por debajo de los 1700 m³ por persona, convirtiéndose en un país con un índice de escasez de agua entre alto y muy alto.

Se deberá priorizar las zonas con el Índice de Necesidad Básicas Insatisfechas alto a causa de la reducción de disponibilidad del recurso o asignación de caudales a la industria de la minería, teniendo en cuenta que las estimaciones de demanda deberán ser precisas a la realidad económica y social del país.

No solo se puede responsabilizar a la variabilidad climática como el precursor de un desabastecimiento en acueductos, teniendo en cuenta que los sistemas de aducción y conducción del preciado líquido tienen pérdidas superiores al 30% por falta de mantenimientos estructurales, inversión y conocimiento de la dinámica hídrica de la zona.

Colombia sigue teniendo un déficit de registros hidroclimáticos que permitan revelar las condiciones futuras de la gestión del recurso hídrico hacia la definición de escenarios de vulnerabilidad hídrica, sobre todo en aquellas zonas con conflicto armado y vulnerabilidad social, tan marcadas al punto de generar administraciones paralelas, con cobros y presupuestos aún desconocidos por los reguladores del mismo.

Los colombianos siguen teniendo memoria a corto plazo o selectiva de acuerdo a sus necesidades, al olvidar situaciones de desabastecimiento a causa de una falta de coordinación interinstitucional, acciones predominantes preventivas en vez de reactivas y falta de conciencia, que da lugar a la creación exponencial de errores en la gestión integral del recurso hídrico.

Con esta investigación se demuestra que es necesario incentivar la investigación en los claustros educativos, en los que se busque despertar la curiosidad para proponer estrategias efectivas y de fácil acceso, que no se tenga que recurrir a estresantes y pesadas fórmulas matemáticas y todo ciudadano pueda ser un gestor hídrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DNP, «Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC Bases conceptuales,» Resumen Ejecutivo, p. 8, 2015.
- [2] Banco Mundial Colombia, «Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: Un aporte para la construcción de políticas públicas,» Banco Mundial, Colombia, 2012.
- [3] F. Sánchez S, «GESTION DEL RECURSO HIDRICO EN COLOMBIA,» Bogotá, 2013.
- [4] M. A. Altieri y C. Nicholls, «Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas,» LEISA Revista de Agroecología, pp. 5-8, Marzo 2009.
- [5] E. Uribe, «Vulnerabilidad de los sistemas de acueducto y alcantarillado por fenómenos climáticos y contaminación,» Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2007.
- [6] MADS - IDEAM, «Criterios para la priorización de cuencas hidrográficas objeto de Ordenación y Manejo,» 2014.

- [7] IDEAM, «Estudio Nacional del Agua,» Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Bogotá, 2014.
- [8] MAVDT, «Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico,» Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial., 2010.
- [9] Procuraduría General de la Nación, «“Pronunciamiento del Procurador General de la Nación sobre la grave situación ambiental en Colombia a propósito de la presentación de los resultados del Ministerio Público sobre la gestión adelantada en el tema ambiental,» Consulta electrónica, Bogotá, 2008.
- [10] I. Gómez, Caracterización cuantitativa de los escenarios de oferta, distribución y demanda del patrimonio hídrico en la cuenca del río Subia en municipios de Silvania y Granada, Cundinamarca, Bogotá: Grupo de Investigación en Patrimonio Hídrico, 2010.
- [11] IDEAM, «Estudio Nacional del Agua,» IDEAM, Bogotá, Colombia, 2010.
- [12] PAAM Silvania, «Plan de Acción Ambiental Silvania Cundinamarca 2007 - 2016,» Municipio de Silvania, 2006.
- [13] R. Horton, «Erosional development of stream and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology,» Geological Society of America Bulletin, pp. 275-370, 1945.
- [14] S. Schumm, «Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy,» Geological Society of America Bulletin, pp. 597-646, 1956.
- [15] A. Strahler, «Quantitative analysis of watershed morphology,» Transactions of the American Geophysical Union, pp. 913-920., 1957.
- [16] M. T. Mecon C y A. F. Salazar, «Validación de la metodología para la determinación de la vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de acueductos de los municipios de Fusagasuga, Granada y Silvania en la cuenca del río Subia,» Bogotá, 2013.
- [17] UNODC, MAVDT, UNAL, «Preparándose para el Futuro. Amenazas, Riesgos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático,» UNODC, Bogotá, Colombia, 2008.
- [18] J. D. Pabón, «Sobre la Relación del Clima con los Sectores Agrícola y pecuario. Notas del Curso de Climatología Tropical.,» Grupo de Investigación "Tiempo, clima y sociedad", Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, 2005.
- [19] FUSAGASUGÁ, «Junto si Podemos Fusagasugá,» 29 Abril 2016. [En línea]. Available:<http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/publicaciones.php?id=43189&dPrint=1>.

[20] EL ESPECTADOR, «Hay desabastecimiento parcial de agua en 42 municipios de Cundinamarca,» El Espectador, 04 Enero 2016.

[21] IPCC, «Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability,» 2001.

[22] D. C. Marín B, «Repository Universidad del Rosario,» 11 05 2016. [En línea]. Available:

<http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/2109/53068838-2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

[23] Dirección de Gestión del Riesgo, «Caracterización General del Escenarios de Riesgo por desabastecimiento de agua potable a causa de la época de sequía,» Municipio de Villanueva, Casanare, 2009.

[24] R. J. Lozano P y M. M. Gutiérrez A, «Adaptación al Cambio Climático,» UNINORTE, pp. 254 - 255, 2009.

[25] R. González A y A. Mason, Colombia y el Hemisferio Frente al Nuevo Orden Mundial, Barranquilla: UNINORTE, 2010.