



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Impacto del cambio climático en la relación oferta - demanda del recurso hídrico en el páramo de Pisba

Luisa Guerrero Castelblanco

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía

Bogotá, Colombia

2018

Impacto del cambio climático en la relación oferta - demanda del recurso hídrico en el páramo de Pisba

Luisa Guerrero Castelblanco

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Geografía

Director:
Profesor Asociado José Daniel Pabón Caicedo

Línea de Investigación:
Aspectos biogeofísicos y socioeconómicos del cambio global

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía
Bogotá, Colombia
2018

Resumen

Los páramos son los principales proveedores de agua para el país. La oferta natural de este recurso está controlada por la dinámica del ciclo hidrológico regional que a su vez está influenciada por el clima. Se tiene establecido que el páramo es un orobioma que podría ser uno de los más afectados por el cambio climático, ocasionando una alteración en la oferta natural de agua que impactará directamente las comunidades que se benefician del recurso. Ante los escenarios de cambio climático las poblaciones locales asentadas en los sectores aledaños a los páramos serían las mayormente impactadas. En este estudio se evaluó la relación oferta-demanda hídrica en el clima 1976-2005 y la que se observaría bajo diferentes escenarios de cambio climático en el siglo XXI en el páramo de Pisba y en los municipios de Tasco, Socha y Socotá. Esto como base para el planteamiento de medidas de adaptación de las comunidades a la nueva situación en el balance oferta-demanda hídrica.

Se pudo establecer que el clima que se presenta en el área del Páramo de Pisba propicia una abundante oferta natural de agua que alimenta las corrientes que fluyen hacia los ríos Cravo Sur, Pauto, Casanare (vertiente oriental tributaria del Orinoco) y Chicamocha (por la vertiente occidental que tributa al Magdalena). Esta oferta es mayor en la vertiente oriental, en algunas cuencas duplica a la de la occidental. La demanda hídrica de los municipios de Tasco, Socha y Socotá esta constituida por lo que consume el sector agropecuario (97%), seguida del uso doméstico (2%) y la minería (1%).

La relación oferta-demanda de recurso hídrico en los municipios de Tasco, Socotá y Socha es favorable en el sentido de que la abundante oferta natural cubre de forma óptima la demanda para el consumo humano y el funcionamiento del sistema productivo. En términos de índice de uso de agua (IUA), la presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible en los municipios de Tasco y Socha y una presión baja en el municipio de Socotá. Es necesario señalar que, aunque la demanda por el sector minero es baja, la presión del sector es alta por lo que afecta la disponibilidad del recurso no solo por el volumen que capta, sino también por la contaminación que causa en las fuentes. La actividad minera se ejerce en mayor proporción en Socha y Tasco, pero es en este último municipio en donde, por tener la menor oferta, eventualmente se generan dificultades para cubrir la demanda hídrica.

Sobre la base de los escenarios de cambio climático elaborados por IDEAM (2015) se puede establecer que en el área de los municipios de Tasco, Socha y Socotá hacia finales del siglo XXI habría un aumento de la temperatura del orden de 1.8°C en relación con los promedios observados entre 1976-2005; la precipitación por su parte tendría cambios entre -10% y +10% de los volúmenes observados en el período de referencia 1976-2005, esto indicaría que los cambios serían menores. No obstante, habría disminución en la escorrentía lo que conlleva a reducción de la oferta natural de agua a lo largo del siglo XXI, la cual es en promedio de un -8% para las cuencas de Socha, entre -4% y -8% para Socotá y de alrededor de -10% para Tasco. Lo que indica una ligera disminución de la oferta hídrica natural, que sería un tanto más marcado para el municipio de Tasco.

La disminución de la oferta natural, el crecimiento poblacional aunado al consecuente aumento de actividad económica y la situación particular del uso del recurso por la minería (que con el consumo y la contaminación de fuentes reduce la disponibilidad de agua) estarían poniendo en dificultades a la región, en particular al municipio de Tasco, en proveerse del recurso hídrico necesario; dificultades que se agravarían si continúa la actual tendencia a la ampliación de la actividad de este sector. Esta situación sería una de las causas de conflicto generado por la competencia entre los diferentes sectores productivos y la población por el uso del agua.

Como vía a la disminución de los posibles conflictos se propone ir adaptándose a la nueva situación que genera el cambio climático mediante la protección del páramo, la restauración de ecosistemas, la implementación en los procesos productivos (agricultura, ganadería y minería) de prácticas, técnicas y tecnologías eficientes y de menor consumo de agua, fortalecimiento de la conciencia de la población frente al uso del agua y fortalecimiento de las autoridades ambientales para que ejerzan de manera eficaz la vigilancia y el cumplimiento de la normatividad ambiental.

Palabras clave: Páramo de Pisba, oferta-demanda hídrica, cambio climático, Tasco, Socha, Socotá

Abstract

Páramos are the main water suppliers for the country. The natural supply of this resource is controlled by the dynamics of the regional hydrological cycle, which in turn is influenced by climate. Páramo is the orobiome which could be one of most affected by climate change, causing alteration in natural supply of water and directly impacting the communities that depend on this resource. In the face of climate change scenarios, the local populations settled in sectors surrounding the páramos would be the most affected. In this study, the relationship between water supply and demand in the climate of 1976-2005 was evaluated, as well as what would be observed under different climate change scenarios in the 21st century in the páramo of Pisba and in the municipios of Tasco, Socha and Socotá. This as a basis for the proposal of measures to adapt the communities to the new situation in the water supply-demand balance.

By this study it was established that the climate of the Páramo de Pisba area provides an abundant natural supply of water that feeds the currents flowing to the Cravo Sur, Pauto, Casanare (eastern tributary of the Orinoco) and Chicamocha (by the western slope that tributes to the Magdalena) rivers. This offer is greater in the eastern slope, in some basins it duplicates that of the western one.

The water demand of the municipalities of Tasco, Socha and Socotá is constituted by what the agricultural sector consumes (97%), followed by domestic use (2%) and mining (1%). The water supply-demand relationship in the municipalities of Tasco, Socotá and Socha is favorable in the sense that the abundant natural supply covers the demand for human consumption and the functioning of the productive system. In terms of water use index (IUA), the pressure of demand is high with respect to available supply in the municipalities of Tasco and Socha and low pressure in the municipality of Socotá. It is necessary to point out that although the demand for the mining sector is low, the pressure of this sector is high, which affects the availability of the resource not only because of the volume it captures, but also because of the pollution it causes in the sources. Mining activity is carried out in greater proportion in Socha and Tasco, but it is in this last municipality where, due to having the lowest supply, difficulties are eventually generated to cover the water demand.

On the basis of climate change scenarios elaborated by IDEAM (2015) it can be established that in the area of the municipalities of Tasco, Socha and Socotá by the end of the 21st Century there would be an increase in temperature of about 1.8°C compared to the average observed in 1976-2005 period; precipitation would have changes between -10% and + 10% of the volumes observed in the reference period 1976-2005; it would indicate that the changes would be smaller. However, there would be a decrease in runoff, which leads to reduction in the natural supply of water throughout the 21st Century, which is on average -8% for the Socha basins, between -4% and -8% for Socotá and around -10% for Tasco. This indicates a slight decrease in the natural water supply, which would be somewhat more marked for the municipality of Tasco.

The decrease in natural supply, population growth together with the consequent increase in economic activity and the particular situation of the use of the resource by mining (which with the consumption and contamination of sources reduces the availability of water) would be putting the region,

particularly the municipality of Tasco, in difficulties for providing the necessary water resource; difficulties that would be aggravated if the current trend to expand the activity of this sector continues. This situation would be one of the causes of conflict generated by competition between the different productive sectors and the population due to the use of water.

As a way to reduce possible conflicts, it is proposed to adapt to the new situation generated by climate change through the protection of the páramo, the restoration of ecosystems, the implementation of good practices, techniques and efficient technologies with lower water consumption in productive processes (agriculture, livestock and mining), strengthening of the population's awareness of the use of water and strengthening of environmental authorities so that they effectively exercise vigilance and compliance with environmental regulations.

Keywords: Páramo de Pisba, water supply-demand, climate change, Tasco, Socha, Socotá

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de figuras	XI
Lista de tablas.....	XII
Lista de mapas.....	XIII
Introducción	1
1. Antecedentes y Justificación.....	3
2. Planteamiento del problema	8
3. Objetivos	10
3.1 Objetivo General.....	10
3.2 Objetivos Específicos	10
4. Marco conceptual y teórico.....	11
4.1 Los páramos y el ciclo hidrológico en ambientes de páramo	11
4.2 El agua como recurso que mantiene procesos socioeconómicos de un territorio 18	
4.3. El cambio climático y la oferta hídrica en páramos	21
4.4. Otras presiones sobre el páramo y su función hídrica	28
4.5. Asuntos normativos sobre páramos y sobre el uso del agua: marco legal	29
4.6. El estudio sobre la relación oferta-demanda hídrica en geografía: Marco geográfico	32
5. Área de estudio.....	34
6. Metodología.....	40
6.1 Cartografía básica utilizada	40
6.2. Metodología para la descripción de la hidroclimatología regional y determinación de la oferta natural.....	40
6.2.1. Datos e información	40
6.2.2. Estimación de la oferta hídrica superficial natural.....	43
6.2.3. Distribución espacial variables	43
6.2.4. Cálculos del rendimiento hídrico de las cuencas	44
6.2.5. Estimación de la oferta hídrica futura	45

6.3 Metodología para el cálculo de la demanda hídrica	46
6.3.1. Datos e información	46
6.3.2. Estimación de la demanda por consumo humano o doméstico	47
6.3.3. Estimación de la demanda hídrica del sector de minería.....	48
6.3.4. Estimación de la demanda del sector agrícola	49
6.3.5. Estimación de la demanda de agua por el sector pecuario.....	51
6.4. Metodología para el cálculo del balance oferta – demanda total municipal.....	53
6.4.1. Estimación del Índice de uso del agua (IUA)	53
6.5. Aproximación a la percepción social sobre el recurso hídrico y el cambio climático	54
7. Resultados y análisis	55
7.1 Descripción de la hidroclimatología del área de estudio	55
7.2 La oferta hídrica para los municipios de la zona de estudio	59
7.3. La oferta hídrica futura para los municipios de la zona de estudio	68
7.4. La demanda hídrica en los municipios de la zona de estudio	76
7.5. Balance oferta – demanda hídrica en los municipios de la zona de estudio.....	85
7.6. La percepción social de la problemática relativa al agua y al cambio climático... 90	
7.7. Propuesta para la adaptación de los municipios de Tasco, Socotá y Socha a los cambios que en el balance oferta-demanda hídrica les plantea el cambio climático.. 96	
8. Conclusiones	98
Bibliografía.....	100

Lista de figuras

Figura 1-1	Cultivos agrícolas en el páramo de Pisba	5
Figura 1-2.	Actividad pecuaria en los municipios que hacen parte del páramo de Pisba... 6	6
Figura 4-1	Ciclo hidrológico en los páramos.....	13
Figura 4-2	Estructura de la demanda hídrica en un territorio según lo presenta IDEAM (2014) en el Estudio Nacional del Agua.....	19
Figura 4-3	Ritmo de crecimiento de la población por países calculado de la relación entre la posible población en el 2080 y la del 2000.....	20
Figura 4-4	Temperatura media anual global desde 1880 hasta 2018.....	23
Figura 4-5	Tendencias de la precipitación anual (a), de diciembre-enero-febrero (b) y junio-julio-agosto (c) en el período 1900-2005.....	23
Figura 4-6	Cambio de la temperatura media en superficie en °C (a) y cambio de la precipitación anual en porcentaje (%) referido al promedio de 1971-2000 (b).	26
Figura 5-1	Panorámicas de Socotá (izquierda), Tasco (centro) y Socha (derecha).....	34
Figura 5-2	Quebrada del páramo de Pisba.	36
Figura 7-1	Ciclo anual de la precipitación en diferentes sectores del páramo de Pisba..	56
Figura 7-2	Ciclo anual de la temperatura media del aire en el páramo de Pisba, según los promedios multianuales del período 1975 - 2016	57
Figura 7-3	Demanda hídrica en 2016 en los municipios de Tasco, Socha y Socotá sin considerar pastos (izquierda) y considerando pastos (derecha).	76
Figura 7-4	Demanda hídrica sector agropecuario en los municipios de Tasco, Socha y Socotá.	77
Figura 7-5	Demanda hídrica en cada municipio por sector de consumo	77
Figura 7-6	Ganado en el límite del Parque Nacional Natural de Pisba	80
Figura 7-7	Resultado demanda por factor y por concesiones.....	83
Figura 7-8	Oferta neta y demanda hídrica total Mm3 para el 2016.....	86
Figura 7-9	Oferta y demanda hídrica Mm3 por municipio para el 2016	86
Figura 7-10	Algunos impactos antrópicos al páramo.....	89

Lista de tablas

Tabla 1-1	Área que ocupa cada municipio en el Páramo de Pisba.....	4
Tabla 6-1	Estaciones Meteorológicas Utilizadas para el área de estudio.....	41
Tabla 6-2	Clasificación de nivel de complejidad de los municipios según su población para estimar el consumo de agua para uso doméstico	47
Tabla 6-3	Dotaciones de agua para consumo doméstico por nivel de complejidad y según clima.....	48
Tabla 6-4	Eficiencias asignadas al tipo de riego de los sistemas de riego en Colombia .	51
Tabla 6-5	Consumo de agua para bovinos	52
Tabla 6-6	Rangos y categorías índice de uso de agua	53
Tabla 7-1	Valores anuales de la temperatura aire, precipitación y escorrentía en estaciones localizadas en el área de estudio para los períodos 1975-2005 y 1996-2016	59
Tabla 7-2	Valores de oferta total por subzona hidrográfica en año medio para clima de referencia	62
Tabla 7-3	Oferta para el caso urbano del municipio de Tasco.	64
Tabla 7-4	Oferta para el caso urbano del municipio de Socha.....	66
Tabla 7-5	Oferta para el caso urbano del municipio de Socotá.....	67
Tabla 7-6	Promedios multianuales de temperatura media anual del aire y precipitación anual para el clima de referencia 1975-2005 y para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.....	68
Tabla 7-7	Evapotranspiración media anual en el clima de referencia y en los escenarios para 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.....	72
Tabla 7-8	Escorrentía media anual en el clima de referencia y en escenarios de 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.....	72
Tabla 7-9	Valores de la oferta total de agua por subzona hidrográfica en año medio según escenarios para el período 2011-2040	73
Tabla 7-10	Valores de la oferta total de agua por subzona hidrográfica en año medio según escenarios para el período 2041-2070	74
Tabla 7-11	Valores de la oferta total de agua por subzona hidrográfica en año medio según escenarios para el período 2071-2100	75
Tabla 7-12	Volumen captado por concesiones mineras según cálculos con datos de 2016	83
Tabla 7-13	Oferta y demanda hídrica para los municipios de estudio.....	85
Tabla 7-14	Oferta y demanda para las cabeceras municipales	85
Tabla 7-15	Índice por uso de agua para los municipios objeto del estudio	88

Lista de mapas

Mapa 5-1	Provincias que conforman el área de influencia directa del PNN Pisba.	35
Mapa 5-2	Mapa de la distribución de cuencas, subcuencas y ríos del páramo de Pisba 38	
Mapa 6-1	Distribución de las estaciones hidrometeorológicas, cuyos datos se han utilizado para el análisis de balance hídrico.....	42
Mapa 7-1	Distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación anual en el páramo de Pisba	58
Mapa 7-2	Escorrentía (mm) y rendimiento por cuenca (en l/seg/km ²) para el área de influencia del Páramo de Pisba.....	61
Mapa 7-3	Distribución espacial de la temperatura media anual del aire (en colores) y precipitación anual (isolíneas) y subcuencas en el municipio de Tasco.....	64
Mapa 7-4	Distribución espacial de la temperatura media anual del aire (en colores) y precipitación anual (isolíneas) y subcuencas en el municipio de Socha.....	65
Mapa 7-5	Distribución espacial de la temperatura media anual del aire (en colores) y precipitación anual (isolíneas) y subcuencas en el municipio de Socotá.....	67
Mapa 7-6	Distribución de los cambios en la precipitación anual según escenarios para 2011-2040 (izquierda), 2041-2070 (centro) y 2071-2100 (derecha) para la zona de estudio.....	70
Mapa 7-7	Distribución de los cambios en la temperatura anual según escenarios para 2011-2040 (izquierda), 2041-2070 (centro) y 2071-2100 (derecha) para la zona de estudio.....	71
Mapa 7-8	Títulos mineros vigentes en el 2017 para el páramo de Pisba	82

Introducción

Los páramos son biomas de alta montaña que presentan características únicas en el planeta. Su ubicación geográfica, condiciones climáticas, edafología y vegetación, los hacen ricos en cuanto a biodiversidad, razón por la que son considerados como islas biogeográficas. Estos ambientes además son parte esencial del ciclo del agua y del carbono, toda vez que regulan estos elementos en la interfase de interacción atmósfera-vegetación-suelo, proveen una diversidad de servicios ecosistémicos en la escala global, regional y local como por ejemplo, la provisión y regulación del agua, y el de limpieza del aire y regulación del efecto invernadero de la atmósfera por su capacidad de retener carbono.

En cuanto al agua se refiere, los páramos se constituyen en depósitos y reguladores de su distribución hacia altitudes medias y bajas con lo que proveen del recurso hídrico a comunidades que habitan en las cuencas nacientes en estos ambientes. Esta oferta natural del recurso hídrico está a su vez controlada por factores como clima, cobertura vegetal y uso del suelo, topografía entre otros. Siendo el clima uno de los más influyentes en el agua que almacena el páramo y en la cobertura vegetal de este último, cualquier alteración o modificación del clima repercute en la disponibilidad natural de agua, importante servicio ecosistémico de provisión de este bioma.

Existe un sinnúmero de evidencias sobre la amenaza que se cierne sobre los páramos. Por un lado, el avance en la transformación de la cobertura vegetal y uso del suelo está reduciendo el área que mantiene la función de regulación del agua y del carbono; por otro, el calentamiento global apoya también la reducción de esta área, mientras que la modificación de los volúmenes promedio de precipitación generada por el cambio climático incidirá en el volumen de agua que ingresa a la interfase suelo-vegetación-atmósfera. La

modificación de servicios ecosistémicos que los páramos proveen impactará de manera importante a las comunidades que dependen de estos. Es importante preparar a dichas comunidades y fortalecerlas en una adaptación a las nuevas condiciones. Para lograrlo es de fundamental importancia el conocimiento sobre la situación actual y futura de los páramos y su relación con las comunidades.

En Colombia los páramos ocupan una gran extensión (aproximadamente constituyen cerca del 50% de los páramos de planeta) y es el país con mayor área de páramos en el continente, por lo que parte considerable de la población del país vive de los recursos que proveen, entre ellos el agua (según LavH (2011, P. 12) aproximadamente el 70% del agua que llega a las grandes ciudades de los Andes proviene de los páramos). De ahí que las alteraciones que ocurran en estos ambientes, ya sean por la intervención en la cobertura vegetal o por el cambio climático, tendrán repercusiones de orden socioeconómico que es necesario conocer para poder tomar las acciones tendientes a reducir los aspectos negativos en el desarrollo de las comunidades.

En el presente trabajo se centra la atención en el Páramo de Pisba, uno de los más poblados del país, y en la provisión de agua para los municipios del departamento de Boyacá aledaños al mismo (Socotá, Tasco y Socha), centrando la atención en los efectos que sobre la oferta-demanda de agua pueda tener el cambio climático, sin desconocer que en la región se desarrolla una dinámica particular de cambio de uso de suelo y de la cobertura vegetal que también está presionando el páramo.

Con este trabajo se pretende avanzar en la producción de información sobre cuál podría ser el efecto del cambio climático en la relación oferta-demanda de los municipios que se benefician de las cuencas del páramo de Pisba, todo ello con el objeto de identificar y dar fundamento a acciones que puedan ser iniciadas por los ente planificadores para reducir el impacto negativo del fenómeno global mencionado.

1. Antecedentes y Justificación

El complejo de Pisba corresponde al orobioma de páramo de la cordillera Oriental del zonobioma húmedo tropical (IAvH, 2007) el cual está establecido en una zona biogeográficamente estratégica de gran importancia ya que se conecta con el complejo del Cocuy y forma un corredor biológico (Cortadera- Alfombras –Siscunsi – Ocetá – Pisba – Cocuy), constituyendo una zona de alta humedad y reserva para la biodiversidad que brinda servicios ambientales a más de 130.000 habitantes de los departamentos de Casanare y Boyacá, convirtiéndolo en un importante proveedor de agua a las cuencas hidrográficas del Magdalena y Orinoco. (Plan de Manejo PNN Pisba, 2006; ILSA, 2014; Greenpeace, 2015).

El Páramo de Pisba se ubica en los departamentos de Boyacá y Casanare entre los 3.100 y 4.100 metros sobre el nivel del mar (msnm). Hace parte del corredor de páramo de la cordillera Oriental, que se caracteriza por ser una gran reserva hídrica y zona rica en flora y fauna en la que se han identificado endemismos. Abarca una extensión de 106.243 hectáreas, de las cuales unas 45.000 hacen parte del Parque Natural Nacional de Pisba (PNNP), declarado como tal desde 1977 y el cual comprende los municipios de Socha, Socotá, Tasco y Mongua. (IAvH, 2007; IAvH, 2012; PNN Pisba, 2006; www.parquesnacionales.gov.co).

El complejo de paramos de Pisba, ha sido históricamente un importante corredor humano. Según el Atlas de Páramos del IAvH (2007), muiscas y laches habitaron esta zona y construyeron las primeras rutas que cruzan los páramos para establecer intercambios culturales y comerciales, con el fin de comunicar los valles interandinos con la Orinoquía. Posteriormente estas rutas se convirtieron en los caminos donde cruzaron conquistadores, colonizadores y las tropas libertadoras de Simón Bolívar hacia el interior del país. Hoy en

día este camino de herradura que atraviesa el área protegida, conocido como “la Ruta Libertadora”, es utilizado por los campesinos como vía de comunicación en sentido sur-norte y entre municipios. A través de la historia, diversas comunidades que han encontrado allí un espacio para subsistir y desde entonces han ejercido una transformación del paisaje motivada por su actividad orientada a la supervivencia y desarrollo que han realizado en el marco de diferentes modelos productivos y relaciones socioeconómicas. Esta población que vive en los sectores aledaños al Páramo de Pisba, se beneficia de los servicios ecosistémicos que este brinda, particularmente el agua, los cuales aseguran su desarrollo económico y la realización de diversas actividades. Actualmente en el complejo del Páramo de Pisba se localizan 11 municipios, de los cuales 2 hacen parte del departamento de Casanare y 9 de Boyacá (ver Tabla 1-1).

Tabla 1-1 Área que ocupa cada municipio en el Páramo de Pisba

BOYACÁ			CASANARE		
Municipio	Área (ha) del municipio en el Páramo	% del municipio en el Páramo	Municipio	Área (ha) del municipio en el Páramo de Pisba	% del municipio en el Páramo
Socotá	38,311	64,6	Sácama	1,879	6,0
Chita	25,292	36,8	Támara	1,523	1,4
Tasco	14,429	68,6	La Salina	13	0,1
Socha	9,318	62,2			
Gámeza	8,828	72,4			
Jericó	2,729	20,7			
Pisba	2,634	5,7			
Mongua	1,270	3,5			
Labranzagrande	17	0,0			
Total area	102,827		Total area	3,416	

Fuente: Atlas de páramos laVH, 2012

Las distintas actividades de la población de estos municipios, dependen en gran parte de la oferta de agua natural que viene del páramo. Las principales actividades son:

1. Agricultura (Figura 1-1) de tipo comercial y de subsistencia a pequeña escala.
2. Actividades productivas: riego de cultivos, explotación pecuaria (Figura 1-2) y minería.

En la Figura 1-1 es posible ver que en el subsector agrícola de los municipios de Socotá, Chita, Jericó, Mongua, Gamesa, Tasco y Socha, el cultivo de papa, altamente demandante de agua, tiene la mayor contribución a la producción (55%), seguido por la alfalfa utilizada para alimento del ganado, actividad que representa el 52% del subsector pecuario. Estas actividades, además de ser causa de diversos problemas ambientales en la región, por su alta demanda de agua, presionan el recurso disponible en la región.

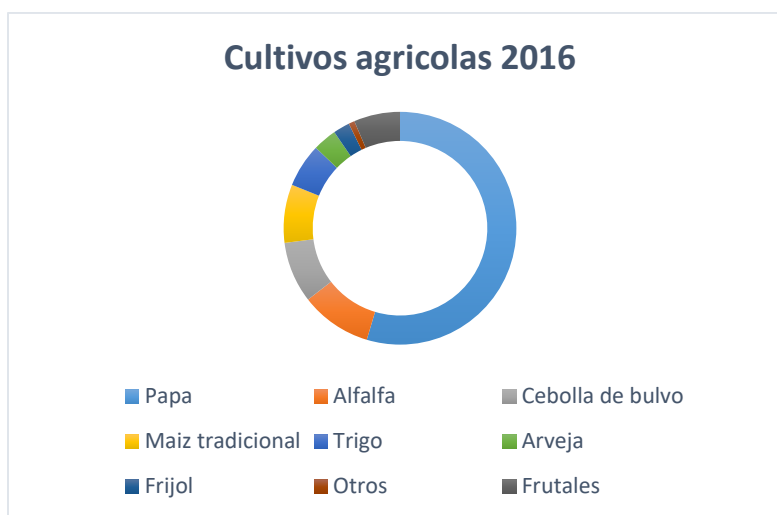


Figura 1-1 Cultivos agrícolas en el páramo de Pisba

Cultivos agrícolas en los municipios que hacen parte del páramo de Pisba 2016. (Socotá, Tasco, Socha, Jericó, Mongua, Chita y Gamesa). Fuente: Elaboración propia, fuente primaria: GOBERNACIÓN DE BOYACÁ



Figura 1-2. Actividad pecuaria en los municipios que hacen parte del páramo de Pisba.

Explotación pecuaria en los municipios que hacen parte del páramo de Pisba 2016 (Socha, Socotá, Tasco, Gamesa, Jericó, Chita y Mongua). Fuente: Elaboración propia, fuente primaria: ICA.

A la demanda del sector agropecuario por recurso hídrico se suma la de otros sectores y aspectos del territorio como la minería, el suministro de agua a la población para consumo humano y sanidad, etc. El páramo ha venido sufriendo esta demanda a pesar de la alteración de la función de almacenamiento y regulación producida por el cambio en el uso del suelo (tala de bosque, modificación por cultivos y pastos) promovido por una dinámica socioeconómica regional poco o nada orientado en el marco de un desarrollo sostenible. De otra parte, como ha sido reportado para otras áreas de páramo (Rey, C., Franco-Vidal, L. & Castaño-Urbe, C. 2002; Buytaert et al., 2006; De Bievre, B. 2007; Lombana, C. 2006; Procuraduría General de la Nación. 2008; Ruiz, D. et al., 2009; Vargas Ríos, O & Velasco-Linares, P. 2011), la contaminación de las aguas por diferentes causas reduce la cantidad del recurso hídrico disponible en la calidad necesaria para uso.

La oferta hídrica natural del Páramo de Pisba también ha tenido variaciones en el pasado reciente asociadas a la variabilidad climática que en ocasiones ha puesto en dificultades el desarrollo de las poblaciones mencionadas. Según Montealegre (2014) en la vertiente del páramo hacia el Magdalena, por la influencia del fenómeno de El Niño moderado e intenso se registra disminución de más de hasta el 50% de la precipitación y, por ende, de la oferta hídrica, lo que genera impactos socioeconómicos de gran importancia para los municipios de la región: limitaciones en la cantidad de agua para consumo humano, reducción en la

producción, incremento de fenómenos como incendios de cobertura vegetal y heladas. En la vertiente hacia el Orinoco el efecto del fenómeno de El Niño es inverso: llueve un poco más que lo normal con otras consecuencias para la región.

Lo anterior señala la alta sensibilidad de los municipios a las anomalías climáticas en tanto que estas reducen los recursos hídricos necesarios para el funcionamiento de sus procesos socioeconómicos. Por ello, preocupa sobremanera lo que podría ocurrir en el futuro con un cambio climático en el que se modificaran los patrones (o promedios) de temperatura del aire, precipitación, escorrentía y frecuencia de fenómenos extremos.

Según IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. (2015), desde la segunda mitad del siglo XX sobre la región del Páramo de Pisba la temperatura media del aire ha venido aumentando a un ritmo de 0.1-0.2°C por decenio y la precipitación ligeros cambios; según se prevé para finales del siglo XXI la temperatura media del aire aumentaría hasta en 1.5°C en relación con la observada a finales del siglo XX y mientras que los volúmenes de precipitación anual tendrían pequeños cambios (entre -10 y +10% de lo observado a finales del siglo XX). En general, esto implicaría una reducción de la escorrentía debido a un aumento de la evapotranspiración, con lo que disminuiría la oferta natural de agua en la región. Igualmente, el cambio climático modificaría la función de almacenamiento y regulación del páramo toda vez que se prevé que se podría presentar una reducción considerable del área de vegetación de páramo (Alarcón y Pabón, 2013; IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. 2015), proceso que ocurrirá sobre el Páramo de Pisba.

A la alta sensibilidad de los municipios a las fases extremas de la variabilidad climática y a la modificación de la disponibilidad natural del agua generada por el cambio climático, se suma sus características económicas y sociales que los convierten en altamente vulnerables. Según el DANE (2005) los municipios cercanos al páramo presentan uno de los NBI más altos de Colombia (Prop de Personas en NBI (%): Chita 81.22, Gámeza 44.08, Tasco 39.49, Socotá 72.35, Socha 29.14 Labranzagrande 69.94, Jerico 74.00), las comunidades campesinas asentadas en su territorio presentan bajos ingresos debido a la carencia de tierras y medios productivos y a marginalidad, además considerando el precario servicio de salud y de educación (Atlas de páramos, 2007). Dada esta alta vulnerabilidad

de las poblaciones aledañas al páramo de Pisba, urge iniciar acciones para su reducción y plantear la adaptación a las nuevas condiciones de clima. Para ello, es necesario contar con información acerca de cuál sería la situación futura en el balance oferta-demanda de agua en esta región bajo diversos escenarios de cambio climático.

2. Planteamiento del problema

El páramo de Pisba suministra agua a 11 municipios que están alrededor y a su vez alimenta las cuencas que abastecen a otros municipios de la zona. Estas poblaciones han venido expresando preocupación por una disminución del recurso hídrico utilizado para el consumo humano local. Al parecer la conjugación de diversas presiones sobre el páramo, están llevando a la disminución de recurso hídrico. Por un lado, la dinámica socioeconómica está interviniendo en la función de almacenamiento y regulación del páramo y, además, se está incrementando la demanda de agua en la región. De otra parte, las proyecciones de cambio climático realizadas por IDEAM (2015) para el siglo XXI señalan pequeños cambios en la precipitación, aumento de la temperatura del aire entre 1.5 y 2.0°C, incremento de la evapotranspiración, lo que consecuentemente llevaría a una disminución de la escorrentía y de la oferta hídrica natural que sule la demanda de los municipios de la región. De llegarse a un valor negativo en el balance oferta demanda, se exacerbarían los conflictos por el agua en estos municipios.

Con la situación anteriormente descrita surge el cuestionamiento siguiente:

¿Cómo el cambio climático podría afectar el balance oferta-demanda de agua en los municipios de Tasco, Socha y Socotá que se benefician del recurso hídrico con el área del páramo de Pisba?

Para responder plenamente esta pregunta habría que resolver secuencialmente las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es en la actualidad la oferta natural de agua del páramo de Pisba?
2. ¿Cómo se relacionan (en cuanto a uso) las comunidades de los municipios Tasco, Socotá y Socha con la oferta natural de agua proveniente del páramo de Pisba y cómo es el balance oferta-demanda actualmente?
3. ¿Cómo el cambio climático afectará la oferta natural de agua del páramo de Pisba?
4. Qué conflictos podrían surgir en la relación oferta demanda de agua en los municipios de Tasco, Socha y Socotá debido al cambio climático.
5. Estarán los municipios Tasco, Socotá y Socha preparados para las nuevas situaciones que el cambio climático generará en sus relaciones oferta-demanda de agua.

3. Objetivos

Basados en el planteamiento del problema expresado, para responder a la pregunta propuesta, el presente trabajo se propone alcanzar los siguientes objetivos

3.1 Objetivo General

Estudiar el posible impacto del cambio climático en el balance oferta-demanda de recurso hídrico de los municipios de Tasco, Socotá y Socha que se benefician del recurso hídrico del Páramo de Pisba.

3.2 Objetivos Específicos

- Conocer la oferta natural de agua del páramo de Pisba en la actualidad
- Conocer las particularidades de la relación oferta-demanda del recurso hídrico en los municipios de Tasco, Socotá y Socha.
- Establecer las condiciones climáticas futuras sobre el Páramo de Pisba y el efecto de estas en la oferta natural del recurso hídrico.
- Establecer escenarios probables de la futura relación oferta-demanda de agua en los municipios de Tasco, Socotá y Socha.
- Identificar los aspectos socioeconómicos que conducen a conflictos en la relación oferta-demanda del agua en el futuro.
- Proponer medidas de adaptación al cambio climático en el componente de recursos hídricos.

4. Marco conceptual y teórico

El abordaje del análisis del problema planteado anteriormente implica introducirse en un marco conceptual y teórico del balance entre la oferta natural y la demanda de agua, visto este en un clima actual y en escenarios de clima futuro.

Para el caso concreto del presente trabajo, la oferta hídrica natural es provista principalmente por la fase del ciclo hidrológico que ocurre en la interface aire-suelo vegetación del páramo al cual ingresa agua debido a la precipitación y a la captación horizontal de la humedad del aire y del cual sale agua por evapotranspiración y escorrentía. La demanda se suple con el aprovechamiento de esta última (la escorrentía) que alimenta las cuencas que surten las necesidades de agua de la población y sus actividades. Dado que el cambio climático modificará los volúmenes de precipitación y la temperatura media del aire en las regiones, incidirá en la cantidad oferta natural y con ello impactará el sistema socio-económico establecido en los territorios.

En vista de ello en este capítulo se expondrán los temas relativos al ambiente de páramo, al ciclo hidrológico en páramos, a las particularidades del uso del agua por la sociedad y lo atinente al cambio climático.

4.1 Los páramos y el ciclo hidrológico en ambientes de páramo

Los páramos son espacios que por sus características biogeofísicas se han establecido como áreas que facilitan diversos servicios ecosistémicos y soportan con ello el desarrollo de los territorios. Gran parte de las poblaciones aledañas a los páramos hacen uso de los servicios que estos proveen, particularmente el agua, para mantener los diversos procesos

que desarrollan en su territorio. Por su particularidad en el ciclo hidrológico como captador, almacenador y regulador del agua, el páramo es el mayor proveedor de este recurso en los Andes (Hofstede, R et al., 2014), y en Colombia estos ecosistemas proveen el 70% de agua potable del país (IAVH, 2012). Directa o indirectamente, los páramos proporcionan servicios ambientales a más de 100 millones de personas (IUCN, 2002). Los páramos son bien conocidos por su extensiva reserva de agua y sofisticada capacidad de regulación de la misma (Poulenard, J et al., 2001). Ese alto suministro de agua, se debe en gran medida a las características bióticas y abióticas que presentan, que determinan el comportamiento del ciclo hidrológico.

Los páramos son el producto de un proceso evolutivo de la interacción del relieve, clima, suelo, vegetación y recientemente con la actividad humana el cual ha sido posible rastrear con cierto detalle por lo menos en el Cuaternario (van der Hammen 1988, 1992) y aunque ha habido un largo proceso para entenderlo y definirlo (Cuatrecasas (1958), Cleff (1981), Guhl (1982), van der Hammen (1997), Luteyn (1999), Rangel et al., (2000), Hofstede et al., (2003), entre otros), se ha logrado reconocer que en la definición debe caber todos los elementos interactuantes incluso la del ser humano a través de su percepción. Por ello, tal vez Hofstede (2002) señaló que *“El páramo es un ecosistema, un bioma, es un paisaje, es un área geográfica, es una zona de vida, es un espacio de producción, es un símbolo, es inclusive un estado de clima. Además, el valor y el significado del mismo pedazo de páramo pueden ser muy distintos para el campesino que pasta sus animales allá o para el biólogo que estudia un bicho dentro de la paja”*

Cabe destacar que Gulh (1982) además del componente biogeográfico, ya había considerado el elemento humano al mencionar las percepciones de los habitantes de páramo así como de los indígenas, quienes entendían el páramo como fuente de agua. Además del recurso hídrico, el páramo ha tenido significación mística para los indígenas, hecho que se refleja en muchos mitos y leyendas, siendo considerados lugares sagrados y donde realizaban rituales y ofrendas. Estos espacios asumidos como representaciones místicas, religiosas y simbólicas, fueron ocupados por ellos de forma temporal (Reyes et al., 1996).

Una definición más basada en las características biogeofísicas de los ambientes de páramo es la que plantean Cuatrecasas (1968) y Rangel-Ch. (2000) quienes definen *“la región de*

vida paramuna comprende las extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas. Está definida como región natural por la relación entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana” y reconocen tres grandes franjas altitudinales o zonas de vida paramuna en los páramos de Colombia, caracterizadas por su vegetación: el subpáramo o páramo bajo (de 3200 m hasta 3500 m de altitud), el páramo propiamente dicho (de 3500 m hasta 4100 m) y el superpáramos hasta el límite de los glaciares (4700).

Como es ampliamente conocido (Buytaert et al., 2006), la oferta hídrica natural que los páramos disponen, depende de una compleja interacción de elementos (aire (tiempo atmosférico clima), suelo, vegetación) y procesos (precipitación, escorrentía, modelado glaciar y fluvial, erosión, cambio del uso del suelo) del ciclo hidrológico que controla el almacenamiento y flujo de entrada y salida de agua a estos ambientes o desde ellos. En la Figura 4-1 se presenta un esquema del ciclo hidrológico en lo que corresponde al ambiente de páramo.

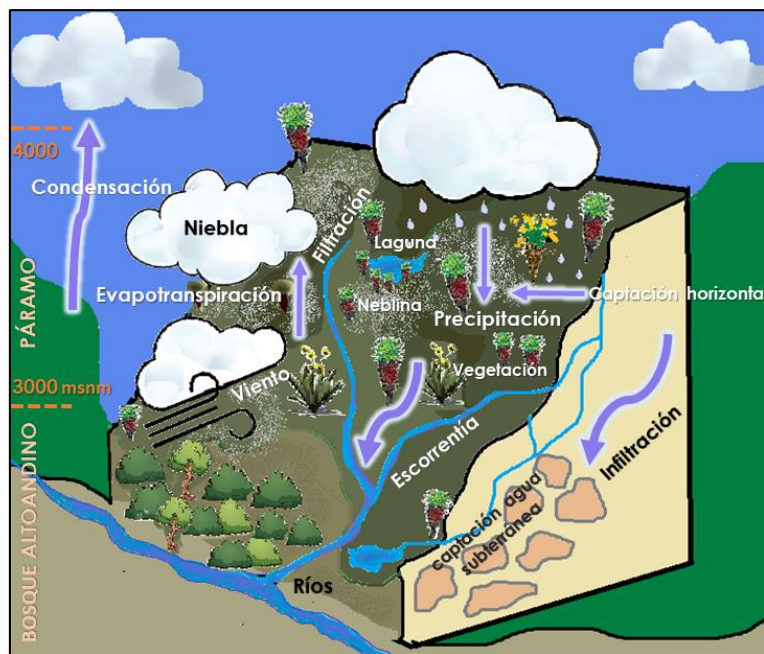


Figura 4-1 Ciclo hidrológico en los páramos.

Fuente: Elaboración propia.

Los procesos que intervienen en la formación de la propiedad hídrica y función de los páramos en el ciclo hidrológico global han sido amplia y profundamente estudiados (Buytaert et al., 2006; Minaya-Maldonado, 2018). Por las características geomorfológicas, climáticas y biogeográficas particulares de las zonas de alta montaña (por encima de los 3000 msnm hasta los 4500 msnm en promedio), de los suelos, generalmente de origen volcánico, de poco espesor y alta porosidad, los páramos se constituyen en un depósito de gran cantidad de humedad en la capa suelo- vegetación-aire.

Entre los 3000 y 4000 msnm, los valores bajos de temperatura media del aire (entre los 10 y 5°C, aproximadamente) inciden en una evapotranspiración baja (entre 1 y 1.5 mm. día-1, según Hofstede, 1995; o 635 +/- 9 mm/año (51% de la precipitación anual), según Carrillo-Rojas, 2019). En esta franja altitudinal predomina la condensación de la humedad del aire y la formación de nubes (por comunicación personal de trabajadores del Campamento MOP 'El Cadillal', localizado en el páramo de Pisba, "en las vertientes húmedas, a veces solamente se presentan dos a tres semanas sin nieblas al año"), lo que contribuyen con abundantes aportes por precipitación y por captación horizontal (o precipitación oculta que según Cárdenas et al., (2017) aporta entre el 7 y el 29% de las entradas al sistema vegetación-suelo del páramo) de las gotitas de niebla y del rocío, los cuales no alcanzan a ser consumidos por la evapotranspiración, dejando un alto volumen que se almacena en el suelo y cuerpos de agua (lagunas) o escurre pendiente abajo a quebradas y ríos, conformando la oferta natural que aprovechan las poblaciones debajo de las áreas del páramo. Otra característica climática de los páramos es la alta intensidad de radiación solar (particularmente de la ultravioleta) debido a su localización cercana a la línea equinoccial y a altitudes por encima de los 3000 msnm, y la exposición a los sistemas de circulación regional y local que promueven el ascenso de masas de aire húmedo y la condensación y la formación de nubosidad.

Los suelos del páramo son de origen glaciar y volcánico, ácidos y con alto contenido de materia orgánica, la cual se mineraliza muy lentamente debido a las bajas temperaturas; la combinación entre materia orgánica y cenizas volcánicas favorece la capacidad de almacenamiento de agua de estos suelos (Ramírez, 2011). Estas características imprimen ciertas magnitudes a las propiedades hidrofísicas del suelo que favorecen la regulación

hídrica, como son, una baja densidad aparente, alta porosidad, alta disponibilidad de agua para las plantas, elevado almacenamiento y una alta conductividad hidráulica. (Buytaert, W., R et al., 2006)

El páramo alberga diversidad de especies de plantas endémicas, adaptadas a condiciones de baja presión atmosférica, alta radiación ultravioleta intensa, bajas concentraciones de oxígeno y dióxido de carbón, y al efecto desecante del viento (Luteyn, 1992; Vargas, 2011). Aún con estos factores limitantes, en el tapete suelo-vegetación que se encuentra en los páramos encontramos una rica diversidad biológica representada en especies vegetales (mayormente gramíneas como los pajonales (*Calamagrostis intermedia*) y arbustos como yahuales (*Polylepis sp*) y frailejones (*Espeletia sp.*) entre otras) y animales (oso de anteojos, zorro de páramo, conejos, roedores, cóndor, águila, gavián, entre los más conocidos; diversidad de especies de macrofauna y microfauna edáfica). Las características morfológicas y estructura de las plantas, especiales por su adaptación a las condiciones de páramo, actúan con “efecto esponja” para el aprovechamiento de agua que condensan en gotas de rocío provenientes de las nubes, permitiendo la retención de agua e indicando su carácter protector, estas características hacen que se considere un ecosistema sofisticado en la filtración y almacenamiento de agua. (Castaño-Urbe, 2002). Además de contribuir con estos procesos, la vegetación protege a los suelos de los páramos de procesos de erosión, de escorrentía y de sedimentación, mediante el almacenamiento energía proveniente de la radiación solar, dándoles estabilidad por medio de una espesa capa de alto contenido orgánico con gran diversidad microbiana. (Reyes et al., 1996).

Para la regulación hídrica del páramo, el mantenimiento del equilibrio microbiológico de sus suelos es fundamental ya que es la base para el sustento de las especies vegetales predominantes (Ramírez, 2011). La vegetación paramuna se caracteriza por presentar una baja biomasa, crecimiento lento, productividad primaria baja, descomposición lenta de la materia orgánica, acumulación de necro masa y bancos de semillas superficiales y fácilmente degradables; aspectos que hacen que los procesos de sucesión y regeneración sean lentos (Vargas, 2011). Así, tanto las condiciones climáticas como los procesos físicoquímicos y ecológicos asociados propician la descomposición de raíces, tallos y hojas y la formación de materia orgánica que sumada a las características físicas de suelo como

textura y estructura y a la misma cobertura vegetal, construyen un medio de alta capacidad de retención, regulación y provisión hídrica.

En general, las condiciones regionales de clima, flora y suelos han sido las determinantes para el establecimiento de los páramos en el norte de los Andes, (norte del Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela), y aisladamente en Panamá y Costa Rica (Morales et al., 2007), los cuales presentan diferenciación con la cual se pueden identificar diversos tipos de páramos. Por ejemplo, los páramos ubicados en el macizo colombiano donde la estabilidad del relieve es media y la actividad tectónica es alta son páramos volcánicos secos, mientras que los de Pisba de la cordillera oriental de Boyacá son sedimentarios, glaciares, erosivos y húmedos. (Baptiste, 2011)

El conocimiento de los procesos relativos al ciclo hidrológico en los páramos resumido en los párrafos anteriores permite plantear que el aporte de agua proveniente de los páramos se puede valorar considerando el balance simple

$$P - ETR = ESC$$

Donde: **ESC** = Escorrentía hídrica superficial (mm); **P** = Precipitación (mm); **ETR** = Evapotranspiración real (mm). Esta expresión, aunque no considera la contribución de la captación horizontal (que sería de un 20% en promedio), estaría incluyendo al menos el 80% de los aportes directos por precipitación. La escorrentía calculada de esta manera aproxima la oferta hídrica natural en las cuencas hidrográficas, la que puede expresarse también en términos de rendimiento hídrico por área y por unidad de tiempo es decir en litros por segundo en kilómetro cuadrado (l/s/km²).

Dado que la precipitación puede ser conocida a partir de mediciones, el grado de aproximación de la escorrentía depende mayormente de la estimación de la evapotranspiración real, para la cual hay pocos sitios de medición; sin embargo hay vías para su cálculo a través de fórmulas construidas por diferentes métodos semi empíricos, que simplifican la relación entre variables involucradas en el proceso. En la vía hacia la cuantificación del agua liberada en la evapotranspiración se utilizan dos conceptos muy relacionados pero diferentes: la evapotranspiración potencial (ETP) que es la evapotranspiración máxima que se produciría de una superficie suelo-vegetación con humedad suficiente para soportar este proceso (Thornthwaite, 1948); la evapotranspiración real (ETR) que es la cantidad de agua que libera la superficie suelo-vegetación en el

proceso considerando el contenido real de humedad. Penman (1948) planteó que la evapotranspiración potencial se puede estimar usando valores de elementos meteorológicos (radiación solar neta, temperatura del aire, velocidad del viento y tensión de vapor del agua) y explorando la relación que hay entre estas variables y la cantidad de agua liberada en el proceso, para construir relaciones o ecuaciones empíricas que sinteticen la relación entre la evapotranspiración y otras condiciones atmosféricas; esta fue modificada por Monteith y se conoce como ecuación de Penman- Monteith (1965), la cual fue el punto de partida para el desarrollo de la fórmula FAO Penman – Monteith (1990), así se han formulado diversas fórmulas de cálculo de la ETP y de la ETR la de Blaney-Criddle (1977), Holdridge (1978), García & López (1970), Linacre (1977), Coutagne (1954), Hargreaves (1985) entre otras; también se debe mencionar la fórmula para la ETP de (Budyko, (1974) basada en la radiación solar principalmente. Uno de los más utilizados para el cálculo de la ETR es el método de Turc (1955), basado en la precipitación y la temperatura.

Para estimar la oferta natural de agua superficial en áreas extensas y en largos periodos de tiempo, se puede utilizar la ecuación simplificada (como se realizó en el ENA, 2014), que resume todos los procesos involucrados y considerando que los cambios de almacenamiento tienden a minimizarse y por ello suponerse nulos (Unesco, 1982).

La oferta natural de agua de los páramos se ve afectada tanto por la variabilidad climática, como por el cambio climático toda vez que estos inciden en la temperatura media del aire y en la cantidad de precipitación. También se ve afectada por alteraciones en la interface suelo-vegetación debida a las actividades económicas que modifican sus propiedades hidrológicas (De Bievre, 2006) y por las intervenciones antrópicas (diques, represas, contaminación) que limiten la cantidad y la calidad.

4.2 El agua como recurso que mantiene procesos socioeconómicos de un territorio

El agua es un elemento esencial para garantizar el desarrollo de los diversos procesos y actividades en las que se ocupan comunidades asentadas en un territorio. Como se anotó, ya, los páramos proveen ese servicio eco sistémico, tal vez el más importante (Cleef, 2013), a través de las diferentes corrientes (Viviroli et al., 2011) que irrigan las laderas de las montañas. Así, los páramos suplen de un elemento indispensable para las comunidades, ya considerándolo como recurso hídrico, lo utilizan para la producción de alimento (agricultura, ganadería), en la minería, en generación de energía, consumo y saneamiento básico, turismo y esparcimiento, entre otras muchas aplicaciones. En este sentido, en un territorio determinado existe una demanda de recurso hídrico o “demanda hídrica” para garantizar el desarrollo de los procesos señalados.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2010, 2014), sobre la base de la experiencia en diversas versiones del Estudio Nacional del Agua (ENA), ha desarrollado un marco conceptual sólido sobre la demanda hídrica y la define de la siguiente manera: *“La sustracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades y los requerimientos de consumo humano, producción sectorial y demandas esenciales de los ecosistemas existentes sean intervenidos o no. La extracción y, por ende, la utilización del recurso implica sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico, incluidos en este los sistemas de almacenamiento que limitan el aprovechamiento para usos compartidos u otros usos excluyentes”* (Tomado de IDEAM, 2014:156). Y sobre la base de este concepto estructura la demanda de la manera como se sintetiza en la Figura 4-2

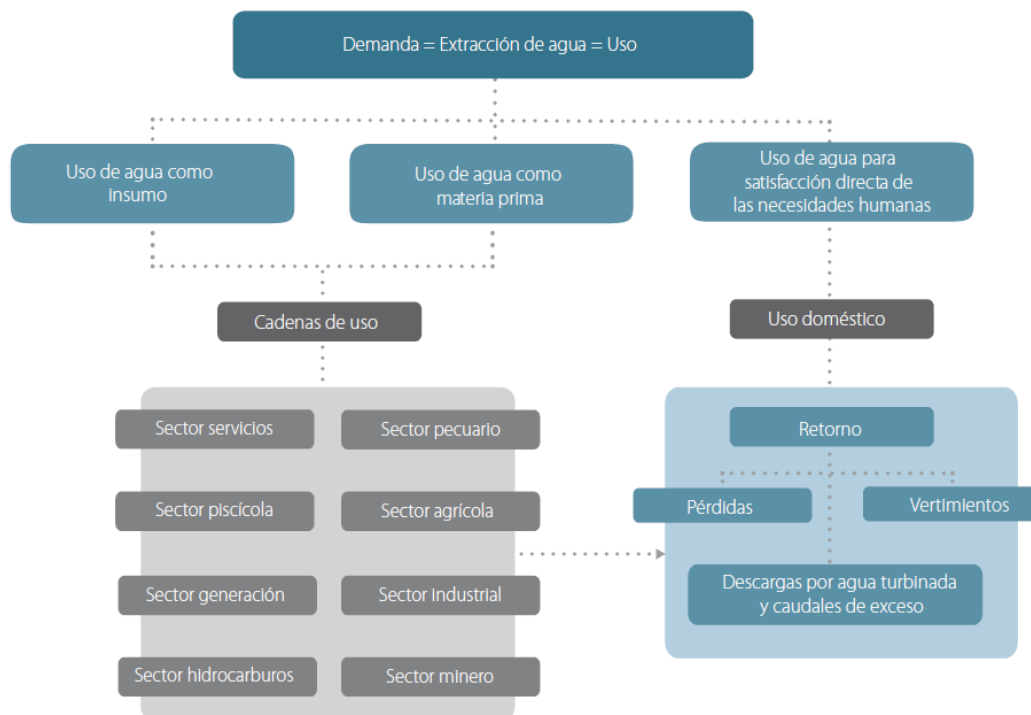


Figura 4-2 Estructura de la demanda hídrica en un territorio según lo presenta IDEAM (2014) en el Estudio Nacional del Agua.

Para cada uno de los sectores se tienen estimados valores promedio y máximos de consumo de agua, lo que constituye factores que permiten calcular la demanda total por sector. En el caso de agua para consumo humano, por ejemplo, se considera un máximo en litros por habitante al día que depende del clima de la región y de la categoría del municipio.

En el caso de municipios en donde el sector industrial es incipiente, la mayor parte de la demanda es debida al consumo humano y actividades económicas del nivel primario (agricultura, ganadería y minería). En todo caso, para el cálculo de la demanda hídrica IDEAM (2010, 2015) señala el uso de factores establecidos mediante diversas investigaciones basadas en pruebas empíricas e incorporadas en la normatividad ambiental nacional.

La dinámica demográfica de las diferentes regiones es un factor que incide mayormente en la demanda hídrica. Como se anotó, para garantizar los medios de vida (alimento, energía, salud) y el funcionamiento de todos los procesos que la sociedad desarrolla en un territorio requieren recurso hídrico, por ello, el crecimiento de la población implica directamente un aumento en la demanda hídrica. El crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización y el aumento de la producción y el consumo están aumentando el ritmo de la demanda de agua en el mundo (UNESCO-WWAP, 2015). A estos factores se puede agregar el asociado a las malas prácticas de uso de agua de la creciente población y a procesos industriales poco eficientes o ambientalmente amigables. Teniendo en cuenta que estudios y proyecciones sobre crecimiento demográfico (UNESCO-WWAP, 2009) ponen a Colombia como uno de los países con alto ritmo de crecimiento demográfico en el siglo XXI (Figura 4-3), las regiones de este país tendrán una fuerte presión sobre los recursos hídricos, lo cual habría que confrontar con la posible oferta, a fin de producir conocimiento e información que soporte la planificación de largo plazo orientada a prever y reducir los posibles conflictos por el agua.

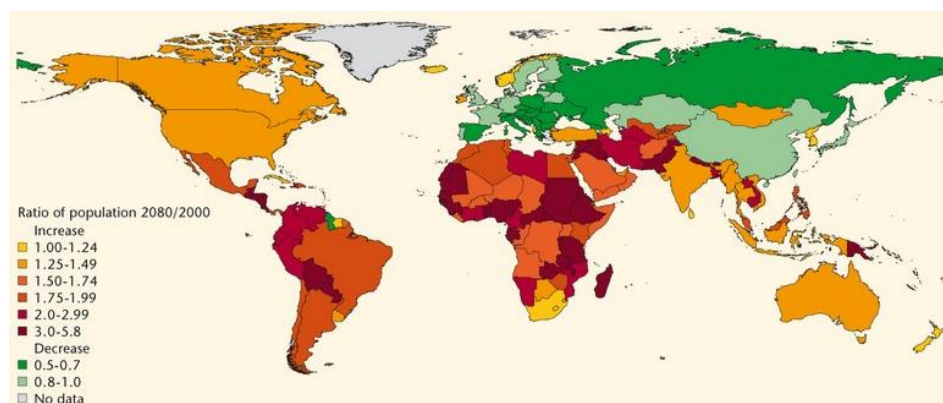


Figura 4-3 Ritmo de crecimiento de la población por países calculado de la relación entre la posible población en el 2080 y la del 2000.

Fuente: UNESCO-WWAP (2009)

La más reciente estimación (UNESCO-WWAP, 2019) demanda mundial de agua se espera que siga aumentando a un ritmo parecido hasta 2050, lo que representa un incremento del 20 al 30% por encima del nivel actual de uso del agua, debido principalmente al aumento de la demanda en los sectores industrial y doméstico.

Por lo anterior, en la planificación de diversos procesos en los territorios es necesario considerar la dinámica demográfica y socioeconómica para establecer la demanda de agua requerida en el futuro y plantear medidas orientadas a una reducción de esta, dado que otros factores como el cambio climático y la deforestación podrían estar reduciendo la oferta natural del recurso hídrico, y problemas como la contaminación de fuentes limitaría aún más el agua disponible para el consumo.

La importancia de conocer la demanda hídrica radica en que se pueden identificar las presiones que ejercen los diferentes sectores usuarios sobre la disponibilidad del agua superficial y subterránea. Contar con información sobre el agua (sus interacciones, intervenciones, impactos y efectos), constituye la base necesaria para una gestión adecuada de los recursos hídricos y servir de insumo para tomar decisiones orientadas a garantizar su sostenibilidad (IDEAM, 2018), es necesario comprender y cuantificar las consecuencias de la acción del ser humano sobre los componentes del ciclo hidrológico, con el fin de desarrollar y proteger nuestros recursos hídricos de manera eficiente y sostenible (UNESCO, 2006). La relación de la demanda sobre la oferta disponible indica el grado de presión sobre la oferta (Índice de uso de agua), y da señales sobre su vulnerabilidad. Con el análisis de las tendencias y proyecciones de demanda y oferta se identifican posibles limitaciones para su aprovechamiento. (ENA, 2014)

4.3. El cambio climático y la oferta hídrica en páramos

Como se planteó en el punto 4.1 la oferta natural de agua en los páramos está en gran medida regulada por el clima y sus variaciones. La estacionalidad de la precipitación induce estacionalidad en la disponibilidad hídrica. Los procesos bióticos, ecológicos y socioeconómicos del territorio se desarrollan acorde con los patrones climáticos (distribución espacial y ciclo anual de las variables climatológicas) establecidos en la región. Experiencias del pasado han mostrado como anomalías climática asociadas a las fases extremas de variabilidad interanual (IDEAM-UNAL, 2018) han generado situaciones críticas para los territorios, ya sea por el déficit o por el exceso de agua (Pabón y Montealegre,

2017). La modificación de los patrones climáticos regionales relacionada con el cambio climático que está ocurriendo y se hará más marcado durante el siglo XXI (IPCC, 2013; 2018), incidirá en la oferta hídrica natural del territorio colombiano (Gutiérrez-Valderrama et al., 2017).

De otra parte, diversas formas en la que se expresa la demanda también están relacionadas con el clima. Condiciones secas o áridas demandan más agua para consumo humano para suplir deshidratación; de igual manera, un aumento de la temperatura media del aire supone un incremento de la evaporación y de la evapotranspiración, por lo que se incrementa la demanda en diversos procesos como la industria, la agricultura, entre otros.

Como es ampliamente conocido, está ocurriendo un calentamiento global (IPCC, 2013), acentuado por la actividad humana que está fortaleciendo el efecto invernadero de la atmósfera con el aumento de las concentraciones de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y cloroflurabonados (CFCs), entre otros. Este calentamiento está induciendo un cambio en otras variables climatológicas, el cual será más sentido durante el siglo XXI e impactará diversos aspectos del desarrollo en los territorios (IPCC, 2014), entre ellos la disponibilidad de recursos hídricos. El Informe especial del IPCC (2018) sobre los impactos del calentamiento global sobre 1.5 °C, señala que la temperatura media mundial en el decenio 2006-2015 fue 0,86 °C más alta que en la era preindustrial. El aumento medio con respecto al mismo período de referencia en el último decenio (2009-2018) fue de aproximadamente 0,93 °C y en los últimos cinco años (2014-2018), de 1,04 °C. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) esto es una llamada a limitar el calentamiento global a 1,5 °C, debido a las crecientes amenazas planteadas por el aumento de las temperaturas. Las observaciones muestran que el calentamiento global se ha acelerado en los últimos 20 años (Figura 4-4) y los cambios en la precipitación están siendo más evidentes (Figura 4-5).

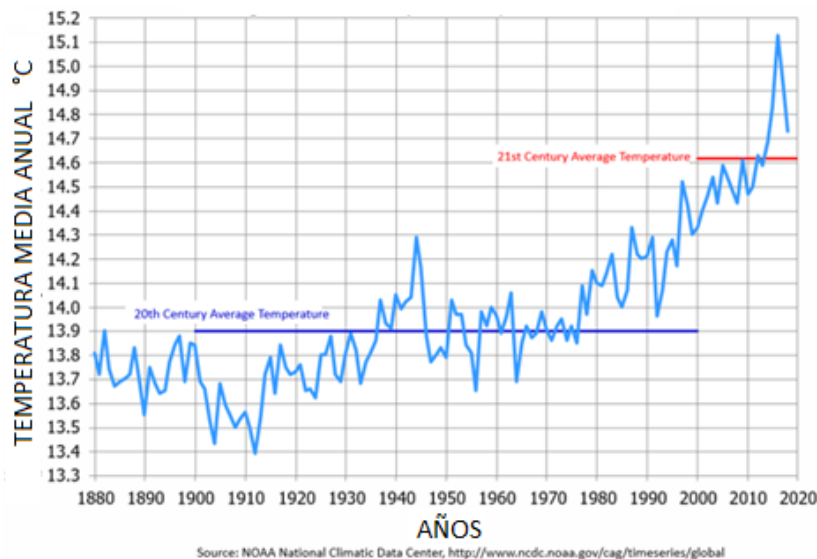


Figura 4-4 Temperatura media anual global desde 1880 hasta 2018

Fuente: NOAA National Climatic Data Center

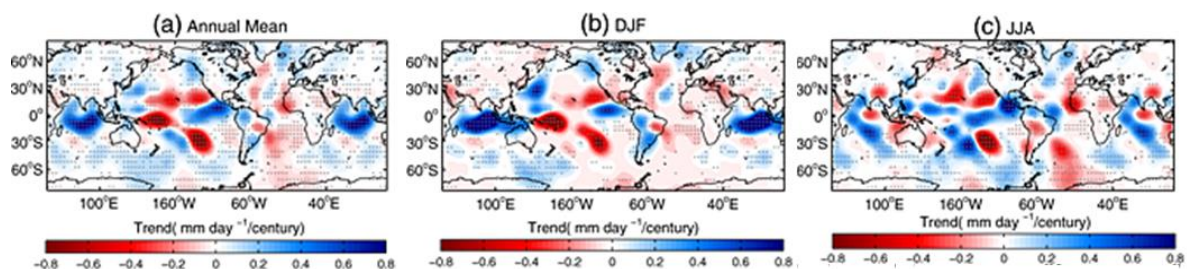


Figura 4-5 Tendencias de la precipitación anual (a), de diciembre-enero-febrero (b) y junio-julio-agosto (c) en el período 1900-2005.

Tomado de Ren et al., (2013)

Tales cambios se pueden manifestar de manera diferente si se mira con mayor detalle dentro de las regiones de los países del mundo, como el territorio colombiano. Según Pabón (2012), IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2015) e IDEAM-UNAL (2018) en Colombia hay evidencias claras del efecto del calentamiento global y del cambio climático: la disminución de los glaciares, aumento de la temperatura en 0.1-0.2°C por decenio y, dependiendo de la región, disminución o aumento de la precipitación y de los caudales de

los ríos. Para el área de alta montaña en donde se encuentran los páramos colombianos, algunos estudios (IDEAM, 2018) señalan que ha venido ocurriendo un aumento neto de 0,2 a 0,3 °C por década durante el período 1961-1990 y una disminución de la precipitación mensual de 2 a 3 mm por década para algunas áreas altoandinas (IDEAM 2001; 2011). Los ecosistemas de alta montaña y páramos, de alta importancia tanto por sus endemismos en flora y fauna como por su capacidad en los procesos de regulación hídrica y almacenamiento de carbono en los suelos, podrían ser más afectados por el aumento de la temperatura. Los cambios que están ocurriendo en el clima estarían modificando significativamente en la estructura y por ende funcionalidad ecológica de cerca del 70% de estos ecosistemas, incidiendo directamente sobre la producción y regulación hídrica de la cual dependen las actividades productivas y el abastecimiento para el consumo de un alto porcentaje de la población Colombiana (Castaño Uribe, 2002), ya que estos ambientes de montaña son muy vulnerables a los impactos anticipados del cambio climático (Van der Hammen, 2000) y se encuentran entre los más sensibles a cambios en las condiciones climáticas que ocurren a escala global, regional y local (Ruiz et al., 2008; Anderson et al. 2010). De acuerdo con estudios realizados por el IDEAM la afectación del cambio climático en ecosistemas de alta montaña y páramos, se ve expresado principalmente en: reducción de la capacidad de retener agua y las reservas de carbón en el suelo, como resultado del incremento de la temperatura y la disminución de la lluvia, cambio en la frecuencia e intensidad de la lluvia, un cambio en la cantidad y calidad del agua y cambios en patrones culturales entre otros. (Andrade, A. et al., 2010).

Según IDEAM (2011), los incrementos más altos de temperatura media se están presentando en el páramo alto (0,17 °C por década, en contraste con promedio de los últimos 50 años a nivel global dado por el IPCC de 0,13 °C por década); la tendencia al aumento en la temperatura máxima (asociada al día) y la disminución de la precipitación, puede contribuir a una mayor evaporación del agua en las zonas de páramo afectando algunos componentes bióticos sensibles a esos cambios: por ejemplo, el cambio de temperatura podría generar que las especies invasoras, por estar mejor adaptadas a eventos extremos, asciendan altitudinalmente, lo que significaría que especies introducidas como pinos, acacias y eucaliptos podrían ocupar el páramo y causar reemplazo de la forma arbórea (Vargas, 2013).

Los cambios que se han venido expresando en los páramos debido al cambio climático tienen efecto en los procesos socioeconómicos y culturales de las poblaciones que habitan zonas aledañas o dependen de los servicios ecosistémicos que brindan estos espacios. Aunque algunos señalan que hay poca seguridad sobre cómo el cambio climático se manifiesta en los Andes tropicales, y mucho menos a escala local; por esto, es difícil concluir con certeza qué está pasando o qué pasará al nivel de una comunidad campesina particular expuesta al cambio climático (Hofstede et al., 2014). Este tipo de apreciaciones impulsa el desarrollar más investigación sobre el efecto del cambio climático en los páramos y los impactos en las comunidades relacionados con ellos.

Los ecosistemas de alta montaña están en una situación sin precedentes en por lo menos los últimos 700.000 años o más en cuanto a aumento del CO₂ y de la temperatura media del aire, la que sin duda impactará el bosque altoandino y páramo en reducción de superficie de las zonas bioclimáticas por el ascenso de unos 400 y 500 m en altitud (en el escenario de duplicación del dióxido de carbono en relación con lo observado en el período pre-industrial), lo que pone en riesgo la diversidad de flora y por consecuencia de fauna, y especies endémicas como *speletia* y *spetiopsis* correrán peligro de extinción (van der Hammen et al., 2002).

El IPCC (2013) estima que para finales del siglo XXI ocurran los cambios en la temperatura media del aire y de la precipitación que se presentan en la Figura 4-6. Como se puede observar, algunas regiones tendrán mayor calentamiento que otras y los cambios en la precipitación son también diferentes por regiones. Estos cambios en el clima afectarán en diverso grado los sistemas socioeconómicos y ambientales en diferentes regiones y países del mundo (Pabón, 2003).

En cuanto a cómo continuará el cambio climático en el siglo XXI, el IPCC (2013), en su Quinto Informe de Evaluación del Cambio Climático, presentó cuatro posibilidades de clima en el mencionado siglo, basadas en escenarios de emisión de gases de efecto invernadero denominadas Sendas Representativas de Concentración (Representative Concentration Pathways o RCP) para potenciales de forzamiento radiactivo total de 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 W/m²

El IPCC (2013) estima que para finales del siglo XXI ocurran los cambios en la temperatura media del aire y de la precipitación que se presentan en la Figura 4-6 para los RCP2.6 y RCP 8.5. Como se puede observar, algunas regiones tendrán mayor calentamiento que otras y los cambios en la precipitación son también diferentes por regiones. Estos cambios en el clima afectarán en diverso grado los sistemas socioeconómicos y ambientales en diferentes regiones y países del mundo (Pabón, 2003).

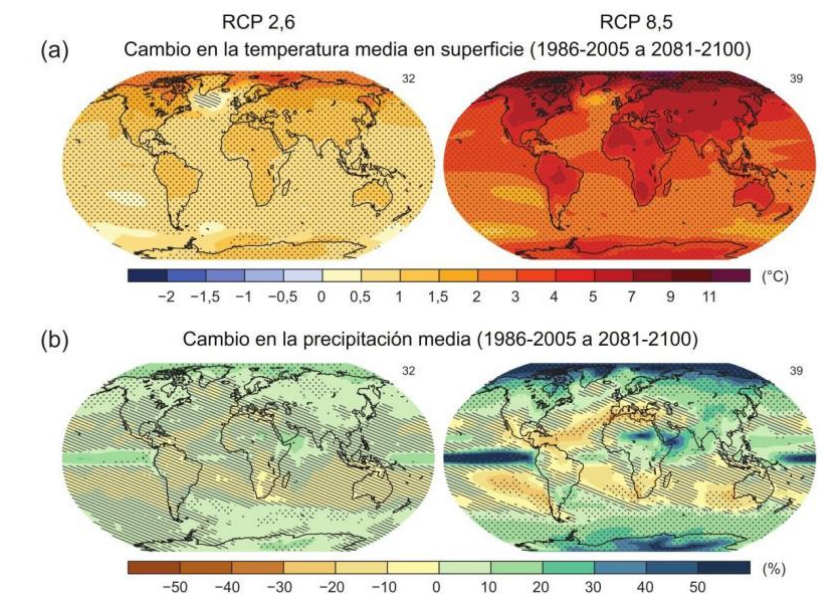


Figura 4-6 Cambio de la temperatura media en superficie en °C (a) y cambio de la precipitación anual en porcentaje (%) referido al promedio de 1971-2000 (b).

Fuente: IDEAM, 2015 basado en IPCC, 2013.

En cuanto se refiere al ciclo global de agua, la diferenciación de los cambios en la precipitación (Figura 4-6b) haría que el efecto en el ciclo hidrológico sea igualmente heterogéneo; el escenario permite visualizar que se acentuaría el contraste en las precipitaciones entre las regiones húmedas y secas y entre las estaciones húmedas y secas, con excepciones regionales (IDEAM, 2015). El IPCC (2014) prevé que, por cada grado de aumento de la temperatura global, aproximadamente el 7% de la población mundial estará expuesta a una disminución de los recursos hídricos renovables de al menos el 20% (Döll et al., 2014; Schewe et al., 2014).

En el ámbito colombiano se han elaborado escenarios de cambio climático desde comienzos del presente siglo utilizando la metodología regionalización estadística y

dinámica de los productos de modelos globales de circulación general de la atmósfera y regionales (Pabón, 2012). Uno de los más recientes es el elaborado por el IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLETERÍA (2015) en el marco de la Tercera Comunicación Nacional de Colombia sobre Cambio Climático, con base en las metodologías propuestas por el IPCC en su Quinto Informe de Evaluación IPCC (2013). Como resultado se presentaron escenarios de cambio en la precipitación y la temperatura a nivel nacional, departamental y regional para el período 2011- 2100. Estas metodologías se basan en el ensamble multimodelo y multiescenario (Reliability ensemble averaging, REA), que permite promediar las respuestas de los diferentes RCPs. Fueron elaborados escenarios para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 tomando como periodo de referencia 1976-2005.

Los principales resultados de IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLETERÍA (2015) en cuanto a escenarios de cambio climático para Colombia señalan incremento de la temperatura media para el periodo 2011-2040 de 1.0°C en los cuatro RCPs respecto al periodo de referencia 1976-2005; para el 2041-2070 de 1-0°C a 1.5°C en el RCP2.6 y de 2.0°C a 2.5°C en el RCP8.5; y para el 2071-2100 de 1.5°C en el RCP2.6 y de 3.5°C a 4.0°C en el RCP8.5. En la precipitación se encontró una disminución de 10% a 40% para la región Amazonia y Caribe en el periodo 2011-2100, incrementos de 10 a 30% en la región Andina y en la Orinoquia de $\pm 10\%$.

Los cambios proyectados en el clima sobre el territorio colombiano afectarán los páramos. Alarcón y Pabón (2013), utilizando escenarios de cambio climático del cuarto Informe de Evaluación de IPCC (2007), señalan que las formaciones vegetales que más se verán afectadas con el cambio climático son las de ecosistema de páramo y bosque altoandino, los cuales podrían desaparecer en algunos sectores a finales del siglo XXI. Desde hace más de 15 años instituciones públicas y privadas del país, a través de la Primera Comunicación Nacional de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático), habían advertido que el 95% de los nevados y el 75% de los páramos desaparecerían hacia mediados del siglo XXI. Este efecto se podría catalogar de problema de seguridad nacional relacionado con la pérdida de buena parte de los bienes y servicios ambientales, fundamentalmente el agua.

4.4. Otras presiones sobre el páramo y su función hídrica

Los ambientes de páramo y su función hídrica, además del cambio climático, están siendo afectados por la acción antrópica. Vargas (1994) advertía que los principales factores que destruyen los páramos en Colombia: el corte de matorrales y bosques enanos para leña, quema extensiva indiscriminada, pastoreo, explotación de minas y canteras (calizas, carbón, oro), construcción de carretables, reservorios mal planificados, desecación de lagunas y humedales, reforestaciones con especies exóticas (*Cupressus*, *Pinus*, *eucaliptus*), factores que contribuyen a la colonización acelerada, pérdida de especies nativas, erosión hídrica, sedimentación, eutrofización de las lagunas. (Vargas, 1994 en Guerrero, 2001). Las presiones antrópicas aumentan en la medida como se incrementa la población, avanza la frontera agrícola, se intensifica el pastoreo de ganado, se amplían plantaciones de pino y se promueve el turismo, acciones que además de impactar el ecosistema, se constituyen en una demanda adicional de agua (Buytaert et al., 2010), lo que presiona aún más los páramos.

La quema de bosques y los agroquímicos son otro problema grave para los páramos y sus funciones. El uso del fuego ligado al incremento de la agricultura y en especial a la ganadería extensiva es una práctica común en los páramos, que además de ocasionar la destrucción de biomasa y necromasa, promueven la colonización rápida de especies invasoras, para la agricultura también se utiliza maquinaria e insumos químicos para fertilización, y pesticidas para el control de plagas por ejemplo el cultivo de la papa consume grandes cantidades de fertilizantes compuestos e insecticidas y fungicidas, que afectan el suelo y su micro biota además de generar contaminación de los recursos de agua (Vargas, 2013).

Uno de los mayores impactos al páramo es causado por el sector pecuario que a gran escala genera daños en el suelo y disminuye el rango poblacional y diversidad de especies por el consumo de retoños y plántulas herbáceas; además, desplaza las pocas poblaciones de grandes mamíferos silvestres (venados, osos, dantas) que encuentran en el páramo su último refugio natural (Castaño-Uribe, 2002), con lo que se produce daño a las comunidades de flora y fauna que fundamentan el equilibrio ecosistémico del páramo y su función hídrica.

Otra de las actividades que impactan los páramos es la minería. Según De Bièvre (2008) es prácticamente imposible desarrollar proyectos de minería en páramo sin afectar el suelo. Las tensiones que perturban directamente el suelo, como la minería o la labranza intensiva, afectan mucho más la regulación de agua que las que afectan la vegetación únicamente (por ejemplo, la quema). Por ello, la minería en páramo puede afectar considerablemente la regulación hídrica del páramo y ejercer presión por demanda de agua para funcionar.

4.5. Asuntos normativos sobre páramos y sobre el uso del agua: marco legal

Los asuntos relacionados con la oferta y la demanda de agua en un determinado territorio están mediados por las regulaciones que realiza la sociedad ya sea, por un lado, mantener la oferta natural mediante la conservación de ecosistemas, o, por otro, controlar el consumo de agua o la repartición de su uso.

La protección de las áreas de páramo

En cuanto a protección de páramos, la Ley 2 de 1959 declaró en el artículo 13, los Nevados y las áreas que los circundan como "Parques Nacionales Naturales", los cuales están sujetos a determinadas medidas de conservación.

La Ley 99 de 1993 estableció las zonas de páramos, subpáramos nacimientos de agua y zonas de recarga de acuíferos como objeto de protección especial y la protección de la biodiversidad. El artículo 111 de la Ley 99 del 1993 estableció como interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que suministran agua a los acueductos locales.

Ley 1930 de 2018 "por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia" en el artículo 4 establece que el ministerio de Ministerio de

Ambiente y Desarrollo Sostenible deberá hacer la delimitación de los páramos basada en el área de referencia del Instituto Alexander von Humboldt a escala 1:25.000. La aplicación de esta Ley en la práctica de delimitación de páramos específicos ha generado situaciones de conflicto en comunidades locales debido a la consecuente limitación en el desarrollo de actividades (minería, agricultura, cría de animales, turismo, etc.) en estas áreas, por lo que las demandas legales aparecen como medio de búsqueda de solución de estos conflictos.

En el caso específico del Páramo de Pisba hay oposición por parte de las comunidades, principalmente mineros, que han visto limitado su trabajo de extracción de carbón. Trabajadores de la empresa C.I. Bulk Trading Sur America Ltda de extracción de carbón en el páramo de Pisba en el municipio de Socha, interpusieron una acción de tutela para detener la delimitación, la demanda produjo un fallo que ordeno al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible abstenerse de expedir acto administrativo definitivo de delimitación hasta tanto se le garantice a las comunidades involucradas participación en este proceso. Consecuentemente esta acción legal en segunda instancia mediante el fallo reconoció al páramo como sujeto de derechos, lo que obliga al Ministerio de Ambiente y a las autoridades ambientales a no aprobar planes de manejo ambiental para actividades mineras en el páramo de Pisba.

Colombia ha adoptado convenios internacionales como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), con la Ley 164 de 1994, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULCD), el Convenio Ramsar relativo a la conservación de humedales y la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Natural y Cultural, entre otros. Todas estas convenciones, imponen obligaciones al país en cuanto a protección de ecosistemas, entre ellos los páramos, por su particularidad en el ciclo del carbono y del agua.

La regulación del consumo y uso de agua

En Colombia hay una compleja normatividad relativa al agua que se distribuye en leyes, decretos, resoluciones y directivas (ver “Legislación del agua normativa nacional para la administración y planificación ambiental del agua” en el sitio Web <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=407:plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-14#leyes>)

De otra parte, la sociedad ha introducido el concepto de caudal ecológico como medio de regulación de consumo de agua. El caudal ecológico se refiere a agua de un río, o de cualquier otra corriente, necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce del mismo, como: la riqueza de flora y fauna, las funciones ambientales como dilución de polutantes o contaminantes, amortiguación de los extremos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos, preservación del paisaje. En Colombia el Decreto 3930 del 2010 lo define como el “volumen necesario tanto de las actividades socioeconómicas como el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos en función de calidad, cantidad, duración y estacionalidad”

La Resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial adoptó la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 con base a cálculo de oferta y demanda hídrica, el consumo humano se basa en Resolución 2320 de 2009 que determina las dotaciones.

Por otra parte, en Colombia el Decreto 155 de 2004, reglamentó el Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan disposiciones” (p.1). Este decreto fundamenta la aplicación del cobro de Tasa por Uso del Agua (TUA), para aguas superficiales, aguas estuarías, aguas subterráneas, y acuíferos litorales.

El Decreto 1066 del 2015 regula el trámite de concesión de aguas superficiales el cual se hace ante la autoridad ambiental jurisdiccional.

4.6. El estudio sobre la relación oferta-demanda hídrica en geografía: marco geográfico

El tema central del que se ocupa el presente trabajo se enmarca desde el punto de vista teórico en la geografía ambiental en el sentido como la define Cuadra (2014): *“La geografía ambiental, alineada con otras disciplinas, ha contribuido enormemente en materia educativa, en la concienciación social, en la investigación, en estudios y en evaluaciones ambientales, con el objetivo de prevenir, reducir y solucionar problemáticas concretas en espacios geográficos de diferentes países”* (Cuadra, 2014:7).

Los diferentes tipos de geografía que desde la perspectiva teórica y metodológica están relacionadas con la investigación son la geografía física, económica y política:

- La geografía física (principalmente climatología, hidrogeografía, edafogeografía y biogeografía) en la descripción de los espacios de páramo y en la explicación de procesos asociados a la hidroclimatología y al ciclo hidrológico que conllevan a la organización de una oferta natural del recurso hídrico.
- La geografía económica, en el análisis del sistema productivo en los municipios de estudio está determinado directamente por la disponibilidad de agua que proviene de las partes altas de páramo y es aprovechada para las actividades humanas.

En este sentido, el recurso hídrico es distribuido por los acueductos predominantemente rurales, algunos sistemas de riego amparados con concesión de aguas superficiales, los cuales están estipulados por la tasa por utilización de aguas y mecanismos de captación sin permiso de la autoridad ambiental.

Los mecanismos de distribución del agua crean lazos de agrupamiento social en torno a la disposición del recurso hídrico, en asociaciones de suscriptores de acueductos, asociaciones de distritos de riego, etc. y demuestran la importancia de la oferta de agua para la permanencia productiva en el territorio. De acuerdo a los esquemas de ordenamiento territorial de los municipios del área de estudio las actividades económicas predominantes son la agropecuaria y minera.

- La geografía política, en el contexto de la planificación territorial mediante los esquemas de ordenamiento territorial municipal, la interacción con el POMCA (Plan de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca) de la cuenca media del río Chicamocha para el caso de Tasco y Socha y POMCA del río Cravo sur y Pauto para el municipio de Socotá, la cual determina la distribución de actividades económicas a lo largo del área de estudio especialmente agropecuarias y mineras derivadas de factores poblacionales históricos, calidad de pastos para cría de ganados, terrenos fértiles para cultivos de clima frío, disposición de agua proveniente del páramo.

Es importante establecer en materia de planificación territorial la importancia de la definición de los usos de suelo en temas de protección de áreas de especial importancia ecológica, cómo las zonas de paramo definidas hasta la fecha y las que se encuentran en revisión para una posible declaratoria como área de paramo por vía administrativa y mediante la inclusión en los esquemas de ordenamiento territorial con usos de suelo no compatibles con actividades diferentes a conservación o investigación científica.

El problema para resolver es cómo desarrollar políticas que permitan la conservación de las áreas de páramo, altamente vulnerables al cambio climático y actividades humanas, estableciendo mecanismos que a través de la participación política consciente logren producir efectos positivos en la relación naturaleza y sociedad, y consecuentemente participar como colectivo, comunidad y páramo, en la conservación y la garantía de disponibilidad hídrica tanto en acueductos rurales como regulados por la propia comunidad como en las ciudades conexas.

La caracterización legal del páramo de Pisba como área de especial importancia ecológica, por su contribución natural implica la valoración económica a través de la conservación, vía ordenamiento territorial, por encima de la valoración productiva, como la agropecuaria o minera, acogiendo el principio constitucional de la primacía del interés general sobre el particular.

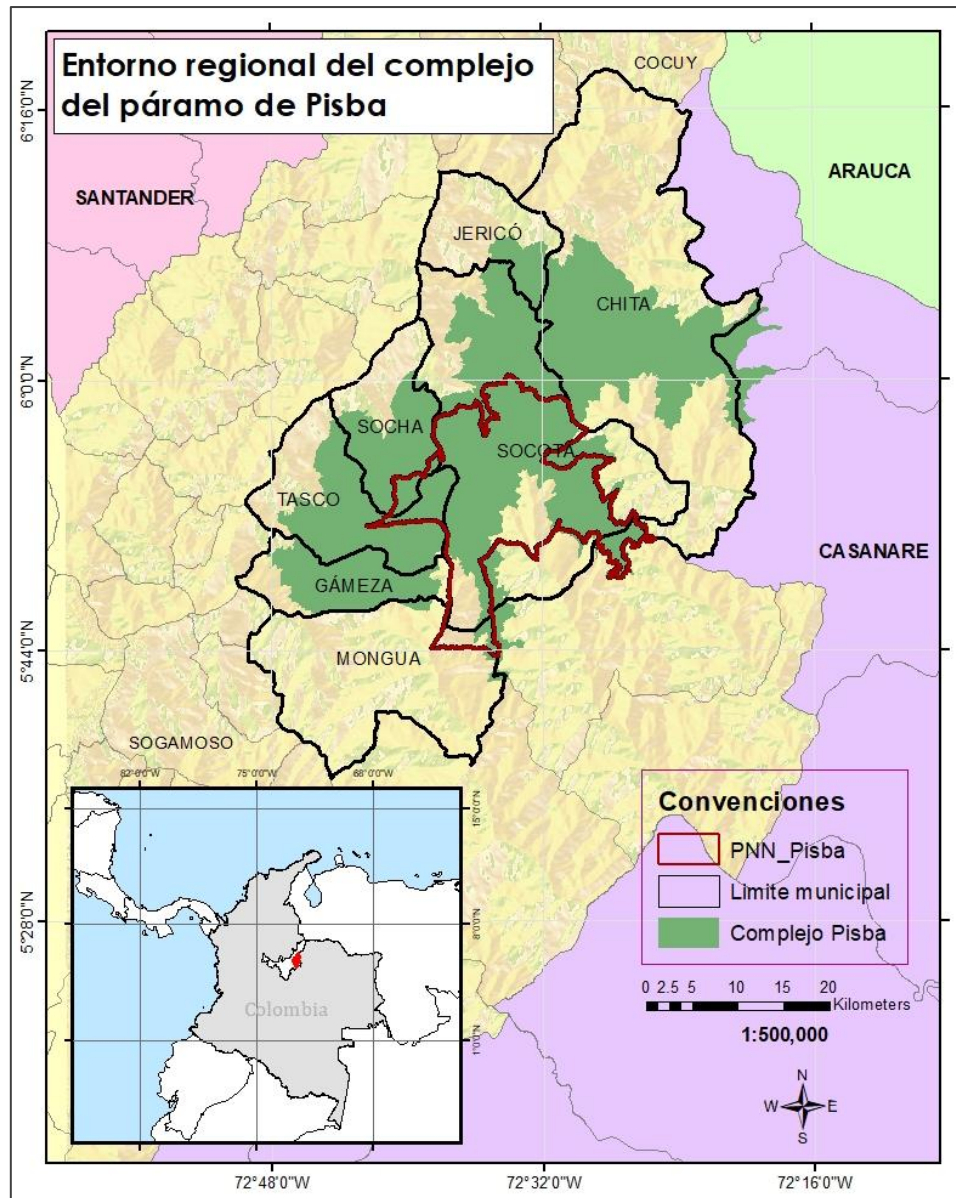
5. Área de estudio

El presente estudio se realiza para el área de los municipios de Tasco, Socha y Socotá, situados sobre la vertiente occidental del Páramo de Pisba, hacia el río Magdalena (Figura y mapa 5-1). Según estimaciones de DANE (2005) los tres municipios reúnen una población de 24.813 habitantes distribuidos respectivamente así: 6.925 en Tasco, 7.593 en Socha y 10.295 en Socotá. Esta población se sirve de la oferta natural de agua que suministra el páramo de Pisba a través de los diferentes arroyos, quebradas y ríos que escurren por las laderas hacia los tributarios del río Magdalena.

El complejo Pisba se define como húmedo a muy húmedo, con valores medios mensuales de humedad relativa de 94% y precipitaciones definidas por el relieve característico del páramo y grandes movimientos de aire; el sector de la vertiente hacia el Magdalena es menos húmedo que el oriental (hacia el Orinoco). Los rangos de temperatura reportados para estos páramos van desde 5,2 hasta 6,5 °C (UAESPNN, 2006).



Figura 5-1 Panorámicas de Socotá (izquierda), Tasco (centro) y Socha (derecha)



Mapa 5-1 Provincias que conforman el área de influencia directa del PNN Pisba.

Fuente: elaboración propia.

El páramo de Pisba, es una estrella hídrica regional que alimenta las cuencas hidrográficas del Magdalena, Cauca y Orinoco, brindando agua a una amplia parte de la población del centro oriente del país principalmente Boyacá y Casanare. Según el sistema del IDEAM

(2013) el complejo pertenece a las áreas hidrográficas Magdalena-Cauca y Orinoco, que se subdividen en una y tres subzonas, respectivamente, siendo la del río Chicamocha la más representativa. De acuerdo con la información cartográfica de Corpoboyaca (2016) en el entorno local del complejo de Pisba nacen 24 unidades hidrográficas de las cuales 15 son Quebradas y 9 ríos. En el complejo de Pisba se han identificado múltiples lagunas de origen glaciar (Greenpeace, 2013)



Figura 5-2 Quebrada del páramo de Pisba.

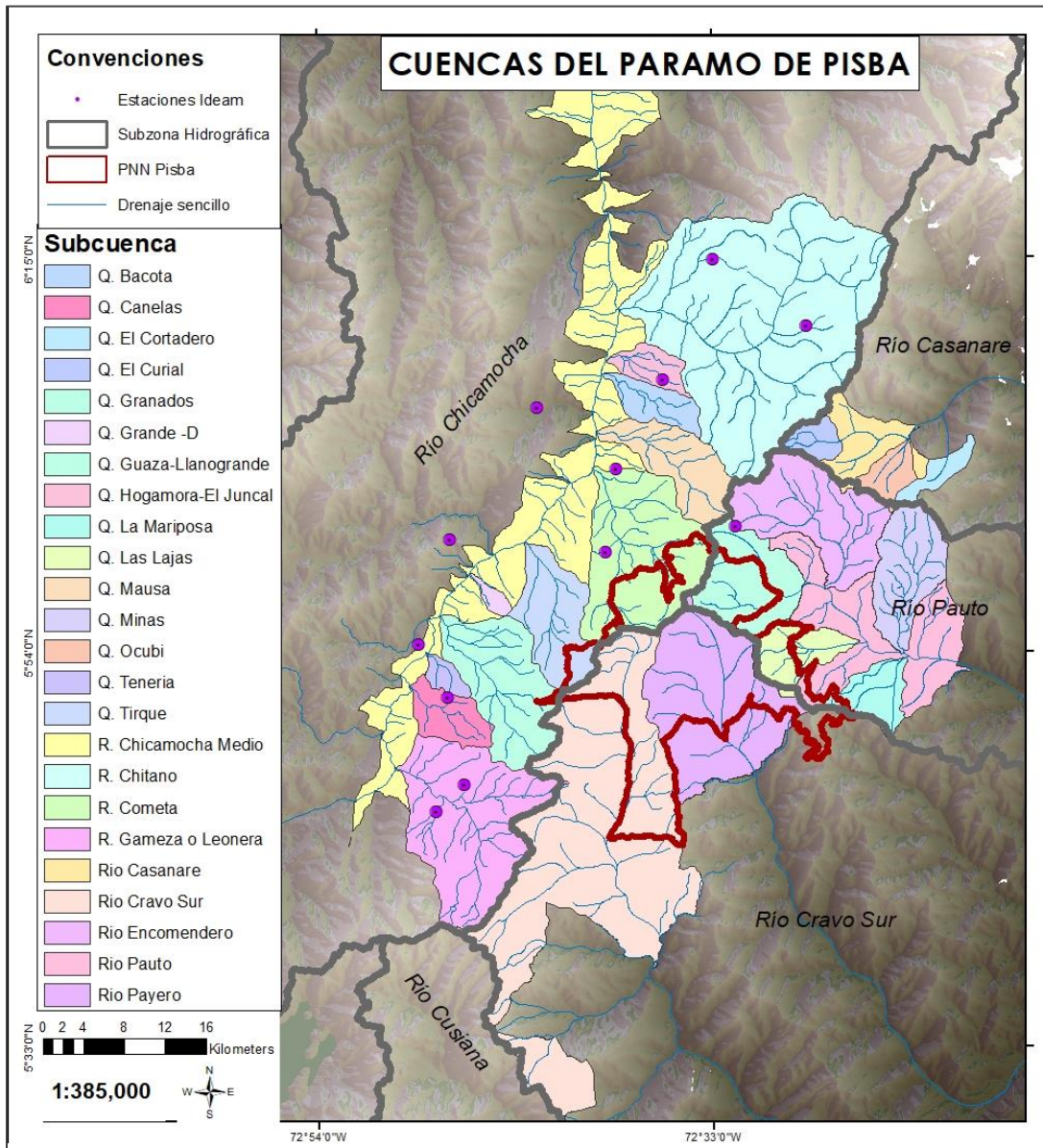
Una de las por lo menos 375 quebradas que alimentan a los ríos principales de la zona; están influenciadas por la presencia de las precipitaciones del momento, se cargan después de una lluvia aumentando rápidamente su caudal, según los Estudios para la delimitación del páramo realizada por Corpoboyaca en 2016.

Al noroccidente los principales cuerpos hídricos pertenecen a la cuenca del río Chicamocha, el más importante del departamento de Boyacá uno de sus principales afluentes es el río

Gamesa. Son parte de esta el municipio de Socha y la mayor área del municipio de Tasco, Gamesa y Socotá se encuentra dentro de esta cuenca. Al oriente se encuentra la cuenca del río Pauto el cual nace en el cerro Romeral en la zona de páramo del municipio de Socotá, a 3.700 msnm y abastece a municipios de Casanare. Su recorrido inicia en el municipio de Chita y termina en el río Meta en la población de Bocas del Pauto. Y al sur se encuentra la cuenca río Cravo sur sus principales afluentes son el río El Payero y Tocaría. Esta cuenca nace al oriente del municipio de Tasco y Socha sobre los 3.800 m.s.n.m., en la Serranía de Peña Negra y el Páramo de Cadillal, se encuentran protegidos dentro de los límites del Parque Nacional Natural Pisba.

La hidrografía detallada por municipios del área de estudio se resume de la siguiente manera:

- Las principales quebradas del municipio de Tasco son Guaza, Canelas, Tenería y la Chapa, las cuales desembocan en el río Chicamocha. En la parte sureste se encuentra la cuenca del río Cravo Sur, que nace de la quebrada El Cadillal.
- La red hídrica del municipio de Socha está conformada por la subcuenca el Tirque y su quebrada, que atraviesa el municipio desde su nacimiento en la Laguna de Socha hasta su desembocadura en el Río Chicamocha.
- El municipio de Socotá cuenta con la cuenca del río Coméza o Cometa, afluente importante del río Chicamocha así como la quebrada Mause. En el sector sureste del municipio se encuentra el PNN Pisba donde se origina la divisoria de agua de tres subzonas hidrográficas: Chicamocha, Cravo Sur y Pauto. En este sector, los drenajes nacen del páramo de Pisba y drenan al río Meta, entre los principales esta la quebrada El Cadillal que limita con Tasco y Gamesa, pasa por Mongua hasta llegar a Labranzagrande, el río Payero, el río Pauto que lo conforman quebradas Granados y Las Lajas.



Mapa 5-2 Mapa de la distribución de cuencas, subcuencas y ríos del páramo de Pisba

Fuente: elaboración propia

Las poblaciones de Tasco, Socotá y Socha se benefician de los servicios que ofrece el páramo de Pisba, especialmente de la oferta natural de agua, con lo que mantienen los medios de subsistencia y las actividades productivas que garantiza un funcionamiento socioeconómico del territorio. En el capítulo 1 (Antecedentes) de este trabajo, donde se

describen las principales actividades socio-económicas de la región, se señaló que la minería, la agricultura, la ganadería y el consumo humano son las principales actividades que demandan agua, y que la competencia entre ellas está generando conflicto por el uso del recurso hídrico.

Estos conflictos se expresan de diversa forma en los municipios y las mismas comunidades han venido manifestando preocupación por una disminución del recurso hídrico disponible para el consumo humano local. Esta disminución del agua de las comunidades relacionadas con el Páramo de Pisba es atribuible al incremento del uso del recurso hídrico debido a la intensificación de la minería, la agricultura y ganadería y, posiblemente al cambio climático que podría estar contribuyendo a una disminución de la oferta natural.

Una consideración a tener en cuenta es que, en los municipios de estudio, la mayor parte de la población es rural por lo tanto el recurso hídrico es abastecido fundamentalmente por acueductos veredales. De acuerdo al censo DANE (2015) realizado en cada municipio, Tasco presenta un 70% de población rural, Socha un 53% y Socotá 88%.

6. Metodología

6.1 Cartografía básica utilizada

El sistema de referencia que se usa para la generación de todos los mapas en este estudio es el Sistema Magna-Sirgas origen Bogotá.

La base cartográfica y la zonificación hidrográfica de Colombia (IDEAM, 2013) se consideran a escala 1:500.000, cartografía en escalas 1:100.000 del IGAC para límites municipales, cabeceras y títulos mineros; el Ideam para las estaciones meteorológicas y escenarios climáticos, Instituto Humboldt para páramos, parque natural nacional Pisba y escala 1:25.000 de Corpoboyacá para subcuencas. Se utiliza DEM SRTM Global 1 arc second de resolución espacial de 12.5m, obtenido del portal earth explorer de la Nasa.

La localización y georreferenciación de fuentes que abastecen cabeceras municipales se identifican a partir de las coordenadas obtenidas con los mapas de riesgo de cada municipio e información de Corpoboyaca, al igual que coordenadas de concesiones mineras.

6.2. Metodología para la descripción de la hidroclimatología regional y determinación de la oferta natural

6.2.1. Datos e información

Se utilizaron datos mensuales de precipitación y temperatura del periodo 1975-2016, procedentes de 12 estaciones meteorológicas cercanas al paramo de Pisba, información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Las estaciones utilizadas se muestran en la Tabla 6-1 y la ubicación geográfica de las

estaciones en el mapa 6-1. También se utilizaron los datos espaciales de subcuencas hidrográficas que se encuentran en el páramo de Pisba obtenidos por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá –Corpoboyacá, así como las fuentes y los caudales registrados por esta entidad para las cabeceras municipales.

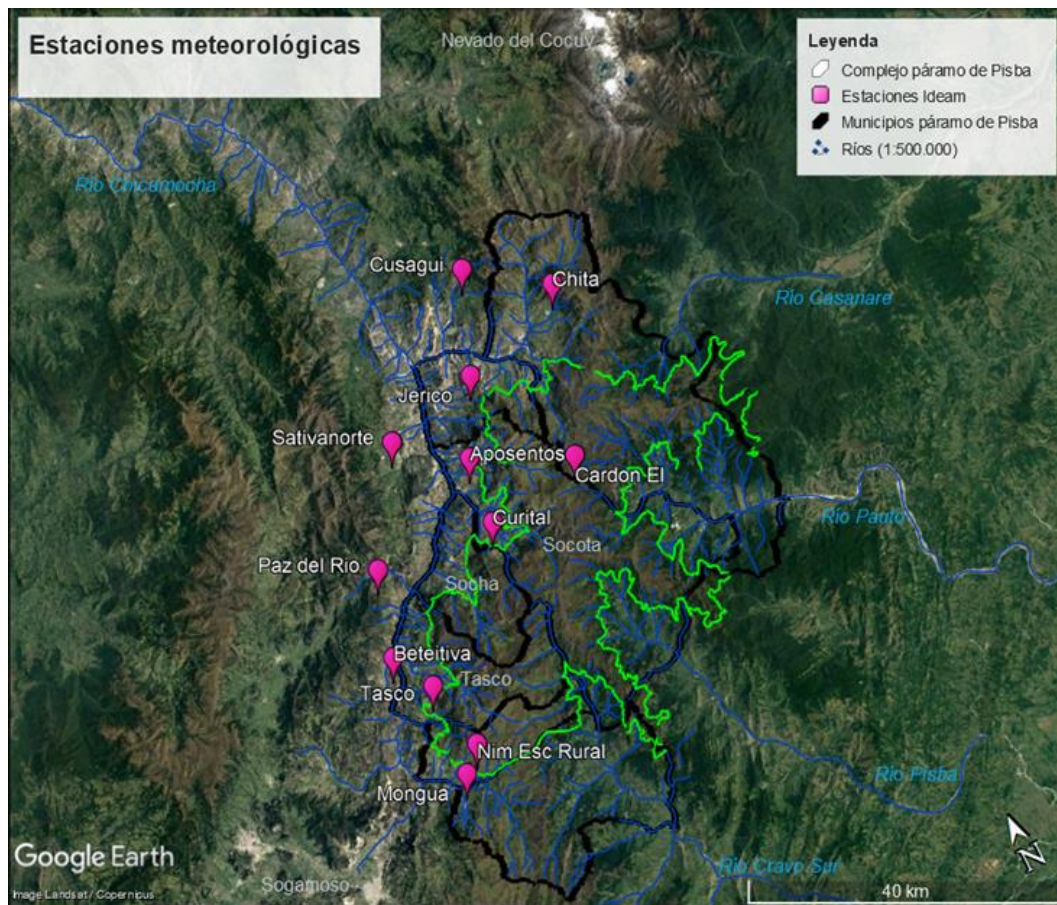
Tabla 6-1 Estaciones Meteorológicas Utilizadas para el área de estudio

CODIGO	ESTACIÓN	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	CORRIENTE	MUNICIPIO	TIPO
24030160	TASCO	2486	5.860357	-72.784791	CHICAMOCHA	TASCO	PLUVIOMETRICA
24030690	CURITAL	3052	5.988583	-72.644055	QDA CURITAL	SOCHA	PLUVIOMETRICA
24030570	APOSENTOS	2328	6.062083	-72.635333	CHICAMOCHA	SOCOTÁ	PLUVIOMETRICA
35235010	CARDON EL	3590	6.011667	-72.529278	QDA GAVILAN	SOCOTÁ	CLIMATOLOGICA ORDINARIA
24035250	CHITA	2888	6.188333	-72.466333	QDA PENA BLANCA	CHITA	CLIMATOLOGICA ORDINARIA
24035010	CUSAGUI	2950	6.248111	-72.548889	CHICAMOCHA	LA UVITA	CLIMATOLOGICA ORDINARIA
24030580	JERICO	2962	6.141472	-72.59333	QDA ALTAMIZAL	JERICÓ	PLUVIOMETRICA
24035020	BETEITIVA	2575	5.907278	-72.810611	CHICAMOCHA	BETÉITIVA	CLIMATOLOGICA ORDINARIA
24030640	NIMICIA RURAL	ESC 3200	5.782361	-72.769806	SASA	GÁMEZA	PLUVIOMETRICA
24030560	MONGUA	2900	5.758389	-72.7945	SASA	MONGUA	PLUVIOMETRICA
24035320	SATIVANORTE	2594	6.116861	-72.704833	QDA LAS LEONAS	SATIVANORTE	CLIMATOLOGICA ORDINARIA
24037510	PAZ DE RIO	2200	6.000278	-72.782222	CHICAMOCHA	PAZ DE RIO	LIMNIGRAFICA

Fuente: IDEAM

Una vez obtenidos los datos de las estaciones meteorológicas se procedió a realizar un tratamiento de datos que consistió en la organización y complementación de los datos en los casos que faltaran por medio del método de la razón q (Barger, 1960) y razón-normal (Paulus y Kohler, 1952).

Con esta información se procedió a graficar y hacer una descripción climática de la zona con la precipitación y temperatura.



Mapa 6-1 Distribución de las estaciones hidrometeorológicas, cuyos datos se han utilizado para el análisis de balance hídrico.

Fuente: elaboración propia

Para la estimación de la oferta futura se utilizaron los escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura elaborados por el IDEAM (2015) para el siglo XXI basados en los representative concentrations pathway (RCP) de IPCC 2013, para el efecto se utilizarán los escenarios del periodo 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Con ayuda de sistema de información geográfica Arcgis y Google earth pro se realizó el análisis espacial.

6.2.2. Estimación de la oferta hídrica superficial natural

La estimación de la oferta hídrica natural superficial actual se realizó a través del cálculo de un balance hídrico simple para el balance anual, en la condición hidrológica año medio, que se resume en la siguiente expresión:

$$E = Pr - ETR$$

Donde: E - escorrentía; Pr - precipitación; ETR - evapotranspiración real

La oferta hídrica del área de estudio, representada por la escorrentía (mm) en la ecuación de balance, se estableció a partir de la media total anual multianual para el periodo tomado de referencia (1975 - 2005) de los registros de precipitación y una estimación de la evapotranspiración real anual multianual.

La evapotranspiración real (en milímetros) se estimó mediante el uso de la relación entre precipitación y la temperatura contemplado en la fórmula de Turc:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P - precipitación media anual; L- es una función de **t**, que a su vez es función de la temperatura (t), y la precipitación (**P**).
 $L=300+25t+0,005t^3$

Una vez calculada la evapotranspiración y la escorrentía, se realizó una interpolación de los datos para conocer la distribución espacial de estas variables y así las particularidades regionales de estos componentes del ciclo hidrológico.

6.2.3. Distribución espacial variables

Los resultados de escorrentía así como de temperatura y precipitación fueron espacializados usando la herramienta ArcGIS mediante el método de interpolación de IDW, ingresándolos previamente a la tabla de atributos de las estaciones meteorológicas. Se utilizó el método IDW porque da resultados más precisos, comparado con kriging y spline,

según lo confirmaron Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F. 2012, quienes atribuyen la ventaja de IDW a que este se apoya en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme se incrementa la distancia, de este modo pondera con mayor fuerza a los puntos cercanos a la celda proceso y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia.

Como apoyo para la descripción de la hidroclimatología regional, se elaboraron mapas de temperatura media multianual y precipitación media total anual promedio multianual. Los valores multianuales se obtuvieron promediando los valores totales mensuales de precipitación (mm) y temperatura (°C) por los años considerados. El valor anual multianual de temperatura se obtuvo promediando los valores multianuales de cada mes; en el caso de la precipitación, mediante la suma (el acumulado) de los 12 promedios multianuales de cada mes. Los mapas resultado de estos dos procesos se realizaron con representación de las unidades municipales para conocer el clima en cada uno de los municipios y por subcuenca para conocer la precipitación media y temperatura media en cada una de estas unidades hidrográficas.

6.2.4. Cálculos del rendimiento hídrico de las cuencas

Con los resultados de precipitación y temperatura se determinó la escorrentía por subcuenca por ecuación de balance para comparar esos resultados con la escorrentía interpolada.

Con base en el planteamiento expresado en el ENA (2014) "*Adicional a la escorrentía expresada en lámina de agua (mm), la oferta hídrica superficial en las cuencas hidrográficas puede expresarse como rendimiento hídrico, el cual representa la cantidad de agua por unidad de superficie en un intervalo de tiempo dado (l/s/km²)*" se determinó el rendimiento para cada cuenca haciendo una conversión de escorrentía (mm) a rendimiento (l/m².s). De esta manera, se estableció el volumen de la oferta hídrica representada en el rendimiento hídrico para cada una de las cuencas identificadas como proveedoras del recurso. Adicionalmente, se presentaron los caudales de las fuentes hídricas que abastecen acueductos de las cabeceras municipales de Tasco, Socha y Socotá provenientes del Páramo de Pisba. La información resultante se validó mediante comparación con los

registros históricos de caudal medio multianual calculados a partir de las mediciones que se han realizado en la estación hidrológica Paz de Rio, cercana al área de estudio.

El valor de la oferta hídrica superficial en las fuentes de abastecimiento de las cabeceras municipales se obtuvo a partir de la identificación y definición de la cuenca hidrográfica aportante a cada una de las fuentes

Después de obtener la oferta hídrica total superficial natural se procedió a calcular la oferta hídrica superficial disponible de acuerdo a criterios hidrológicos propuestos por el Ideam para la región Andina, resultado de sustraer a la primera el caudal ambiental. A nivel de subcuencas se determinó a partir de la reducción de la oferta hídrica total calculada en un 25% y la reducción por calidad de agua por calidad del agua (25%) porcentajes propuestos por el IDEAM. Y a nivel de cabecera municipal igualmente se trabajó el caudal ambiental junto con la reducción de caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas, información suministrada por Corpoboyaca.

6.2.5. Estimación de la oferta hídrica futura

La oferta hídrica futura se estimó utilizando las proyecciones de temperatura media del aire y precipitación para Colombia que IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2015) publicó para los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, es decir para todo el siglo XXI, con los escenarios RCP del Quinto informe de Evaluación sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013).

Con los datos de precipitación y temperatura correspondientes al departamento de Boyacá, se elaboraron mapas en ArcGIS para cada periodo futuro (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100). De estos mapas se extrajeron datos para el área de los municipios de Tasco, Socotá y Socha sobre los puntos donde se localizan las estaciones climatológicas que disponían de información histórica de observaciones

Una vez disponible los datos de precipitación media y temperatura media del aire, se procedió a calcular evapotranspiración, escorrentía y los rendimientos que se observarían en la región en los tres períodos futuros mencionados, utilizando para ello las

aproximaciones usadas para el cálculo de estas mismas variables en 1976-2005. De esta manera se establecieron los rendimientos futuros en las cuencas.

6.3 Metodología para el cálculo de la demanda hídrica

En el presente estudio se consideró la demanda de los principales sectores en el uso de agua que se tiene en los municipios de Tasco, Socotá y Socha, a saber: agrícola (requerimiento hídrico para riego para cultivos permanentes, transitorios y pastos para ganadería), pecuario (consumo de ganado, ovinos, caprinos, porcinos, equinos y aves), industrial (carbón) y doméstico (asignación de la dotación de agua para consumo humano). Debido a la escasa información en el país, particularmente para la región de estudio, sumado a la falta de reportes históricos de agua usada en fuentes superficiales y subterráneas, la demanda se calculó de acuerdo a lo establecido por la Resolución 865-04, que señala que esto se debe hacer a partir del volumen de producción sectorial y un factor de consumo de agua, el cual representa el volumen de agua, expresado en millones de metros cúbicos, utilizado por las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado (generalmente $m^3/año$). Al final la demanda total territorial (municipal) corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales.

A continuación, se describe el procedimiento de cálculo de la demanda, describiendo en detalle cada factor de consumo por sectores.

6.3.1. Datos e información

Los datos para estimar la demanda hídrica se recopilaron a partir de diversas fuentes como: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, del Sistema Estadístico Nacional del DANE, Secretaria de Fomento Agropecuario de Boyacá, Alcaldía de Tasco, Gamesa, Socha y Socotá, Evaluaciones agropecuarias por consenso en departamento de Boyacá, Corpoboyaca, Fedegan, FAO Cartilla 56 serie riego y drenaje, Ministerio de Minas y Energía y la Agencia Nacional de Minería, Ministerio de Agricultura (Agronet), Ministerio de Ambiente y el Estudio Nacional del Agua 2014, así como de bases de datos analizadas y avaladas por los sectores usuarios. La demanda de agua se estableció para las principales

actividades que se desarrollan en los municipios analizados: servicio doméstico, agropecuario y minería. Se complementa con información registrada en bases de datos de la Corporación Ambiental de Boyacá (Corpoboyaca) sobre cobro de la Tasa por Uso de Agua (TUA).

De acuerdo al Sistema de Información del Recurso Hídrico -SIRH- la demanda de agua se calcula por medio de la suma de las demandas por consumo de agua por sectores usuarios o actividades en un espacio y tiempo determinado y debe ser calculada en m³/año. El año que se tomó como base para cálculo de la demanda es el 2016. Cuando no existe información se debe estimar basándose principalmente en la asociación de dos variables: el volumen de producción sectorial y un factor de consumo de agua por tipo de bien.

6.3.2. Estimación de la demanda por consumo humano o doméstico

La demanda hídrica por consumo humano o doméstico es la cantidad de agua consumida por la población urbana y rural para suplir sus necesidades. Se establece a partir de la estimación del consumo que un habitante requiere para satisfacer las necesidades fundamentales en un día.

En el presente trabajo la estimación del volumen de consumo doméstico se hizo con base en la proyección poblacional para el 2016 del DANE y siguiendo la Reglamentación Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS 2000-(Resolución 2320 de 2009 MAVDT) que clasifica los municipios de acuerdo con el nivel de complejidad de los sistemas municipales de agua potable y saneamiento básico - SAPSB (Tabla 6-2):

Tabla 6-2 Clasificación de nivel de complejidad de los municipios según su población para estimar el consumo de agua para uso doméstico

Nivel de complejidad	Población	Capacidad económica de los usuarios
BAJO	MENOR A 2500	BAJA
MEDIO	2501 A 12500	BAJA
MEDIO ALTO	12501 A 60000	MEDIA
ALTO	MAYOR A 60000	ALTA

Fuente: Resolución 2320 de 2009 MAVDT

También se consideró la dotación neta de agua en función del clima, tomado lo correspondiente a regionales por encima de los 1000 msnm (clima frío o templado) según Tabla 6-3. Con base en la dotación neta se calculó el consumo de la población urbana y rural de los municipios zona con datos del Censo del DANE.

Tabla 6-3 Dotaciones de agua para consumo doméstico por nivel de complejidad y según clima.

Nivel de complejidad	Dotación máxima neta para poblaciones con clima frío o templado (l/hab/día)	Dotación máxima neta para las poblaciones con clima cálido (l/hab/día)
BAJO	90	100
MEDIO	115	125
MEDIO ALTO	125	135
ALTO	140	150

Fuente: Resolución 2320 de 2009 MAVDT

Los datos fueron comparados con la información de la autoridad ambiental de Boyacá que registra la tasa por uso de agua de los suscriptores.

6.3.3. Estimación de la demanda hídrica del sector de minería

La minería es un sector en crecimiento en el país pero no existen datos suficientes y certeros sobre el consumo ni control en el uso del agua realizado por este sector. Debido a la falta de información sobre consumo de agua en Colombia el ENA 2010 no incluyó este sector y el ENA2014 hace una aproximación basado en una investigación realizada por el IDEAM en 2012 que permitió suplir parcialmente la carencia de estadísticas del sector. A finales del año 2016 la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), publicó la guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica del sector minero colombiano, adoptando los lineamientos propuestos por el Estudio Nacional del Agua 2014 (IDEAM, 2015) para que las empresas empiezan a tener un registro de consumo, usos e impacto de la minería en el agua.

Es necesario señalar que Pisba es el páramo que presenta más títulos mineros en el país, sin contar la actividad minera ilegal de la región (Contraloría General de la Republica, 2012), principalmente carbón.

Debido a carencia de datos de entidades ambientales o diferentes del sector minero, para este estudio la demanda hídrica se estimó a partir de la información obtenida de un estudio que la UPME realizó en el 2015 sobre la incidencia de la minería de carbón y oro en el recurso hídrico establecido en zonas piloto del país. En este caso, se utilizó la información referente a la zona Andina particularmente minería de carbón en los municipios de Samaca y Raquira. La demanda se estableció a través de un coeficiente que relaciona la demanda hídrica y volumen de producción carbonera de acuerdo a las minas visitadas, teniendo en cuenta los procesos que usan o consumen agua como: supresión de polvo, humectación de los depósitos carbón y vías de acceso y consumo humano. De acuerdo con los datos colectados en campo el promedio de relación de demanda hídrica en la producción de carbón de la zona Andina es de 0.06 m³ /t. No obstante, el estudio advierte que debido a la incertidumbre de la información utilizada y al poco número de datos empleados, los resultados obtenidos deben considerarse como indicativos.

Esta información se validó con el registro de concesiones de agua realizada por la autoridad ambiental para los tres municipios de estudio.

6.3.4. Estimación de la demanda del sector agrícola

La demanda de agua del sector agrícola se define como “extracción de agua destinada a suplir el requerimiento hídrico de los cultivos y los pastos mediante la aplicación de riego” (IDEAM, 2010). Los requerimientos de agua en los cultivos son determinados a partir del cálculo de la evapotranspiración de los cultivos y del balance de agua en el suelo proveniente de la lluvia o riego; esto se hace con base en las características del cultivo, y la interrelación con las variables climáticas y de suelo definidas cada mes. (IDEAM, 2014).

Para estimar la demanda agrícola se calculó el requerimiento de riego de cada cultivo reportado en la zona de estudio teniendo en cuenta los calendarios de siembra. Para

estimar la evapotranspiración potencial se adoptó el método recomendado por la FAO de Penman-Monteith (FAO, 2006)

El cálculo se hace con base en la fórmula propuesta por la FAO en la cartilla 56 de la serie riego y drenaje, que refleja los efectos del clima sobre los requerimientos de agua del cultivo.

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Primero se debe estimar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), el método recomendado por la FAO para esta estimación es el de Penman-Monteith, que tiene en cuenta la climatología de la zona.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Seguidamente, se hace corrección por el coeficiente del cultivo (K_c) que es el uso consuntivo que depende del cultivo específico y de su etapa fenológica. Finalmente, se determina la precipitación efectiva que es la fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas.

Para realizar los cálculos mencionados, se tomaron los valores mensuales de las variables climáticas (radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento), para el año de análisis 2016, según los registros de la estación Socha automática, excepto temperatura que se tomó la estación Beteitiva y la precipitación que se tomó de la estación correspondiente a cada municipio donde se hizo el cálculo para cultivo (Aposentos para Socotá, Nimicia esc rural para Gamesa, Curital para Socha, y la estación de Tasco). Los coeficientes de cultivo se obtuvieron del Tomo N° 56 de la Serie de Riego y Drenaje (FAO, 2006). El cálculo se realizó por medio del software CROPWAT 8.0, desarrollado por la FAO, utilizando el calendario regional de siembra para cada cultivo transitorio y de esta manera relacionar el clima con la etapa de crecimiento de cada cultivo.

Teniendo en cuenta los lineamientos del IDEAM (2014), se consideró la eficiencia de los sistemas de riego según reportado por el Instituto Colombiano para el Desarrollo Rural (Incoder, 2007), como se presenta en la Tabla 6-4. (La eficiencia del riego se estima en porcentaje y representa el agua que queda para uso de las plantas después de considerar las pérdidas durante el proceso de irrigación).

Tabla 6-4 Eficiencias asignadas al tipo de riego de los sistemas de riego en Colombia

Tipo de riego	Eficiencia de riego (%)
Aspersión y Aspersión y goteo	75
Gravedad	50
Goteo y aspersión	90
Aspersión y gravedad	60
Aspersión y goteo	75
Gravedad y aspersión	65
Sin información	70

Fuente: Ideam 2014

Una vez obtenido el requerimiento de riego, la estimación de la demanda se realiza con la siguiente relación:

$$Demanda = \frac{\text{Requerimiento riego teorico}}{\text{Eficiencia (\%)}}$$

Los datos de cultivos, áreas de cultivo y sistema de riego por cultivo se obtuvieron de las Evaluaciones Agropecuarias por consenso en el departamento de Boyacá para el año 2016 por municipio. El Área sembrada en pastos (hectáreas) se obtuvo de los Datos proporcionados por Secretaría de Fomento Agropecuario del departamento de Boyacá para el 2016. Con estos datos se estimó la demanda total por cultivos en cada municipio.

6.3.5. Estimación de la demanda de agua por el sector pecuario

La demanda hídrica pecuaria se define en términos del consumo de agua del hato (litros/cabeza-día) y se realiza mediante la adopción de un factor de consumo aplicado diferencialmente en la cadena de producción para la población de bovinos, porcinos y aves (IDEAM, ENA 2010). Debido a que en la zona de influencia del páramo de Pisba hay una importante producción lechera para elaboración de quesos y derivados y presencia de caprinos, ovinos y equinos en zona de páramo, el presente estudio consideró el consumo de estas poblaciones incluyendo los datos por municipio de vacas para ordeño y producción de leche para calcular la demanda de agua.

La estimación se realizó con base en la totalidad de los inventarios de población de estos animales registrados en los inventarios del departamento de Boyacá y el Censo Pecuario Nacional para el año 2016 del instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y a los datos de consumo promedio diario de agua en litros de cada animal. Los valores aplicados al módulo de consumo vital de bovinos (Tabla 6-5) son publicados por FEDEGAN en la cartilla 2 Medidas integrales para el manejo ambiental de la ganadería bovina, para porcinos se tuvo en cuenta consumo de agua al día correspondiente a 18 litros más la cantidad de agua para alojamiento estimada en 3650 litros por cabeza al año. El consumo promedio de un pollo es de 350 (cc /día – ave) dato que se obtuvo de CIEM y Fenavi en IDEAM 2014, el consumo de agua de caprinos y ovinos cuya fuente fue la hoja de información 13 publicada por la FAO que corresponde a 5.5 litro/día y consumo promedio de un equino mediante revisión de literatura, consulta a expertos y revista equina se estima en 42.5 litros de agua al día.

Tabla 6-5 Consumo de agua para bovinos

Consumo de agua diario de bovinos	
Tipo de ganado	Consumo de agua (Lt/día)
Vacas de ordeño	90 – 115
Toros	60 – 80
Machos y hembras > 2 años	40 – 50
Machos y hembras < 2 años	35 – 45
Terneros < 1 año	20 – 30

Fuente: Fedegan

6.4. Metodología para el cálculo del balance oferta – demanda total municipal

6.4.1. Estimación del Índice de uso del agua (IUA)

De acuerdo con el ENA 2014, el IUA se calcula con la siguiente expresión:

$$IUA = (Dh/Oh)*100$$

Donde: **Dh**: demanda hídrica sectorial = Σ (Volumen de agua extraída para usos sectoriales en un periodo determinado);
Oh: Oferta hídrica superficial disponible (esta última resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental).

El significado del Índice del agua, rangos y categorías se muestran en la tabla (6-6).

Tabla 6-6 Rangos y categorías índice de uso de agua

Rango (Dh/Oh)*100 IUA	Categoría IUA	Significado
>100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50.01 - 100	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1.0 - 20	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: Ideam, 2014.

Con base en los resultados obtenidos se estableció la oferta y demanda total para los municipios de Tasco, Socha y Socotá, información que se visualiza en los resultados en forma de gráfico y mapa. Es necesario señalar que debido a que los datos de demanda se obtuvieron para el nivel municipal, y la oferta para subcuencas, la relación oferta-demanda se analizó para las subcuencas que se encuentran en el límite municipal respectivo.

Para la estimación de la relación oferta-demanda urbana (cabeceras municipales) se utilizó información de aforos realizados por Corpoboyaca. La oferta hídrica se estableció con el caudal total, ambiental y disponible, mientras que la demanda a nivel de cabecera municipal estimada por medio de la revisión de consumo de agua captada por cada centro urbano.

6.5. Aproximación a la percepción social sobre el recurso hídrico y el cambio climático

Para conocer cuál es la percepción de las comunidades del área de estudio acerca de su recurso hídrico y sobre el cambio climático, se realizó una aproximación a los pobladores a través de sus líderes locales y en entrevista se exploró su comprensión o significado del páramo, sus actividades económicas y culturales, como también su visión frente a dos principales temas: agua y clima. El diálogo con los lugareños se basó en preguntas sobre su apreciación frente al clima incluyendo tradiciones culturales relativas al agua, su disponibilidad y la relación con sus actividades.

La población con la cual se realizó la entrevista semiestructurada está ubicada en el páramo de Pisba jurisdicción del municipio de Tasco (Boyacá) y se realizó a habitantes del páramo y líderes comunitarios intentando crear un ambiente abierto de diálogo.

Para disponer de mayor información acerca de la percepción que tienen los pobladores sobre el páramo, el clima y el agua y sobre los procesos socioeconómicos y políticos asociados a estos temas, se asistió al Congreso de Páramos, organizado por la comunidad en el municipio de Tasco, y a un foro en Tunja sobre la delimitación del páramo.

7. Resultados y análisis

El trabajo que se expone en este documento produjo resultados en cuanto al conocimiento de la hidroclimatología regional, la situación actual de la relación oferta-demanda de agua en los municipios analizados y las posibles condiciones futuras en cuanto a oferta.

7.1 Descripción de la hidroclimatología del área de estudio

A partir del análisis de los datos históricos de las estaciones tomadas para el análisis ha sido posible describir la distribución espacial y el ciclo anual de la precipitación en la región.

La Figura 7-1 muestra el ciclo anual en diferentes regiones y es posible identificar dos regímenes de precipitación en la región: un ciclo monomodal (un máximo) en las estaciones de la vertiente oriental del Páramo de Pisba que vierte hacia la hoya hidrográfica del Orinoco y un ciclo bimodal (dos máximos) en las estaciones que vierten hacia la cuenca del río Magdalena.

En el ciclo monomodal (estaciones Mongua, Nimicia, Cardon y Chita), el máximo ocurre por el mes de julio y se pueden identificar dos comportamientos: a) un largo período lluvioso de abril a noviembre (Chita y Mongua) y una reducida amplitud del ciclo anual (100-150 milímetros); b) un corto muy lluvioso período de mayo a septiembre (Nimicia y Cardon) con una marcada amplitud en el ciclo anual (200-400 milímetros). En toda la región el período seco va de diciembre a marzo, con valores mínimos de precipitación en enero.

El régimen bimodal, bajo el cual están los municipios de Tasco, Socotá y Socha (estaciones Tasco, Curital, Aposentos, Cusagui, Jerico, Beteitiva y Sativanorte) presenta las épocas lluviosas de marzo a mayo (máximo en abril) y de septiembre a noviembre (máximo en octubre).

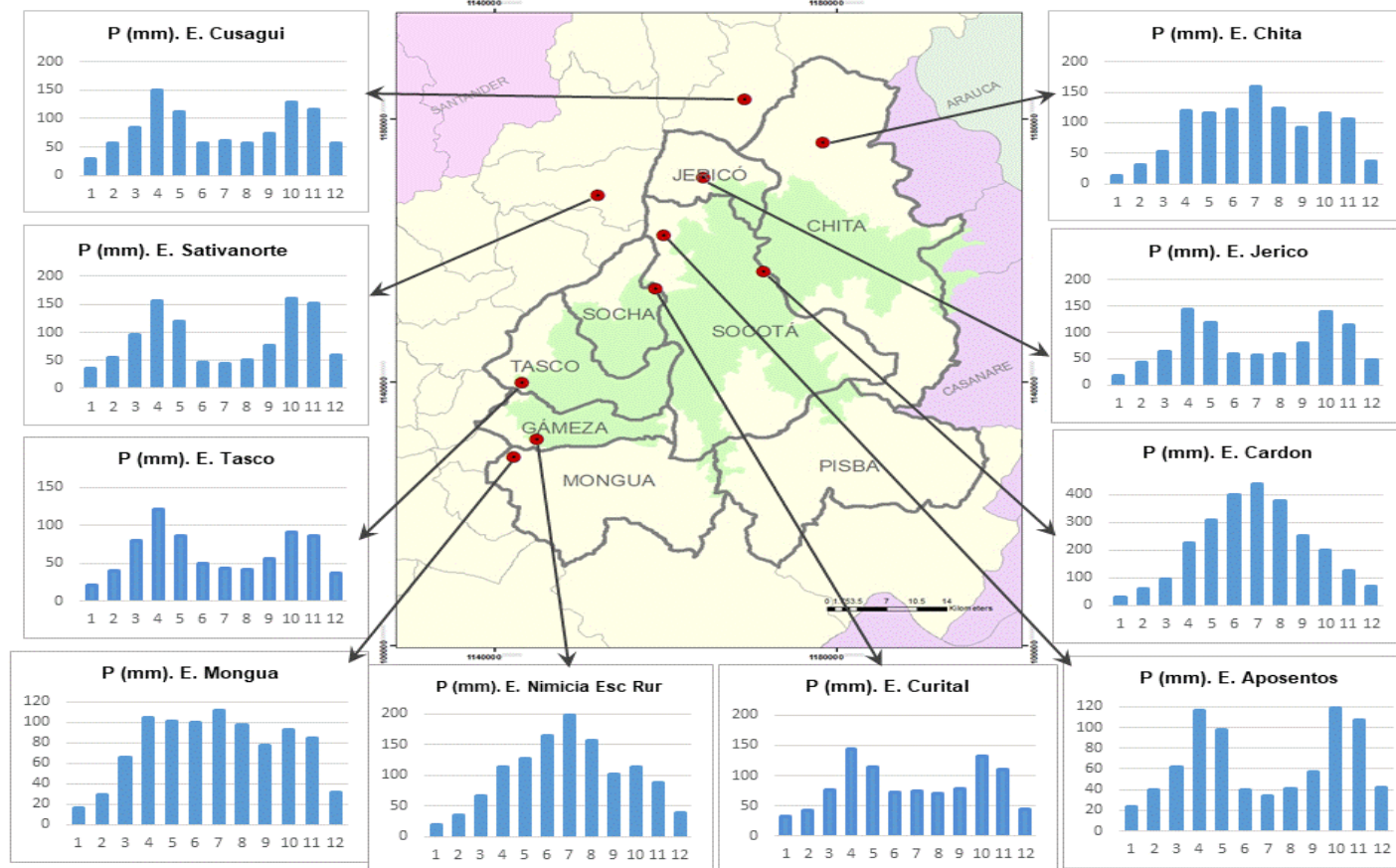


Figura 7-1 Ciclo anual de la precipitación en diferentes sectores del páramo de Pisba.

Fuente: elaboración propia

La temperatura media mensual, en el área que cubren las estaciones que miden esta variable, oscila entre los 6°C y 16°C y en las áreas específicas del páramo entre 4.5°C y 8.5°C, en promedio 6°C. La Figura 7-2 muestra el ciclo anual de la temperatura en diferentes lugares de la región estudiada.

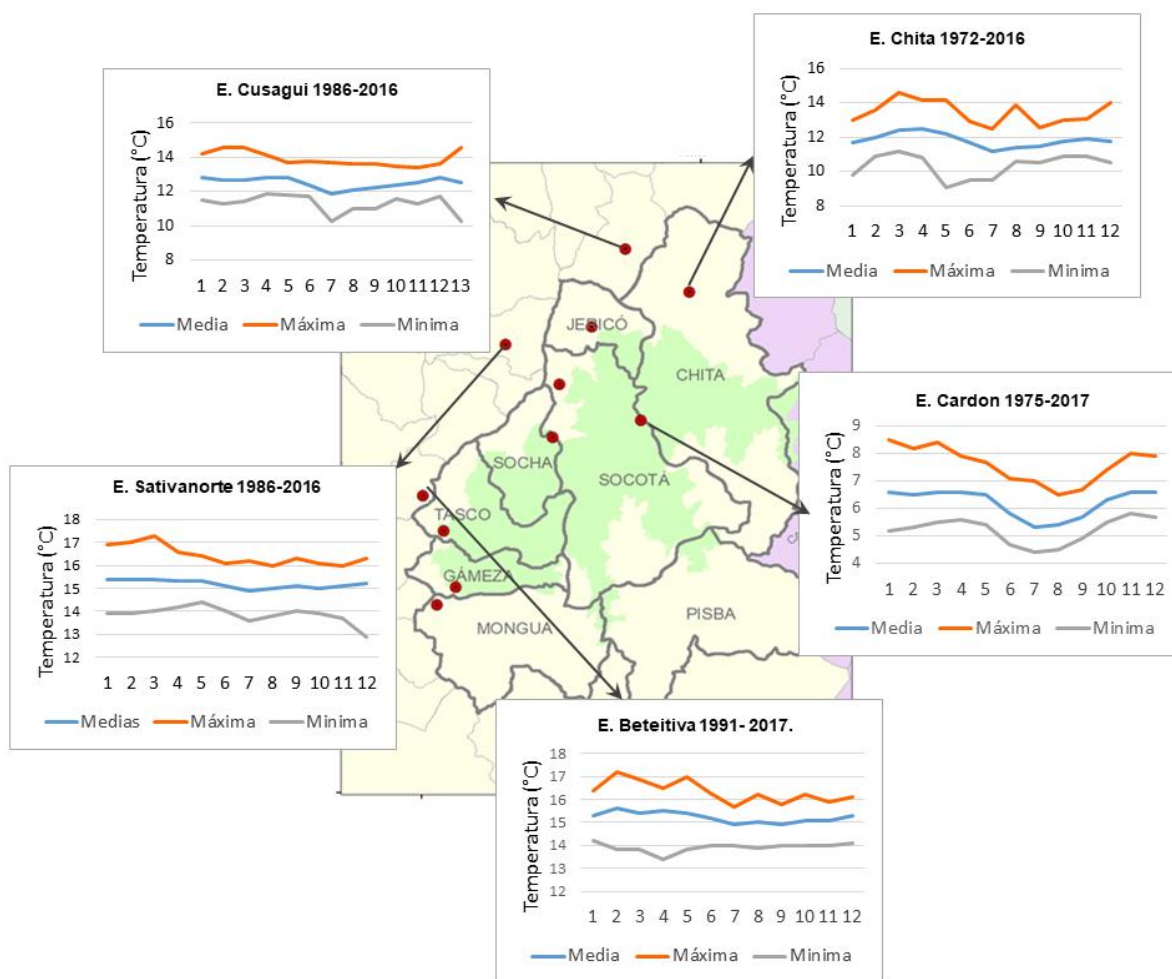
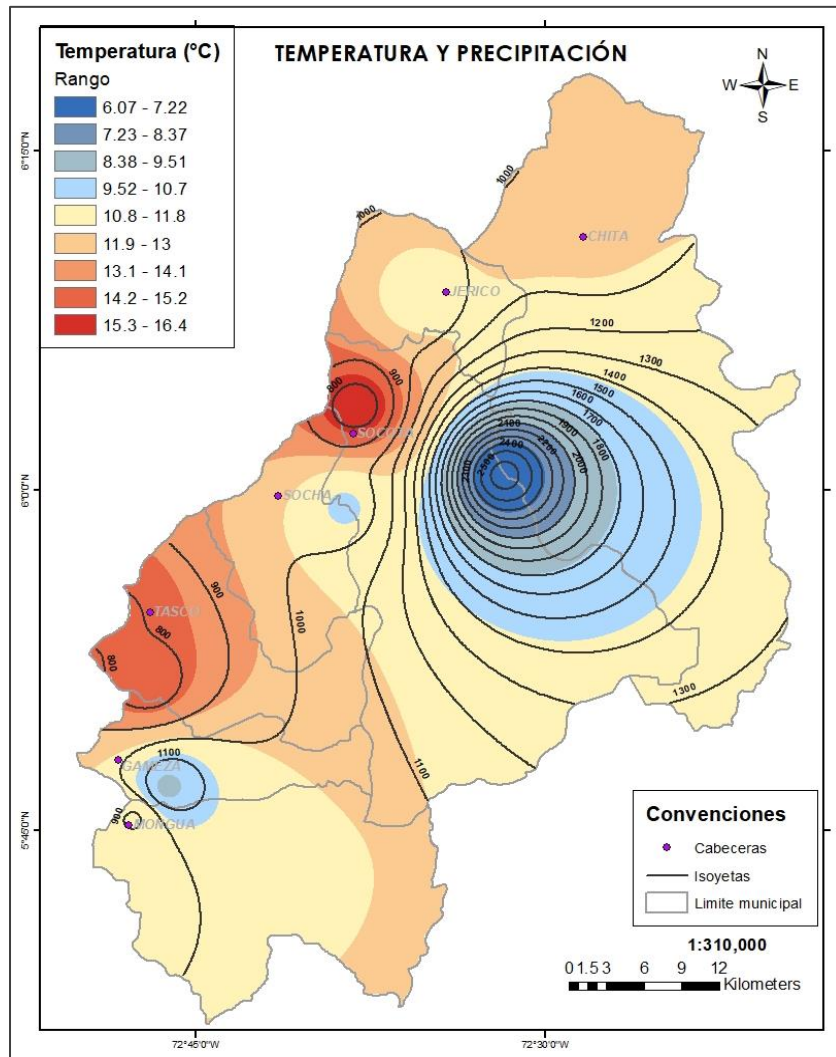


Figura 7-2 Ciclo anual de la temperatura media del aire en el páramo de Pisba, según los promedios multianuales del período 1975 - 2016

En el mapa 7-1 se presenta la distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación anual en el área de estudio, con base en los promedios multianuales

de los valores respectivos en el período 1975 – 2005. Dado que la temperatura media del aire es en gran parte determinada por la altitud sobre el nivel del mar, los valores más bajos corresponderían a la cima de la Serranía de Peña Negra y los mayores valores a los valles.



Mapa 7-1 Distribución espacial de la temperatura media anual del aire y de la precipitación anual en el páramo de Pisba. Fuente: elaboración propia

El mapa 7-1 muestra también que el sector más húmedo (con volúmenes de precipitación por encima de los 3000 milímetros) está en la vertiente oriental hacia el Orinoco. La vertiente en la que se localizan los municipios objeto del presente estudio, que están en la vertiente occidental, presentan volúmenes anuales de precipitación entre 800 y 1500 milímetros.

7.2 La oferta hídrica para los municipios de la zona de estudio

Como se propuso en la metodología, la oferta natural se presenta con la escorrentía y los rendimientos hídricos en las cuencas de los municipios. La escorrentía se determinó para dos períodos 1975-2005 y 1996-2016; esto con el fin de, primero, identificar algún cambio en el período de observaciones y, segundo, como un recurso para validación de la información generada para estos períodos por IDEAM (2015) la cual sirvió de base para los escenarios en tres períodos durante el siglo XXI. El período 1975-2005 se tomó como “clima actual” o periodo de referencia y 1996-2016 para validar.

Tabla 7-1 Valores anuales de la temperatura aire, precipitación y escorrentía en estaciones localizadas en el área de estudio para los períodos 1975-2005 y 1996-2016

ESTACIONES	Precipitación (P)		Temperatura (°C)		Evapotranspiración (ETR)		Escorrentía (mm)	
	1975-2005	1996-2016	1975-2005	1996-2016	1975-2005	1996-2016	1975-2005	1996-2016
CHITA	1037.40	1140.10	11.85	11.81	529.09	539.31	508.31	600.79
CARDON	2548.50	2562.90	6.07	6.40	446.57	454.73	2101.93	2108.17
BETEITIVA	–	779.60	–	15.20	–	531.80	–	247.80
CUSAGUI	973.50	970.00	12.40	12.60	530.37	533.27	443.13	436.73
JERICO	906.90	961.10	11.24	11.20	500.90	507.92	406.00	453.18
CURITAL	944.10	987.40	10.50	10.50	493.49	498.78	450.61	488.62
TASCO	740.60	702.20	15.16	15.16	519.68	507.21	220.92	194.99
SATIVAN.	1078.10	960.10	15.20	15.30	594.50	575.93	483.60	384.17
APOSENTOS	744.70	770.00	16.40	16.40	535.38	543.61	209.32	226.39
MONGUA	891.60	868.90	11.75	11.75	506.84	502.98	384.76	365.92
NI. ESC R	1184.00	1252.60	9.28	9.28	492.50	496.63	691.50	755.97
\bar{x}	1104.94	1086.81	11.99	12.33	514.93	517.47	590.01	569.34

1975-2005 (columna en azul) y 1996-2016 (columna en blanco).

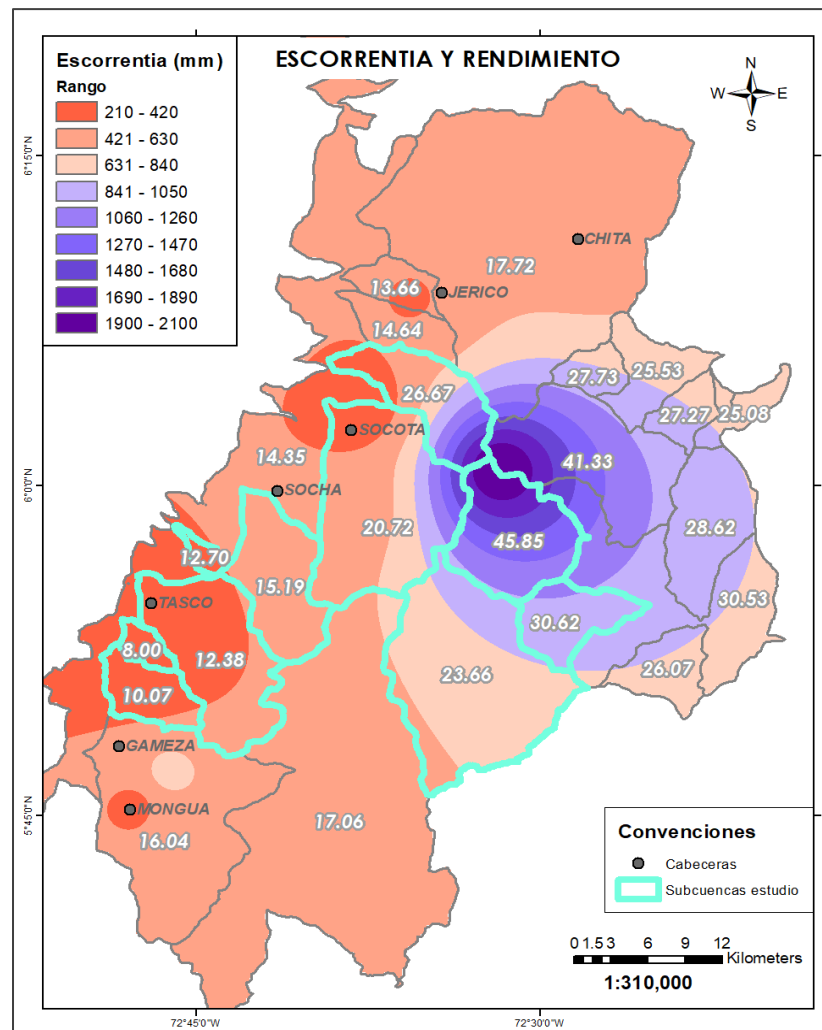
Llama la atención que con los datos de temperatura media del aire presentados en la Tabla 7-1, el ritmo de calentamiento no es el mismo en los diferentes sectores (representados por las estaciones climatológicas) del área estudiada; incluso es posible ver, mediante la comparación de los valores de temperatura de los dos períodos, que en la estación Chita

habría enfriamiento. De todas formas, al analizar los promedios por área y comparar los dos periodos se encuentra una diferencia del orden de los 0.4°C, que correspondería a un gradiente cercano a 0.1°C/decenio, el cual está en el rango de calentamiento establecido en estudios para diversas regiones del territorio colombiano.

En general, de acuerdo con la Tabla 7-1, en promedio el 53% de la precipitación se convierte en escorrentía; pero hay situaciones como las de la estación El Cardón en donde el 82% de la precipitación se convierte en escorrentía, lo que se explica por la baja temperatura (la estación está a 3590 msnm) que propicia una baja rata de evapotranspiración, particularidad del ambiente de páramo señalada en el marco conceptual y teórico al explicar los procesos hidroclimaticos asociados al páramo.

En la Tabla 7-1, al comparar los dos períodos, es posible ver que sobre la vertiente oriental del Páramo de Pisba (estaciones Chita y Cardon), tanto la precipitación como la escorrentía presentan un aumento. En la vertiente hacia el río Chicamocha, zona en donde se localizan los municipios objeto del presente estudio, los cambios son variados, unas estaciones señalan aumento, otras disminución, pero al sacar el promedio para los dos períodos, considerando las 8 estaciones que tienen información, se registra un ligero aumento en la precipitación y la escorrentía.

La distribución espacial de la escorrentía se presenta en el mapa 7-2 en la que se incluye los rendimientos calculados para cada cuenca de la región. Se puede ver más claramente que los mayores valores de escorrentía y los mayores rendimientos se sitúan por la vertiente oriental hacia las cuencas de hoya hidrográfica del Orinoco. Las cuencas de las que se sirven los municipios de Socha, Tasco y Socotá, situados en la vertiente occidental hacia el río Chicamocha, son las que presentan los valores más bajos en esta distribución.



Mapa 7-2 Escorrentía (mm) y rendimiento por cuenca (en l/seg/km²) para el área de influencia del Páramo de Pisba. Fuente: elaboración propia

Sobre la base de la información generada, se estableció la oferta y en general el volumen de agua superficial que fluye anualmente en condiciones hidrológicas promedio en cada subcuenca hidrográfica en el entorno del páramo de Pisba (ver Tabla 7-2). La información de esta tabla repite lo referente a escorrentía y rendimientos presentados en la Tabla 7-1 y en el mapa 7-2, pero muestra en detalle los caudales y la oferta total (expresada en miles de metros cúbicos al año).

Tabla 7-2 Valores de oferta total por subzona hidrográfica en año medio para clima de referencia

Área hidrográfica		Esorrentía	Rendimiento	Oferta total	Caudal	
SZH	Subcuencas	Área km ²	(mm)	litro/seg * km ²	Mm ³	m ³ /seg
Chicamocha	R. Gameza	178.46	505.73	16.04	90.25	2.86
	R. Chitano	435.54	558.94	17.72	243.44	7.72
	Q. Canelas	34.37	317.69	10.07	10.92	0.35
	Q. Teneria	11.1	252.31	8	2.8	0.09
	Q. Guaza	106.72	390.47	12.38	41.67	1.32
	Q. Grande	6.75	400.54	12.7	2.7	0.09
	Q. Tirque	73.71	478.97	15.19	35.3	1.12
	R. Cometa	155.61	653.36	20.72	101.67	3.22
	Q. Mausá	64.59	841.03	26.67	54.32	1.72
	Q. Bacota	29.61	461.83	14.64	13.67	0.43
	Q. Hogamora	22.44	430.68	13.66	9.67	0.31
	R.Chicamocha med	415.3	452.44	14.35	187.9	5.96
	Pauto	Q. Las Lajas	43.58	965.72	30.62	42.09
Q. La mariposa		35.33	822.03	26.07	29.04	0.92
Q. Minas		70.39	902.46	28.62	63.52	2.01
Q. Granados		83.45	1445.91	45.85	120.66	3.83
Casanare	R. Pauto	135.67	962.83	30.53	130.62	4.14
	R. Encomendero	115.24	1303.31	41.33	150.19	4.76
	Q. El curial	18.69	874.35	27.73	16.34	0.52
	R. Casanare	44.34	805.02	25.53	35.69	1.13
	Q. Ocubi	21.9	860.08	27.27	18.84	0.6
Cravo Sur	Q. El cortadero	17.07	790.84	25.08	13.5	0.43
	R. Cravo sur	448.83	537.86	17.06	241.41	7.66
	R. Payero	179.71	746.1	23.66	134.08	4.25

Cuencas que sirven a Tasco (■), Socha (■), Socotá (■)

Las cuencas que presentan menor oferta hídrica son las quebradas que están en jurisdicción del municipio de Tasco presentando rendimientos hídricos entre 8 y 12.70 l/s-km². La cuenca media del río Chicamocha presenta un rendimiento de 14,35 l/s-km², que concuerda con el valor de 15 l/s/km² del ENA (2014) para toda la cuenca del río Chicamocha. De acuerdo con el ENA 2014 es una de las cuencas que presentan menores rendimientos en el país. (Merece señalar que la cuenca del río Chicamocha es la más importante del departamento de Boyacá, pero a los bajos rendimiento se suma que es la más contaminada por recibir los vertimientos del corredor industrial de Tunja, Paipa,

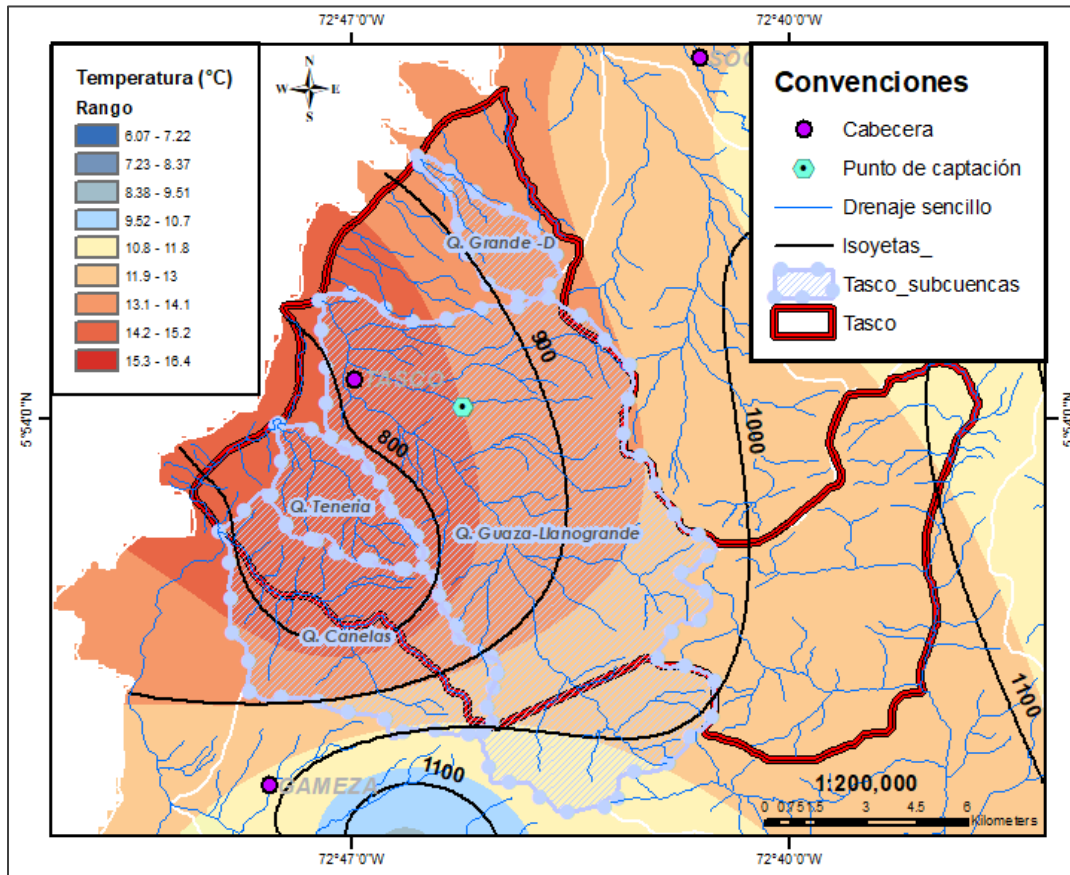
Duitama y Sogamoso y por la falta de planta de tratamiento de aguas residuales, situación que limita aún más el agua disponible para los municipios que dependen de los servicios de esta cuenca).

La oferta hídrica natural disponible se calculó para condiciones hidrológicas medias para las subcuencas con base en lo propuesto por el IDEAM para la región andina; para los municipios esta se calculó con la información de caudal ambiental y concesionado, suministrada por Corpoboyaca. La oferta total superficial de cada municipio es correspondiente al valor total de las subcuencas que se encuentran en el límite municipal y que abastecen a sus habitantes, con la reducción por caudal las cifras son correspondientes en millones de metros cúbicos anuales: 29.05 para Tasco, 17.65 para Socha y 226.40 para Socotá. A continuación, se presenta con mayor detalle las particularidades de la oferta hídrica total municipal como resultado de la suma de la oferta de las cuencas que están dentro de la jurisdicción de cada municipio y de la oferta total estimada para cabecera municipal.

Tasco

Las cuencas que conforman y suministran agua al municipio de Tasco son la de Quebrada Grande, quebradas Tenería, Canelas, Guaza y Cravo sur. Esta última, por su gran extensión que ocupa parte de los municipios de Mongua, Gameza, Socotá y Tasco, no fue tenido en cuenta para Tasco. Las fuentes de captación para el perímetro urbano se llaman El Cáncer y El Fraile y están ubicadas en la subcuenca Guaza. La quebrada Canela surte el acueducto urbano del municipio vecino de Gamesa.

La oferta total anual de agua es equivalente a 58.10 Mm³ con un caudal estimado de 0.46 m³/seg y rendimiento hídrico medio de 10.79 l/s-km². Teniendo en cuenta la reducción por caudal ecológico y calidad, la oferta disponible neta para Tasco es igual a 29.047.703,93 m³ año.



Mapa 7-3 Distribución espacial de la temperatura media anual del aire (en colores) y precipitación anual (isolíneas) y subcuencas en el municipio de Tasco. Fuente: elaboración propia

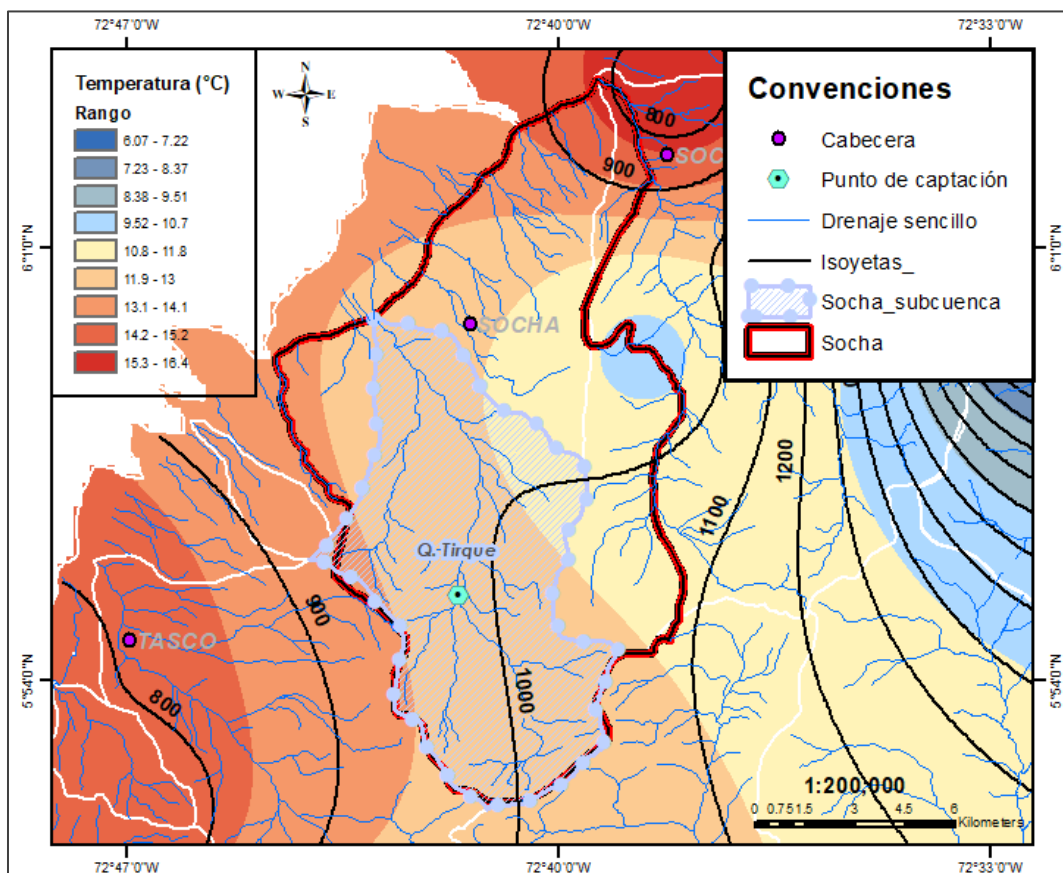
Respecto al caudal de las fuentes que abastecen el acueducto urbano del municipio, (administrado por la Asociación de usuarios de servicio de agua potable del perímetro urbano del municipio de Tasco), de acuerdo al último aforo realizado el 1 de diciembre de 2017 por la corporación ambiental del departamento, Corpoboyacá, las fuentes de captación registran los datos que se presentan en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3 Oferta para el caso urbano del municipio de Tasco.

1 de Diciembre de 2017				
Fuente	Caudal oferta superficial (l/s)	Caudal ambiental superficial (l/s)	Caudal concesionado (l/s)	Oferta disponible (l/s)
Cancer	29.98	6.75	3.02	23.135
Frayle	5.255	1.31	1.02	

Socha

La subcuenca de las quebradas El Tirque y Ruchical y el río Cometa, las cuales vierten sus aguas al río Chicamocha, suministran agua al municipio de Socha (mapa 7-4). La subcuenca El Tirque es la que abastece de agua el municipio tanto zona rural como urbana. La principal fuente de captación para el perímetro urbano es la quebrada El Tirque, pero eventualmente se utiliza un nacimiento llamado Pozo de Hojas y Ojo de Agua. El punto de captación de agua tuvo que ser trasladado aguas arriba desde el año 2008 debido a la gran afectación por la contaminación de agua residuales de las minas de carbón, sin embargo el nuevo punto sigue afectado por las descargas indirectas de las minas de carbón, aguas residuales de viviendas, actividad agrícola y pecuaria (Mapa de riesgo, Socha, 2013)



Mapa 7-4 Distribución espacial de la temperatura media anual del aire (en colores) y precipitación anual (isolíneas) y subcuencas en el municipio de Socha.

La oferta total municipal anual de agua es equivalente a 35.3 Mm³ con un caudal estimado de 1.12 m³/seg y rendimiento hídrico medio de 15.18 l/s-km². Teniendo en cuenta la reducción por caudal ecológico y calidad, la oferta disponible neta para Socha es igual a 17.651.864,03 m³

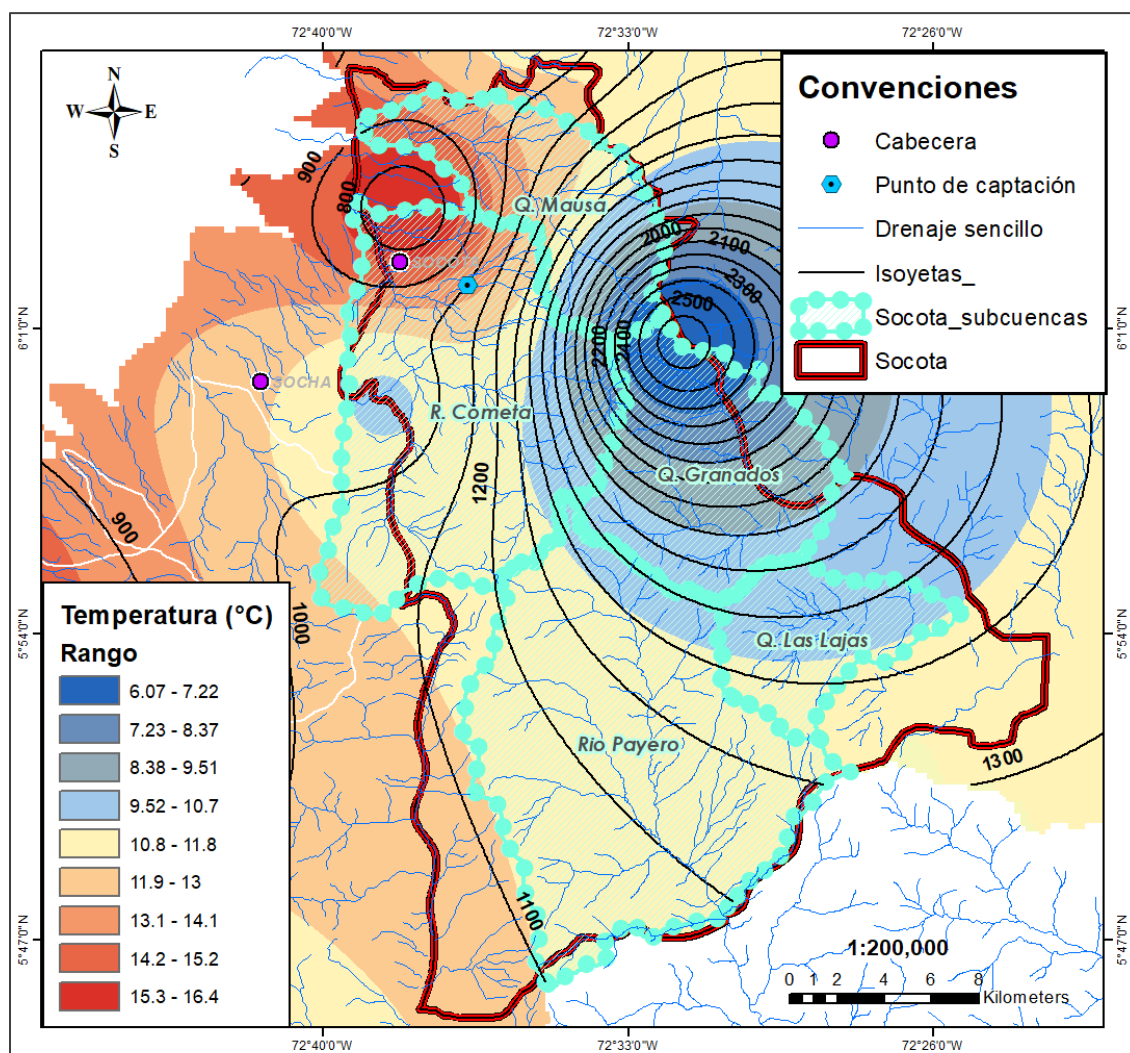
En lo que se refiere a la oferta de las fuentes que abastecen el acueducto urbano del municipio, (administrado por Municipio de Socha), la Tabla 7-4 presenta los datos correspondientes según aforos realizados por Corpoboyaca en 2012 y 2015.

Tabla 7-4 Oferta para el caso urbano del municipio de Socha.

14 de Diciembre de 2012				
Fuente	Caudal oferta superficial (l/s)	Caudal ambiental superficial (l/s)	Caudal concesionado (l/s)	Oferta disponible (l/s)
El Tirque	20.8	4.16	7.3	
Ojo de agua	1.6	0.32	1.3	9.32
Pozo de las hojas	1	0.2	0.8	
24 de Marzo de 2015				
El Tirque	117.11	29.27	6.85	
Ojo de agua	10.97	2.74	5.76	84.27
Pozo de las hojas	3.6	0.9	1.89	

Socotá

Las cuencas que suministran agua al municipio de Socotá son quebrada mauza, río cometa, río payero, quebrada las lajas, quebrada granados y río pauto (mapa 7-5). Este último se encuentra en el sector sureste en la periferia del límite municipal y sirve de límite para los municipios de Chita y Tamara. La fuente de captación para el perímetro urbano es subterránea y se llama nacimiento san Antonio ubicado en la subcuenca río Cometa, según el mapa de riesgo del municipio (2014) su caudal medio es de 10.5 lts/seg. La oferta total anual de agua es equivalente a 452,78 Mm³ con un caudal estimado de 2.87 m³/seg y rendimiento hídrico medio de 29,50 l/s-km². Socotá sobresale entre los municipios del Boyacá por su extensión y el 88% de su población es rural y el consumo humano es abastecido fundamentalmente por acueductos veredales. Teniendo en cuenta la reducción por caudal ecológico y calidad, la oferta disponible neta para Socotá es igual a 226.402.265,8 m³



Mapa 7-5 Distribución espacial de la temperatura media anual del aire (en colores) y precipitación anual (isolíneas) y subcuencas en el municipio de Socotá.

Tabla 7-5 Oferta para el caso urbano del municipio de Socotá.

30 de Noviembre de 2017				
Fuente	Caudal oferta superficial (l/s)	Caudal ambiental superficial (l/s)	Caudal concesionado (l/s)	Oferta disponible (l/s)
San Antonio	7.04	1.76	2.507	2.773
24 de Julio de 2012				
San Antonio	6.95	2.31	2.43	2.21

7.3. La oferta hídrica futura para los municipios de la zona de estudio

Acorde a los escenarios de cambio climático publicados por del IDEAM (2015), la temperatura media anual y la precipitación anual que se registraría en las estaciones climatológicas de la región en diferentes períodos de tiempo durante el siglo XXI serían los que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7-6 Promedios multianuales de temperatura media anual del aire y precipitación anual para el clima de referencia 1975-2005 y para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100

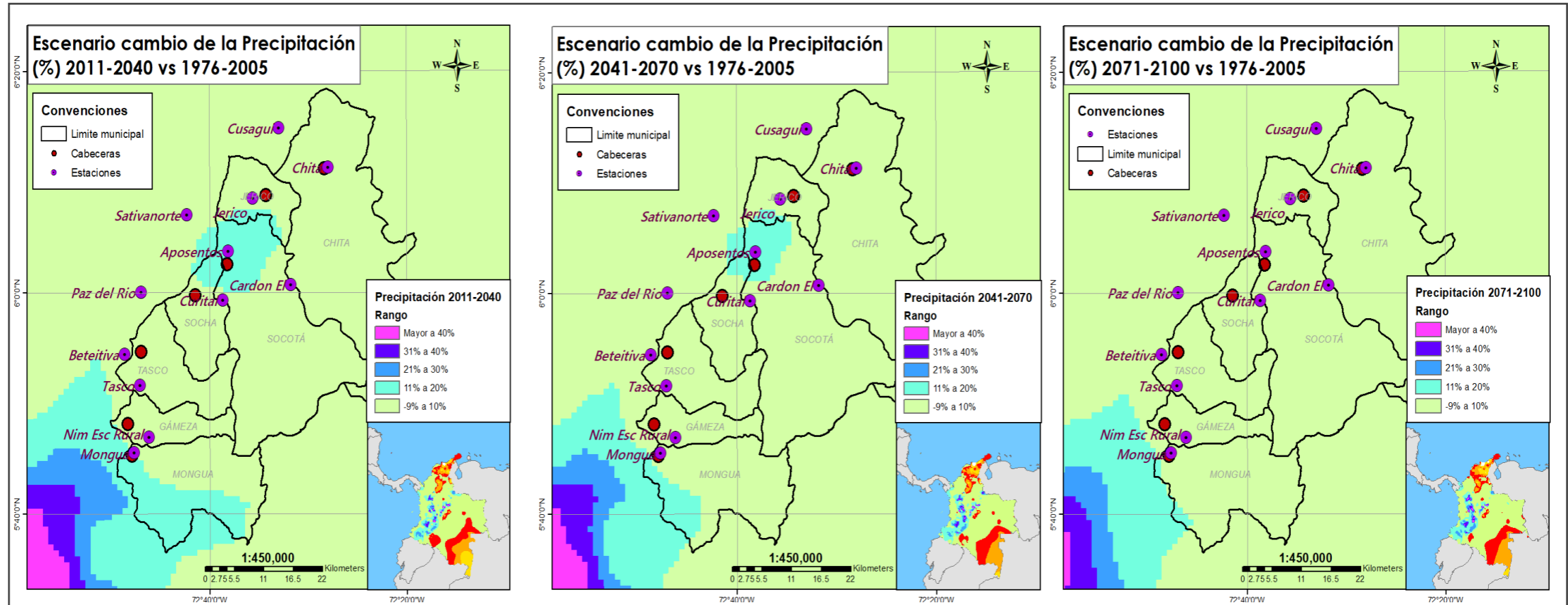
ESTACIONES	Temperatura (C°)				Precipitación media anual			
	1975-2005	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1975-2005	2011-2040	2041-2070	2071-2100
APOSENTOS	16.4	17	17.5	18.1	744.7	856.4	856.4	744.7
MONGUA	11.75	12	12.85	13.15	891.6	1025.3	891.6	891.6
JERICO	11.24	11.84	12.34	12.64	906.9	906.9	906.9	906.9
SATIVAN.	15.2	15.8	16.3	16.9	1078.1	1078.1	1078.1	1078.1
BETEITIVA	15.2	15.8	16.3	16.9	779.6	779.6	779.6	779.6
CHITA	11.85	12.1	12.75	13.25	1037.4	1037.4	1037.4	1037.4
CARDON EL	6.07	6.32	6.97	7.17	2548.5	2548.5	2548.5	2548.5
CUSAGUI	12.4	12.65	13.5	13.8	973.5	973.5	973.5	973.5
TASCO	15.16	15.41	16.06	16.56	740.6	740.6	740.6	740.6
CURITAL	10.5	10.75	11.4	11.9	944.1	944.1	944.1	944.1
N. ESC RURAL	9.28	9.53	10.18	10.68	1184	1184	1184	1184

CONVENCIONES	Cambio T. C°	0.6	0.25	0.9	1.1	1.4	1.7	Diferencia P %	15%	15%	10_10%
									133.7	111.7	0

De acuerdo a los escenarios de cambio climático la tabla anterior presenta los valores de cambio de las variables para los tres periodos. La última fila corresponde a las convenciones de las cifras por colores que representan el cambio de temperatura en C° (mapa 7-7) y diferencia en precipitación en % (mapa 7-6).

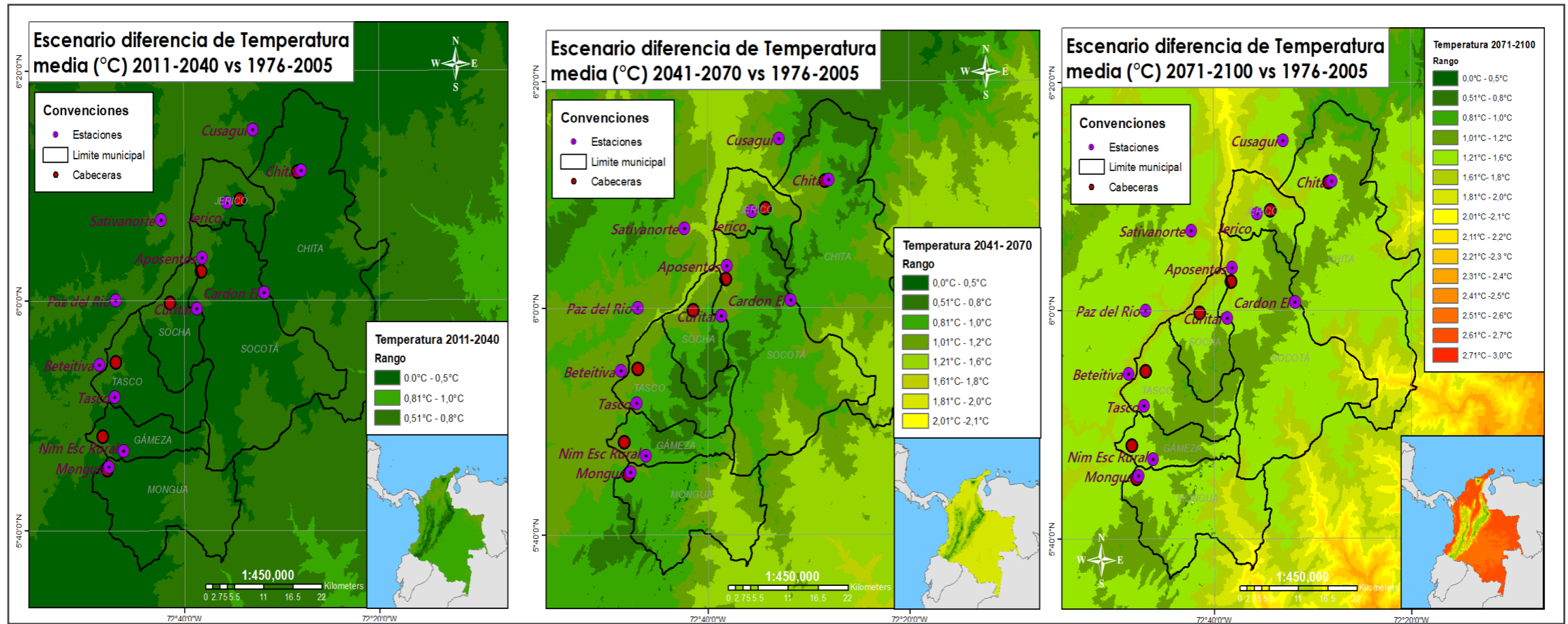
Se puede ver que en el caso de la temperatura media del aire para todos los escenarios hay un incremento progresivo durante este siglo; como se puede observar en el mapa 7.7, la precipitación no varía tanto como la temperatura para esta zona y solo cambia en 2 escenarios para dos estaciones, el mayor cambio se da en la zona donde queda la estación Aposentos y en Mongua.

En los mapas 7-6 y 7-7 que se presentan a continuación, se muestran los cambios en precipitación anual y temperatura media del aire proyectados para 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 en relación con los observados en 1975-2005 en el área de estudio. Es posible apreciar que para la mayor parte de la región del páramo de Pisba en los tres periodos los cambios en precipitación no serían tan marcados (están entre -10 y +10%). La temperatura hacia el 2100 se habría incrementado en máximo 1.8°C en relación con su promedio observado en 1975-2005.



Mapa 7-6 Distribución de los cambios en la precipitación anual según escenarios para 2011-2040 (izquierda), 2041-2070 (centro) y 2071-2100 (derecha) para la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia basada en los datos de los escenarios de cambio climático publicados por el Ideam (2015).



Mapa 7-7 Distribución de los cambios en la temperatura anual según escenarios para 2011-2040 (izquierda), 2041-2070 (centro) y 2071-2100 (derecha) para la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia basada en los datos de los escenarios de cambio climático publicados por el Ideam (2015).

Los cambios en precipitación y temperatura implican cambios en la evapotranspiración por lo que se calculó está para los diferentes escenarios. Los resultados se presentan en la Tabla 7-7. Es posible ver que habría un incremento paulatino de la evapotranspiración en toda la región, lo que generará una reducción en la escorrentía como se puede observar en la Tabla 7-8.

Tabla 7-7 Evapotranspiración media anual en el clima de referencia y en los escenarios para 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

ESTACIONES	EVPOTRANSPIRACION mm/año				
	CLIMA DE REFERENCIA			CLIMA FUTURO	
	1975-2005	1996 - 2016	2011 - 2040	2041-2070	2071 - 2100
CHITA	529.09	539.31	533.62	545.31	554.2
CARDON EL	446.57	454.73	452.69	468.64	473.56
APOSENTOS	535.38	543.61	576.68	583.31	554.06
CUSAGUI	530.37	533.27	534.64	548.99	553.99
TASCO	519.68	507.21	522.63	530.14	535.8
JERICO	500.9	507.92	510.8	518.93	523.76
N ESC R	492.5	496.63	497.59	510.75	520.81
CURITAL	493.49	498.78	497.84	509.04	517.54
MONGUA	506.84	502.98	530.33	524.37	529.06
SATIVANORTE	594.5	575.93	605.01	613.69	624.01
BETEITIVA	–	531.8	539.29	545.41	552.61
\bar{X}	5149.32	5692.17	5801.12	5898.58	5939.4

Tabla 7-8 Escorrentía media anual en el clima de referencia y en escenarios de 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

ESTACIONES	ESCORRENTIA mm/año				
	CLIMA DE REFERENCIA			CLIMA FUTURO	
	1975-2005	1996 - 2016	2011 - 2040	2041-2070	2071 - 2100
CHITA	508.3	600.79	503.7	492.09	483.55
CARDON EL	2101.93	2108.17	2095.8	2079.85	2074.94
BETEITIVA	–	247.8	240.31	234.19	226.99
CUSAGUI	443.13	436.73	438.86	424.51	419.51
JERICO	405.99	453.18	396.75	387.96	383.13
CURITAL	450.6	488.61	446.25	435.05	426.55
TASCO	220.91	194.99	217.97	210.45	204.8
SATIVAN.	483.6	384.16	473.08	464.4	454.09
APOSENTOS	209.32	226.39	279.71	273.09	190.63
MONGUA	384.76	365.91	494.97	367.23	362.53
N. ESC R	691.5	755.96	686.41	673.24	663.19
\bar{X}	590.0	569.33	570.34	549.28	535.45

Esta disminución en la escorrentía incidirá en la oferta natural de agua de la región. Las tablas 7-9, 7-10 y 7-11 que se muestran a continuación presentan las variables relativas a la oferta de diferentes cuencas en los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente. En estas tablas es posible ver que en la medida como transcurrirá el siglo XXI habría una disminución generalizada de la oferta hídrica natural, reducción que es un poco más marcada en las cuencas que tributan al río Chicamocha.

Esta disminución sumada a los efectos de otras presiones humanas diferentes al cambio climático agudizaría la situación de disponibilidad de agua para una creciente población a lo largo del siglo XXI.

Tabla 7-9 Valores de la oferta total de agua por subzona hidrográfica en año medio según escenarios para el período 2011-2040

Área hidrográfica		Escorrentía	Rendimiento	Oferta total	Caudal	
SZH	Subcuencas	Área km ²	(mm)	l/s * km ²	Mm ³	m ³ /s
Chicamocha	R. Gameza	178.46	549.13	17.41	98	3.11
	R. Chitano	435.54	557.48	17.68	242.8	7.7
	Q. Canelas	34.37	321.87	10.21	11.06	0.35
	Q. Teneria	11.1	250.27	7.94	2.78	0.09
	Q. Guaza	106.72	397.49	12.6	42.42	1.35
	Q. Grande	6.75	405.86	12.87	2.74	0.09
	Q. Tirque	73.71	486.53	15.43	35.86	1.14
	R. Cometa	155.61	666.03	21.12	103.64	3.29
	Q. Mause	64.59	858.73	27.23	55.46	1.76
	Q. Bacota	29.61	464.14	14.72	13.74	0.44
	Q. Hogamora	22.44	425.7	13.5	9.55	0.3
	R.Chicamocha med	415.3	462.2	14.66	191.65	6.09
	Pauto	Q. Las Lajas	43.58	972.41	30.83	42.38
Q. La mariposa		35.33	830.4	26.33	29.33	0.93
Q. Minas		70.39	907.76	28.78	63.89	2.03
Q. Granados		83.45	1447.11	45.89	120.76	3.83
Casanare	R. Pauto	135.67	968.89	30.72	131.45	4.17
	R. Encomendero	115.24	1304.71	41.37	150.35	4.77
	Q. El curial	18.69	876.46	27.79	16.38	0.52
	R. Casanare	44.34	807.15	25.59	35.79	1.13
	Q. Ocubi	21.9	863.33	27.38	18.91	0.6
Cravo Sur	Q. El cortadero	17.07	794.68	25.2	13.57	0.43
	R. Cravo sur	448.83	560.37	17.77	251.51	7.98
	R. Payero	179.71	756.34	23.98	135.92	4.31

Cuencas que sirven a Tasco (■), Socha (■), Socotá (■)

Tabla 7-10 Valores de la oferta total de agua por subzona hidrográfica en año medio según escenarios para el período 2041-2070

Área hidrográfica		Escurrentía	Rendimiento	Oferta total	Caudal	
SZH	Subcuencas	Área km2	(mm)	l/s * km2	Mm3	m3/s
Chicamocha	R. Gameza	178.46	489.46	15.52	87.35	2.77
	R. Chitano	435.54	545.06	17.28	237.4	7.53
	Q. Canelas	34.37	305.56	9.69	10.5	0.33
	Q. Teneria	11.1	240.88	7.64	2.67	0.08
	Q. Guaza	106.72	378.56	12	40.4	1.28
	Q. Grande	6.75	391.57	12.42	2.64	0.08
	Q. Tirque	73.71	470.71	14.93	34.69	1.1
	R. Cometa	155.61	653.83	20.73	101.74	3.23
	Q. Mause	64.59	847.4	26.87	54.73	1.74
	Q. Bacota	29.61	454.56	14.41	13.46	0.43
	Q. Hogamora	22.44	416.34	13.2	9.34	0.3
	R.Chicamocha med	415.3	447.16	14.18	185.71	5.89
	Pauto	Q. Las Lajas	43.58	955.52	30.30	41.64
Q. La mariposa		35.33	812.29	25.76	28.70	0.91
Q. Minas		70.39	892.07	28.29	62.79	1.99
Q. Granados		83.45	1431.68	45.40	119.47	3.79
R. Pauto		135.67	952.19	30.19	129.18	4.10
Casanare	R. Encomendero	115.24	1289.87	40.90	148.64	4.71
	Q. El curial	18.69	863.15	27.37	16.13	0.51
	R. Casanare	44.34	793.55	25.16	35.18	1.12
	Q. Ocubi	21.9	849.10	26.92	18.60	0.59
Cravo Sur	Q. El cortadero	17.07	780.14	24.74	13.32	0.42
	R. Cravo sur	448.83	525.60	16.67	235.91	7.48
	R. Payero	179.71	736.69	23.36	132.39	4.20

Cuencas que sirven a Tasco (■), Socha (■), Socotá (■)

Tabla 7-11 Valores de la oferta total de agua por subzona hidrográfica en año medio según escenarios para el período 2071-2100

Área hidrográfica		Escoorrentía	Rendimiento	Oferta total	Caudal	
SZH	Subcuencas	Área km2	(mm)	l/s * km2	Mm3	m3/s
Chicamocha	R. Gameza	178.46	481.53	15.27	85.93	2.72
	R. Chitano	435.54	534.90	16.96	232.97	7.39
	Q. Canelas	34.37	298.65	9.47	10.27	0.33
	Q. Teneria	11.1	234.35	7.43	2.6	0.08
	Q. Guaza	106.72	369.33	11.71	39.41	1.25
	Q. Grande	6.75	378.82	12.01	2.56	0.08
	Q. Tirque	73.71	456.30	14.47	33.63	1.07
	R. Cometa	155.61	630.08	19.98	98.04	3.11
	Q. Mause	64.59	817.77	25.93	52.82	1.67
	Q. Bacota	29.61	438.82	13.91	12.99	0.41
	Q. Hogamora	22.44	407.56	12.92	9.15	0.29
	R.Chicamocha med	415.3	429.32	13.61	178.30	5.65
	Q. Las Lajas	43.58	941.43	29.85	41.03	1.30
	Pauto	Q. La mariposa	35.33	798.04	25.31	28.19
Q. Minas		70.39	878.16	27.85	61.81	1.96
Q. Granados		83.45	1420.49	45.04	118.53	3.76
R. Pauto		135.67	938.48	29.76	127.32	4.04
R. Encomendero		115.24	1278.13	40.53	147.29	4.67
Casanare	Q. El curial	18.69	849.90	26.95	15.88	0.50
	R. Casanare	44.34	780.63	24.75	34.61	1.10
	Q. Ocubi	21.9	835.70	26.50	18.30	0.58
	Q. El cortadero	17.07	766.61	24.31	13.09	0.42
Cravo Sur	R. Cravo sur	448.83	514.47	16.31	230.91	7.32
	R. Payero	179.71	722.40	22.91	129.82	4.12

Cuencas que sirven a Tasco (■), Socha (■), Socotá (■)

7.4. La demanda hídrica en los municipios de la zona de estudio

En esta sección se presentan las estimaciones del uso de agua para el año medio 2016 y se evalúan los volúmenes de agua usados en los tres municipios de estudio por sectores productivos y en total por municipio. Las cifras muestran que el sector que más demanda agua es el agropecuario con casi un 80% (Figura 7-3), sin incluir la demanda por riego de pastos, el cual tiene una alta demanda debido a las grandes extensiones de pasto para ganado. Este consumo ocupa un 87% del total agropecuario (Figura 7-4), que sumándolo al pecuario que tiene en cuenta el total de consumos de agua de los animales y los requerimientos de riego para los diferentes cultivos, da como resultado 97% de consumo total agropecuario.

Sin contar pastos solo los cultivos ocupan 75%, el agua para consumo doméstico 14%, minería 7% y pecuario 4%, pero al sumar el requerimiento de riego para pastos basado en el régimen de lluvias reportado en las estaciones de cada municipio da como resultado el sector agropecuario en total 97%, uso doméstico solo un 2% y minería 1% como se observa en la Figura 7-5 (Según la FAO el 70% de agua dulce disponible en el planeta es utilizada para riego agrícola y más del 90% en la mayoría de los países menos desarrollados).



Figura 7-3 Demanda hídrica en 2016 en los municipios de Tasco, Socha y Socotá sin considerar pastos (izquierda) y considerando pastos (derecha).

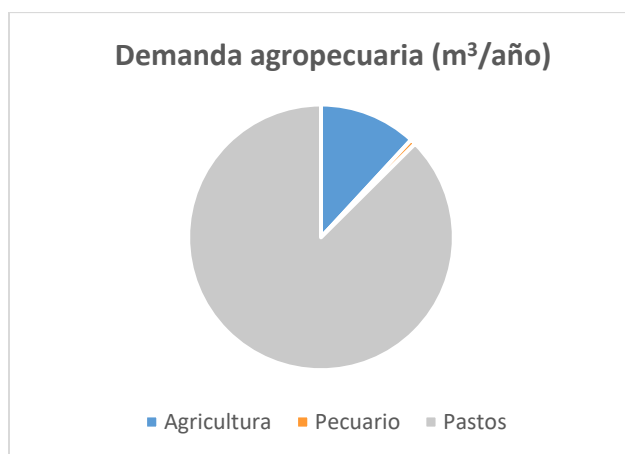


Figura 7-4 Demanda hídrica sector agropecuario en los municipios de Tasco, Socha y Socotá.

Fuente: Elaboración propia, fuente primaria: ICA, Secretaría de fomento agropecuario de Boyacá, Corpoboyaca, Dane.

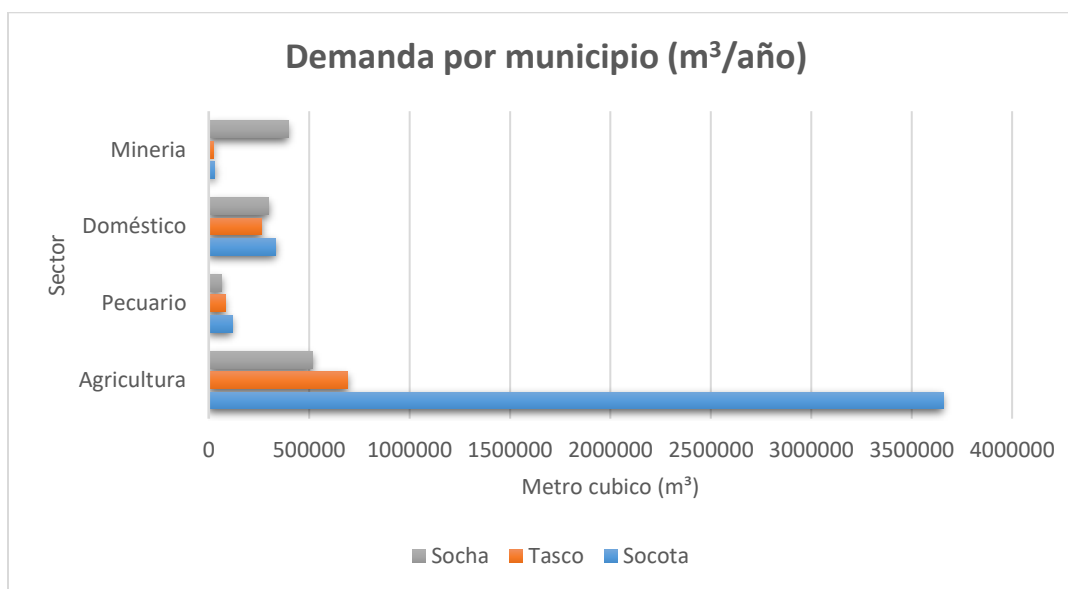


Figura 7-5 Demanda hídrica en cada municipio por sector de consumo

A nivel municipal (Figura 7-5) Socotá por su gran extensión es el que presenta mayor demanda hídrica, particularmente en el sector agropecuario. Tasco le sigue en consumo agropecuario por la cantidad de ganado y extensión de pasto. Socha es el único municipio que presenta mayor

consumo en minería de carbón que en doméstico y a diferencia de los otros municipios teniendo en cuenta tanto la producción como la revisión de la tasa por uso de agua para ese año supera significativamente la demanda de Tasco y Socotá. La sumatoria de consumos por sectores da como resultado en metros cúbicos anuales para Tasco 1.070.493,41; para Socha 1.275.798,43 y para Socotá 4.139.516,52.

Es necesario tener en cuenta que las estimaciones de consumo de agua de los sectores doméstico, pecuario y agrario se basaron principalmente en la asociación de dos variables: el volumen de producción sectorial y un factor de consumo de agua por tipo de bien, con el limitante de que estas estimaciones no contemplan las pérdidas de los sistemas de conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución del agua en el suministro de agua potable. (Resolución 865-94 del 2004)

A continuación se describen detalles de la demanda por sectores.

Demanda agropecuaria

La cría de animales en pastos tanto naturales, mejorados, forraje y alfalfa constituyen la mayor demanda hídrica en el sector agropecuario ocupando un 87% de requerimiento hídrico para riego, hecho que refleja la realidad socioeconómica de los municipios, que según los esquemas de ordenamiento territorial, más de 80% el uso del suelo en estos municipios corresponde a estas actividades; esto también se comprueba también con las numerosas solicitudes de concesiones de agua a la autoridad ambiental.

La mayor parte de la población asentada en el área de páramo y áreas próximas desarrollan actividad pecuaria y paralelamente agrícola de subsistencia en pequeñas fincas, consistente en siembra de huerta casera de productos de clima frío, generalmente sin sistema de riego para lo cual la precipitación es fundamental. Al escasear las lluvias se presentan problemas de autoabastecimiento familiar que deben ser suplidos por la compra de productos agrícolas en el día de mercado de cada pueblo.

La actividad agropecuaria que implica destinar tierras para el cultivo y mejoramiento de pastos que requieren buena disposición de agua generalmente por aspersión para cría de animales especialmente bovinos conocidos como de doble propósito (producción de carne y leche), explica

el alto porcentaje de uso de agua en estos sectores. Para la población de estos municipios es básica y constituye su principal fuente de ingresos de subsistencia la cría de animales tanto para producción de leche especialmente para quesos como para carne de consumo, por esta razón consideran obligatorio oponerse a la proliferación de actividades mineras en el páramo y áreas cercanas por la ya expresada afectación que produce especialmente al recurso hídrico, lo que generaría su desplazamiento definitivo.

A la vez este gasto demuestra la importancia de asegurar la disposición del recurso hídrico para las actividades agropecuarias por cuanto son la base de la permanencia comunitaria en el territorio. Es necesario racionalizar esas actividades y prácticas evitando la creación de fincas de gran extensión o latifundios que gastan agua de manera insostenible, prevaleciendo el beneficio personal.

Es de aclarar que en el páramo de Pisba en los municipios de estudio ha sido importante la presencia de la hacienda como símbolo de colonización, lo que ha generado obligatoriamente la necesidad también de disponer recursos (tierras y animales) para los trabajadores. El contexto de la hacienda ha venido transformándose hacia una actividad comercial más industrializada y con menos disposición de trabajadores, pero con un aumento significativo del uso del recurso hídrico a través de métodos de irrigación. La facilitación de los procesos industriales ha mejorado ostensiblemente los sistemas de riego, pueden comprar grandes extensiones de manguera, tuberías, motobombas etc., en la medida en que personas con buena capacidad económica están desarrollando actividades agropecuarias a gran escala aprovechándose de la oferta de agua, la calidad del suelo, y según dice la gente de la zona las plagas no afectan tanto. La distancia y lejanía del páramo, facilita la utilización del recurso hídrico para sector agropecuario extensivo sin control y supervisión por parte de las autoridades ambientales. Ante la ausencia de otro método de supervivencia los pobladores se ven obligados a trabajar en estas haciendas o buscar suerte en actividades mineras.

En el área de estudio predomina la actividad agropecuaria, especialmente en suelos con poca inclinación, como se apreció en los recorridos realizados en la investigación (municipio de Tasco) se observa la presencia de viviendas en medio de cultivos y potreros con ganado, junto a áreas de vegetación nativa compuesta por frailejón de diferentes tamaños y otras especies endémicas. Según la información recibida en diálogos con los pobladores, es también frecuente que familias

sean propietarios sin documentos (escrituras) de varios predios o fincas que varían en extensión y a la vez sus viviendas de residencia se localizan en la cabecera municipal o en áreas rurales de bosque alto andino próximas al páramo.

Ya desde el año 2001 se manifestaban los impactos de la ganadería, acorde a la percepción desde el Parque Nacional de Pisba se señala que hay evidencias desde el pasado que la laguna de socha presentaba problemas de contaminación por residuos orgánicos del ganado además que las áreas donde nace el río Pisba estaban intervenidas por la ganadería; que el daño era más visible por la cercanía a Socha y Socotá y las vías y caminos que atraviesan el parque que se ve afectado especialmente por el traslado de ganado por el parque y la agricultura (Guerrero, O. 2001) situación que se ha incrementado con el tiempo.



Figura 7-6 Ganado en el límite del Parque Nacional Natural de Pisba. Fuente: Propia

La agricultura también afecta la calidad del agua, debido a la contaminación por fertilizantes químicos especialmente para papa, es frecuente la queja de los habitantes de la zona de estudio sobre grandes extensiones de cultivos de papa en el páramo de Pisba. Según Vargas (2011) para el cultivo de papa se requieren muchos fertilizantes compuestos (30 a 40% del total del consumo nacional) así como insecticidas y fungicidas, también la fertilización incluye abonado del suelo con gallinaza, urea, abonos químicos, cal y en algunos casos abono orgánico como medida para contrarrestar la acidez del suelo lo cual causa modificación de la composición microbiana del suelo y contaminación de los recursos de agua.

Como resultado de las dificultades que deben afrontar los productores agropecuarios acceso a agua, altos costos de producción, escasos mercados etc., buena parte de la población del páramos de Pisba y el área de estudio ha debido buscar otras ocupaciones laborales, como la minería de amplia presencia en la región.

Minería

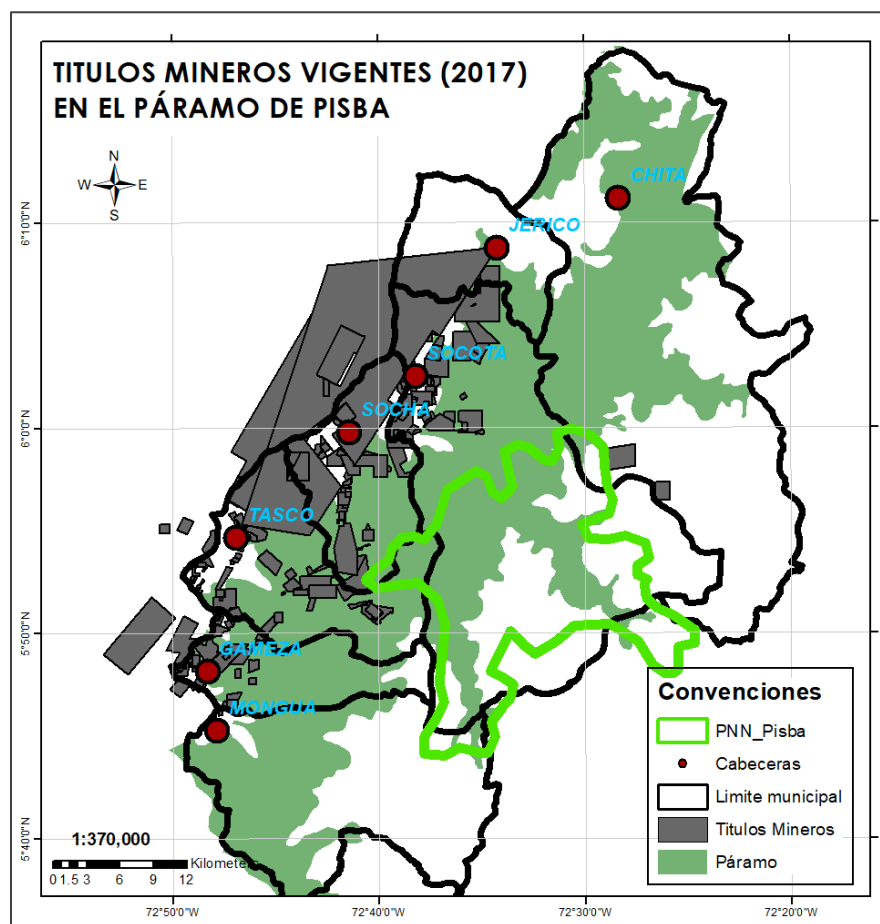
Toda el área de influencia del páramo de Pisba incluyendo municipios como Gamesa, Corrales y Paz del Río tiene una importante actividad minera, que demanda una cantidad alta de agua.

En municipios como Socha y Tasco además del agua demandada para los procesos de minería, se realiza proceso de coquización de carbón, el cual requiere agua para su elaboración, así como en la producción de arena en Tasco (Arenas Silíceas 200.00 M³ en 2016, según Ingeominas) para material de construcción que tampoco tienen medidor de consumo.

En las últimas décadas ha aumentado la explotación de carbón en la zona de páramo. Según en Dane, en el páramo de Pisba existen 270 títulos mineros vigentes, lo que ocasiona degradación del suelo y afectación a la calidad y la cantidad de agua de las quebradas que abastecen los acueductos que surten a la población de Mongua, Socha, Socotá y Tasco. (Corpoboyaca, 2016). Es importante notar que en esta cifra no se tiene en cuenta la actividad minera ilegal en el páramo y zonas de influencia donde también es frecuente. La minería de socavón realizada en áreas de páramo no solo demanda agua para sostener la actividad, sino que genera graves impactos a las fuentes hídricas subterráneas y superficiales (contaminación y desviación de curso de agua).

La distribución espacial de los títulos mineros vigentes (2017) de acuerdo con el Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial, se muestra en el mapa 7-8.

Para el análisis de consumo de agua en el sector minero se tuvo en cuenta la metodología estimativa que propuso la UPME en 2014 basada en volúmenes de producción y la revisión de concesiones mineras y volumen de agua captado para el 2016. Al comparar los resultados se observa que el factor de consumo propuesto para la zona andina basado en algunas minas de Boyacá, no es concluyente puesto que muestra un consumo mucho menor al captado por las minas que se localizaron en la zona de estudio de acuerdo al reporte de tasa por uso de agua del 2016. La diferencia de resultados se muestra en la Figura 7-7. Este resultado tiene sentido porque en el factor propuesto por UPME para tener un estimativo de consumo en las minas de carbón solo fueron considerados procesos como supresión de polvo y humectación de pilas y patios de acopio de carbón, pero no consumo humano de los mineros.



Mapa 7-8 Títulos mineros vigentes en el 2017 para el páramo de Pisba. Fuente: elaboración propia

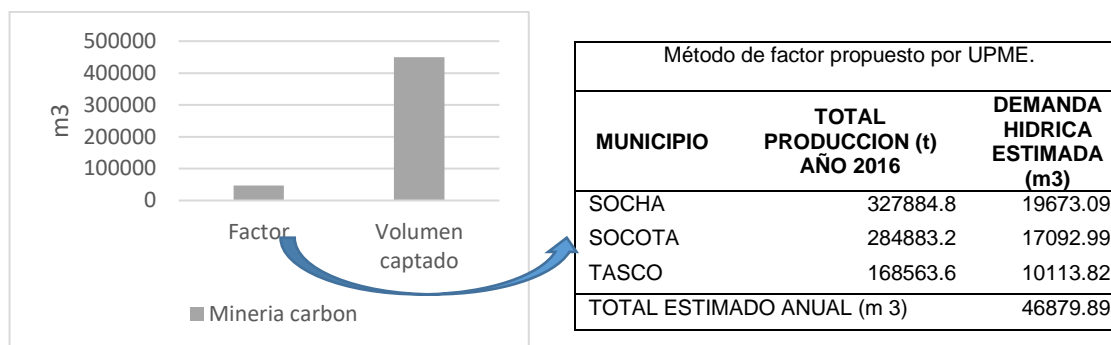


Figura 7-7 Resultado demanda por factor y por concesiones

Fuente: Para la producción Ministerio de Minas y Energía y la Agencia Nacional de Minería y concesiones Corpoboyacá.

La figura 7-7 muestra la comparación de los resultados obtenidos en los 2 métodos para estimar el volumen de agua demandado para Tasco, Socha y Socotá. La sumatoria de los volúmenes obtenidos para los tres municipios evidencia una diferencia significativa: para el método de factor un volumen de 46879.89 m³ y en revisión de concesiones 449691.2 m³.

Los resultados de la estimación de agua por la actividad minera en los municipios objeto del presente trabajo se presentan a continuación en la Tabla 7-12.

Tabla 7-12 Volumen captado por concesiones mineras según cálculos con datos de 2016

VOLUMEN CAPTADO 2016			
Municipio	Nombre o razón social del usuario	Volumen captado (m3)	Nombre de la fuente
Socotá	Cooperativa comercializadora boyacense de carbones C.B.C.	29328.48	Nacimiento cbc
Tasco	Cooperativa de trabajo asociados en producción y distribución de bienes y servicios	22989.744	Rio Chicamocha
Socha	London Mining Colombia Ltd	350364.96	Quebrada los Cabritos
	Minas Paz del Rio S.A.	47008	Rio sopaga

Fuente: Corpoboyacá, 2016.

La actividad minera en el páramo de Pisba ha sido dinamizada por el aumento de la demanda internacional de carbón, especialmente el metalúrgico. De otra parte, debido al poco ingreso procedente de actividades agropecuarias, buena parte de la población de los municipios alrededor del Páramo de Pisba considera la actividad minera como su principal fuente de trabajo y de subsistencia. El incremento de esta actividad está empujando la demanda al alza.

Además de los impactos negativos que la minería genera a las fuentes hídricas una buena parte de las áreas de páramo y de bosque alto andino está modificado por la introducción de eucalipto, especie de árbol maderable que es muy utilizada en las actividades mineras, considerada por la comunidad como generadora de impactos en el suelo que producen disminución de la oferta hídrica porque seca el suelo, succiona grandes cantidades de agua, desecamiento de acuíferos y porque brindan un hábitat relativamente pobre para la vida silvestre.

Consumo doméstico

El consumo de agua para uso doméstico ocupa el segundo puesto en la demanda hídrica de los municipios estudiados, después de la agricultura. En la zona rural es alto por la amplia presencia poblacional. Este uso tiene prevalencia para ser otorgado o concedido por parte de las autoridades ambientales a través de los acueductos tanto rurales como urbanos. Es necesario tener en cuenta que el consumo hídrico en las cabeceras municipales es superior al estimado por la metodología de factor de consumo, hecho que se evidenció al revisar el registro de consumo captado para la zona urbana en el 2016, posiblemente porque este último no tiene en cuenta sector servicios que corresponde a comercio, instituciones y oficinas.

7.5. Balance oferta – demanda hídrica en los municipios de la zona de estudio

En la Tabla 7-13 se presenta los resultados de oferta y demanda hídrica en Mm³ para Tasco en Socha y Socotá, distinguiendo demanda con o sin pastos y en la Tabla 7-14 la oferta y demanda solo para la zona urbana de los municipios. Igualmente, en la Figura 7-8 se muestra el balance final con respecto a los resultados de oferta disponible y demanda totales en Mm³, y en la Figura 7-9 se muestra este resultado por municipio.

En la Tabla 7-14 se muestra los aforos por acueducto de cada municipio con base en la información proporcionada por Corpoboyacá y la demanda se realizó con base en la concesión para uso doméstico de cada achucuto urbano con respecto a él volumen captado para el 2016.

Tabla 7-13 Oferta y demanda hídrica para los municipios de estudio

RESULTADO	Tasco	Socha	Socotá
demanda (sin pastos)	1.07	1.28	4.14
demanda (con pastos)	13.91	6.43	22.00
oferta (con reducción de estiaje y calidad)	29.05	17.65	226.40

Oferta y Demanda en Millones de metros cúbicos

Tabla 7-14 Oferta y demanda para las cabeceras municipales

Municipio	Fuente	Empresa prestadora	Oferta total	Oferta disponible	Demanda	
			Caudal l/s	Caudal l/s	Volumen captado (m³) 2016	Caudal l/s
Socotá	Nacimiento San Antonio	Alcaldía municipal de Socotá	7.04	2.773	76632.48	2.428
Socha	Nacimientos Cancer y frayle	Asociación de usuarios de servicio de Agua potable del perímetro urbano del Municipio de Tasco	35.24	23.135	163798	5.191
Tasco	Nacimientos el tirque, ojo de agua y pozo de las hojas	Alcaldía Municipal de Socha	77.54	46.795	457272	14.49

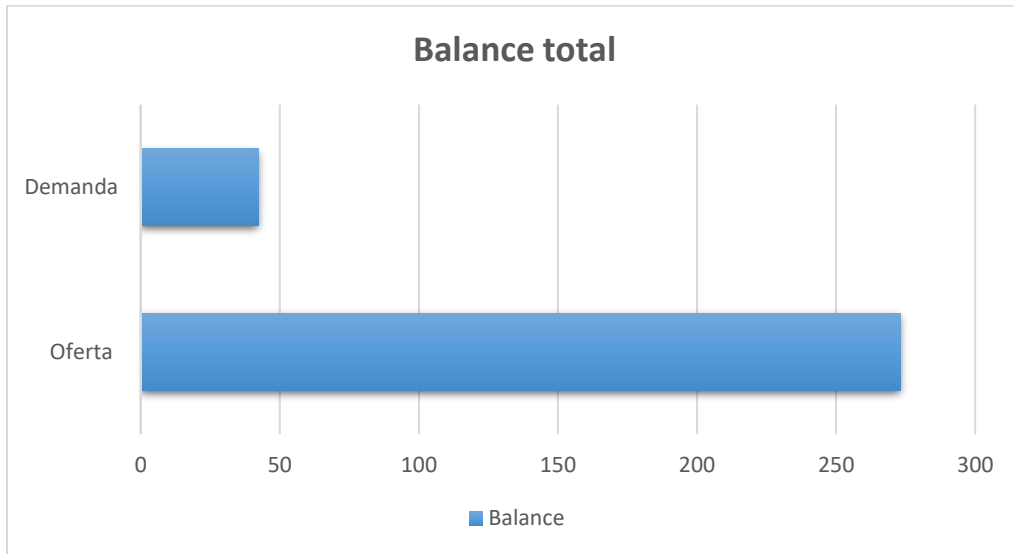


Figura 7-8 Oferta neta y demanda hídrica total Mm³ para el 2016

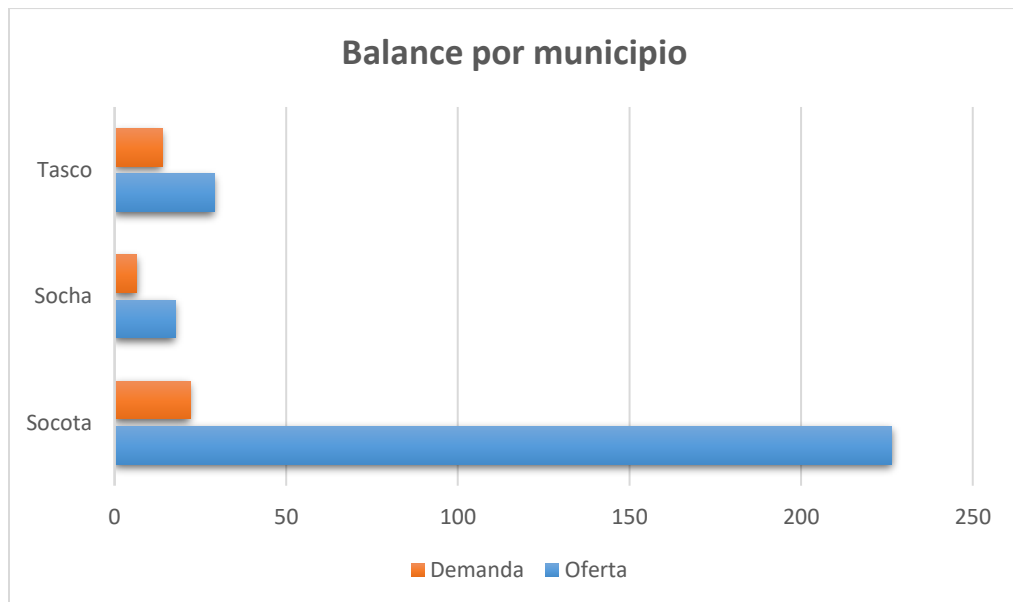


Figura 7-9 Oferta y demanda hídrica Mm³ por municipio para el 2016

A pesar de que los resultados muestran que la oferta hídrica superficial disponible es seis veces mayor a la demanda hídrica, la realidad demuestra que aún así existen grandes necesidades del recurso especialmente en la estación seca o menos lluviosa, prueba de ello son los crecientes conflictos entre pobladores que realizan actividades económicas como productores agropecuarios versus productores mineros y que llega a colocar en riesgo incluso requerimientos hídricos para consumo humano. Esta situación se evidencia en el represamiento de concesiones de agua tanto para uso doméstico, agropecuario e industrial que le corresponde aprobar a la autoridad ambiental Corpoboyaca.

En relación con la demanda es importante tener en cuenta que de acuerdo a lo que los pobladores manifiestan existen importantes áreas de cultivo de papa y cebolla ubicadas en áreas alejadas dentro del páramo, las cuales requieren grandes cantidades de agua y que no pueden ser registradas ni supervisadas por la autoridad ambiental ni otras entidades institucionales.

La disposición efectiva del recurso hídrico expresado en la oferta exige una serie de elementos tanto técnicos como físicos que en buena medida no están disponibles para la mayoría de los habitantes que requieren agua y además no existe presencia institucional eficaz para mejorar los mecanismos de utilización equitativa del recurso. Por el contrario, es notorio el acaparamiento del recurso por parte de un sector (empresarios del agro a gran escala) que con contactos políticos y económicos obtiene prerrogativas para la disposición del agua.

En el área de estudio la demanda por el sector doméstico cubre el uso en actividades económicas de subsistencia en minifundios o fincas pequeñas básicamente para consumo, preparación de alimentos y cuidado personal, demanda que es necesario garantizar en la medida que sirven a la subsistencia para las personas del lugar y evita el desplazamiento masivo de pobladores a los cascos urbanos donde tendrían problemas de inserción a la vida urbana en la medida que es población mayoritariamente de mínimos recursos y con poca preparación técnica diferente al trabajo agropecuario.

Con el aumento de las presiones al páramo señaladas en párrafos anteriores y la reducción de la oferta que plantean los escenarios de cambio climático, e incluso considerando la disminución de la población que habitan el páramo y su área de influencia (proyecciones poblacionales DANE, 2005), por la sumatoria de intereses individuales tanto económicos como políticos, es posible

prever un aumento considerable de los requerimientos hídricos a gran escala en el área de estudio, situación que podría incidir en el balance oferta-demanda y agudizar conflictos.

Utilizando los resultados anteriores de oferta disponible y demanda (con pastos) se calculó índice de uso de agua (IUA) por municipio, obteniendo los resultados que se consignan en la Tabla 7-15, en la que se puede apreciar que la presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible en los municipios de Tasco y Socha y una presión baja en el municipio de Socotá. Por lo tanto, las fuentes de abastecimiento para el municipio de Socotá ofrecen un alto potencial de abastecimiento de agua, teniendo en cuenta que la presión no es tan alta como en tasco y socha, hecho que se manifiesta en la gran actividad que hay en estas zonas, además influye que el área de Socotá es muy grande y cuenta con gran riqueza hídrica al quedar en un sitio estratégico donde queda divisoria de aguas para cuencas importantes. Los municipios de Tasco y Socha en el futuro podrían tener mayores problemas de conflicto por dificultades para suplir la demanda de agua.

Tabla 7-15 Índice por uso de agua para los municipios objeto del estudio

INDICE DE USO DE AGUA		
Tasco	Socha	Socotá
47.87	36.40	9.72

Alto  Bajo 

Hay que considerar que no solo el cambio climático está afectando el páramo y, a través de él, la oferta hídrica natural, sino también procesos locales causantes de deterioro del suelo y la cobertura vegetal alteran las propiedades hidrológicas de estos espacios y la función de almacenamiento, filtración y regulación de agua. La Figura 7-10 de alguna manera documenta este tipo de procesos locales. La foto de la Figura 7-10a corresponde a una mina, que estaba en el límite del Parque Natural Nacional de Pisba y fue cerrada gracias a las denuncias de la comunidad en medios de comunicación nacionales y que originaron la intervención de las autoridades ambientales. La Figura 7-10b ilustra otro tipo de procesos locales que deterioran el ambiente de páramo y pueden afectar la oferta hídrica natural: la quema de frailejones para pastoreo de animales.

a)



b)



Figura 7-10 Algunos impactos antrópicos al páramo.

Fuente: propia

7.6. La percepción social de la problemática relativa al agua y al cambio climático

Los grupos humanos presentes en el páramo han llegado en busca de subsistencia, algunos básica y otros para aprovechamiento de los beneficios que ofrecen estos lugares (clima, agua, calidad del suelo y recursos del subsuelo, entre otros servicios). A través del tiempo han establecido una relación con el ambiente que los rodea, el cual entienden a través de cómo lo perciben, conocimiento que usan para plantear iniciativas orientadas a mantener los servicios y recursos que requieren para su mantenimiento. El cambio en los diferentes componentes del ambiente generalmente impulsa acciones para reducir el impacto en sus actividades de subsistencia y productivas. Por ello, al momento de analizar problemas ambientales en los territorios y proponer iniciativas para solucionarlos o reducirlos, es necesario conocer las percepciones de tales cambios y las diferentes formas de respuesta de las comunidades ante tales problemas.

En el caso que se aborda en el presente trabajo, se ha evidenciado un cambio en el clima de la región que induce una modificación de la oferta hídrica natural para las comunidades de Tasco, Socotá y Socha, aunque hay una reducción de la oferta hídrica, esta no sería la causa de un desbalance en la relación oferta-demanda de agua; esta relación podría desbalancearse negativamente con una intensificación de la demanda en actividades productivas lo que generaría una limitación en el agua disponible. Acorde con lo analizado y expuesto anteriormente, esto sería más sentido en Tasco.

La indagación en las comunidades de la región acerca de su percepción sobre el tema podría validar o poner en duda lo obtenido en el análisis resumido anteriormente. Esta averiguación se realizó mediante entrevista a varios habitantes que participaron en protestas, incluido el bloqueo de una carretera al páramo en donde se encontraba la maquinaria de la empresa Hunza Coal en el año 2013 y en otros actos de demostración de inconformidad que han sido fundamentales para que las comunidades, las instituciones, las organizaciones y la academia reconocieran la existencia de una problemática social y ambiental en el área de influencia del Páramo de Pisba. A continuación, se expone los resultados de las averiguaciones sobre la percepción de las

comunidades de Tasco sobre su clima, cambio climático, agua y la relación de estos con sus actividades productivas y los problemas ambientales locales.

Entrevista a usuarios de los acueductos rurales del sector campesino

(Conversación en un local de venta de productos alimenticios y bebidas en vereda canelas en Tasco)

¿Cuánta agua se necesita para sus actividades agropecuarias?

Desde que no haya riego no hay papa ni ganado

¿Qué cantidad?

Una noche con rociador o aspersor. Y al otro día otro pedazo y a los ocho días volver a regar.

¿Han tenido problemas?

Cuando no hay agua, a veces llueve y a veces no es que ahora no se sabe

Rogativas

(Algunos dijeron que no y una señora dijo que hace mucho tiempo se hizo una y que llovió muchísimo): *Si primero se hacían rogativa pero ahora, se pagaba una misa, aquí en el encerrado se hizo una rogativa para que lloviera y ésa tarde llovió muchísimo. Pero ya hace mucho tiempo fue como en el dos mil algo...también unos diez años hizo una misa y pagaron una rogativa...*

Se unen para pedir no se destruya el páramo

Hemos reclamado. Hemos sido salvaguardianes del páramo. Porque donde se meta una multinacional acaba con el agua, y quedaría un desierto completo, la motivación es que no se acabe el agua siempre hemos vivido del campo y necesitamos agua aquí, vivimos del ganado.

.... porque es que las venas del agüita van en las vetas de carbón y dónde las truesan pues hay se sale el agua es a la mina, y donde estaba saliendo es como decir sale aquí al pie de esta piedra un aljibe y ahí va la veta de carbón por debajo y cortaron la venas del agua y se hundió...

Entrevista a líderes comunitarios

(Conversación con la señora Belarmina, habitante de municipio de Tasco, vereda canelas)

Cambios en el clima:

El cambio en el clima, ahora cuando llueve es diferente a otro tiempo, antes se sabía que llovía en junio julio, octubre noviembre, antes sabíamos cuando llueve o cuando no, a veces cuando calienta el sol calienta muy duro, el sol está pegando durísimo.

Rogativas:

La tradición de nuestros padres era que si no llovía que si pasaba tres, que si pasaba seis meses, que si pasaba el año se hace rogativa, misa con procesión, rogativa pidiéndole al altísimo a nuestro señor que nos mande el Santo rocío, entonces se ha llevado esa tradición y se ha obtenido, porque es una tradición que tiene mucho tiempo, eso es algo que mi Dios pues nos escucha y nos concede... Si uno hace una oración con fe, ésa rogativa es con misa y procesión ésa rogativa nuestro señor nos la concede

Agua: ¿Se han secado cursos de agua o nacimientos por qué?

Ahora no es el tiempo de antes, que uno iba a la mana y la limpiaba y cogía el agua para llevar a la cocina, para comer para hacer los alimentos, no se le echaba nada al agua, ni cloro, y era un agua que uno llegaba

a la Maná y cogía su agua y era hermoso. Ahorita no tenemos ese privilegio porque si uno no tiene un acueducto en tubo, no hay agua, los aljibes que habían desaparecieron, por lo que ha sido la minería, los aljibes se hundieron desaparecieron, los están secando con motobombas... Cuando nos estábamos criando hace 30, 35 años era más hermoso.

Ahorita tenemos es que cuidar nuestro páramo porque si no hay vida para nadie. El páramo de Pisba es el que está alimentando a todo el municipio con agua potable, si no fuese así de verdad que no hay agua para nadie.

Defensa del páramo. Experiencia:

La agua viene del páramo. En la minería que hubo en el páramo el agua trató de enojarse porque en algunos humedales y las quebradas también se disminuyó, pero en este momento que salió ésa minería del páramo y quedó la montaña como protegida, entonces ya veo en el páramo nuevamente agua en cuanto a ciénegas y lagunas y quebradas, se ve el aumento de agua y almaceno agua, ya volvió a reservar a almacenar agua el páramo, eso da gusto porque hay mucha necesidad por el agua

Servicios: Luz agua alcantarillado no... en el campo se vive muy tranquilo.

Historia del acueducto:

Es un acueducto que construimos nosotros mismos la comunidad organizada de tres veredas, para construir nuestro acueducto a 18 kilómetros de distancia que lo hicimos, lo trabajamos nosotros mismos y lo disfrutamos porque fue un trabajo de nuestras comunidades organizados

¿De dónde toman el agua, como es la distribución, tienen cámara de comercio? ...Nuestro acueducto se llama chorro blanco, manejo 340 usuarios, legalizado con cámara de comercio, su certificado de la Superintendencia, Secretaría de salud, la Dian, la Corporación Corpoboyaca, todo está legal, se construyó haciendo la excavación por tierra y se trae en tuberías de pvc para tres veredas del nacimiento de pirucho...quebrada de buga, pero desaparecieron.

Clima: ...baja la neblina hacia el río y sube del río chicamocha contaminado y la nube las descarga en la lluvia en la agricultura y hay viene la manchita en la hoja, pero el agua está contaminada...

¿Cuánta agua consume un trabajador de minería?

No tenemos medidores. Un trabajador consume bastante agua, porque tienen que bañarse, para preparar alimentos para el personal, no se puede vender agua para minas, porque la Corporación no nos otorgó para industria solamente para uso doméstico, algunos ya la tienen porque se les dio para habitación, luego hicieron su trabajo de minería y los acogió, pero la Corporación no nos autorizó para industria

Debate con la minería

La agua la están bombeando en motobomba, y hay que botarla porque no es apta para ganado. no siendo apta para nada, le están haciendo mucho daño al agua y sin embargo tienen que alimentarse del agua y ellos mismos la están bombeando, el daño que le están haciendo es demasiado

Como fue la protesta. Historia: Es por el agua del páramo. Nosotros hicimos protesta, tuvimos una audiencia ciudadana ambiental, luego sacar a 60 mineras, bocaminas que había en el páramo, cuando llega una multinacional para acabar el páramo nos tocó pararnos en la carretera y hacer campamento de 28 días y hacer que la empresa hunza coal sacara sus máquinas de ahí y se fueran de ahí, eso fue duro eso fue el 11 de febrero de 2011, nos tocó hacer un plantón en la carretera y lo logramos, hemos tenido mucho éxito pero la lucha ha sido grande...

Demanda a mineros por agua de quebrada Canelas: La quebrada canelas en el verano queda por hay tres pulgaditas de agua, en el verano no queda agua y sin embargo exigían que le concesionaran tres pulgadas para una minería, nos tocó poner una acción popular y atajarlos porque la verdad nos iban a dejar sin agua

para nuestra soberanía alimentaria, nuestra ganadería, nuestra agricultura, entonces lo que pido es unirnos en comunidad porque la minería hace daño y si quieren agua limpia les lleve hasta allá... mejor que haya agua para los que están agricultando, bregando para vender unas botellas de leche...

Entrevista al señor Pedro (habitante de páramo, sector calle arriba municipio de Tasco)

¿Ha percibido cambios en el clima?

Sí, un día amanece lloviendo otro día un sol pero tremendo que eso quema. Hubo cuatro años que no hubo invierno, en esa época bajaban 70 bolquetas diarias de carbón del páramo

Causas. *Quema de bosques, cuando queman el agua se retira demasiado*

Fuentes hídricas afectadas. Caudales:

La minería acabo todos los manantiales, humedales antes todo el tiempo reventaban agua ahorita que haya en verano se secan porque ahora es el paseo de los animales entonces acaban con ese musgo y no guarda agua no guarda humedad.

Tenemos la experiencia de nuestro acueducto que hace 35 años el caudal que había en nuestro acueducto era 11.7 litros por segundo y ahorita en estos momentos esta saliendo 2.12 l/s, disminuyo por causa de la minería que la en la zona alta de la serranía de pirucho. En lo conozco en ninguna parte la minería es responsable con el medio ambiente, no se puede hacer sin que afecte los nacimientos y humedales de agua.

Cuando las minas sacan agua y la botan en parte directamente a los potreros en parte directamente a las quebradas hecho que afecta el organismo de los animales que no pueden tomar esa agua contaminada.

Mes con más lluvia: *Empieza a llover después de semana santa, finales de marzo y principios de abril dura hasta septiembre y octubre en el páramo*

Rogativas: *No en el páramo no, pero en la parte baja en el municipio traían la imagen hasta un sitio que se llamaba la tenería dejaba uno o dos noches la imagen y al otro día le hacían la misa y la llevaban hasta el pueblo y cuando llegaba al pueblo ya estaba lloviendo.*

Pino y eucalipto: *Las corporaciones piden que siembren árboles, pero enton la gente que trabaja en actividades extractivas siembran pino y eucalipto que para desarrollarse necesita de demasiada agua enton quedan esos terrenos áridos. Ese eucalipto lo utilizan para trancar los socavones de las minas para poder hacer la explotación para las puertas que llaman*

Entrevista al señor Virgilio (habitante de Socha, sector urbano)

Cambios en el clima:

Antes hace 5 o 10 años atrás el sol no era tan fuerte, ahora no se lo aguanta uno. Antes la gente de anterior tiempo tenía sus credibilidades que decían para tal fecha es tiempo de invierno ahora cualquier momento llueve y sale el sol, aquí la gente del campo nos hemos dado cuenta de esas cosas.

Rogativas: *Si señor a veces, la gente va a la iglesia y pide el favor al padre y el hace sus procesiones pidiéndola a Dios que nos regale el agüita.*

¿Se han secado quebradas o nacimientos? *Si yo creo que eso ha sido como en general como en todo lado, porque uno antes veía las lagunas llenitas ahora se han bajado bastante.*

Entrevista al señor Mauricio (habitante y concejal del municipio de Tasco)

¿Sus actividades dependen del clima?

Sí por los pastos. Yo compro leche (si llueve hay pasto y producción de leche).

Cambios en el clima:

Antes el invierno empezaba en abril apenas pasaba semana santa y empezaba a hacer bueno en septiembre y octubre otra vez, ahorita no, a cualquier momento calentó el sol, por la tarde llovió o cae un aguacero ya no hay certeza de que tales meses es el invierno.

Cuando hay un veranito duro se alcanzan a mermar harto los caudales, estos últimos años como no ha habido verano no se ha visto tanto la afectación. Cuando caen unos aguaceros la borrasca es pasajera ya al otro día amanecía poquita agua mientras que antes permanecían los caudales por un buen tiempo.

¿Cuáles cree que son las causas de esos cambios?

La deforestación que nosotros mismos estamos causando al planeta ha llevado a que no sean constantes las lluvias. Aquí en los municipios se ha venido recuperando la vegetación nativa pero la contaminación de las grandes empresas utilizan carbón y petróleo eso es lo que está causando calentamiento global.

Lo que mas afecto el páramo fue la minería, las quemas que un tiempo cada que había veranito le prendían al páramo y eso era lo que mas estaba acabando con el agua. Aquí en el páramo el ultimo incendio que hubo fue unos 4 años de ahí para aca afortunadamente de pronto la gente ha tomado conciencia, pero eso es un factor para disminuir el caudal de agua porque se quemaron todas esas matas de monte nativo que habían y eso afecto bastante.

Rogativas:

No aquí no ha habido la necesidad como les ha tocado a otros municipios que hacen misas para rogar que llueva ha habido veranos duros yo me acuerdo que hace que unos cuatro años hubo un verano bravo para aquí para la parte baja de san Luis y el mortiño que duro dos años, una sequía muy verraca. Nosotros le echamos la culpa era a la minería, cuando se fue la minería y que dejaron todo volvió a recuperarse otra vez la lluvia y no ha hecho falta el agüita.

Su experiencia sobre la defensa del páramo:

Si no hubiera sido por esas protestas el páramo ya no lo hubieran acabado que fueron desde 2010 hasta 2014 que fue la problemática más dura entre ambientalistas y mineros gracias al apoyo de diferentes grupos y valor para sentar voz de protesta sirvió para disminuir minería en páramo y recuperar un poquito el invierno en esa zona.

Entrevista a doña Custodia (habitante de vereda canelas en Tasco)

Cambio clima:

En febrero habían unas lloviznas que decían que era don rapasemillas, en abril en mayo era cuando más llovía decían agua de mayo balde todo el año y en junio y julio y septiembre también llovía. Pero este año no llovió sino hasta octubre a mitad de mes en adelante.

¿Se han secado nacimientos de agua?

Por las minas de carbón q botan agua contaminada a la quebrada. Aquí había dos nacimientos de agua se las absorbió todas las minas, desde que estaban trabajando eran dos pulgadas de agua y era la que teníamos toda vereda, esa se la llevaban en ollas, jarras todos los que venían a dar agua ahí (a las vacas) ...

MI abuelo había colocado una pila en piedra para que los animales bebieran y la otra agüita la teníamos de mangueras que salían 4 pulgadas y esa se la absorbieron las minas y ahorita está todo abierto hasta la peña y con ideas de venirse pa abajo eso.

Rogativas:

Si se hacían, se pagaba una misa se hacia la rogativa, eso se está acabando... en la iglesia o en la vereda, si funcionaba venia el padre y tocaba poner un madero. La fiesta aquí en Tasco de san isidro labrador la celebramos llevando lo que hubiera en la finca si había maíz, mazorcas, papa, arveja, cebada, trigo, haba, todos reunían y llevaban al pueblo y el padre remataba eso para el santo y para hacer la fiesta que hiciera buen clima decían “san isidro labrador pon el agua y quita el sol” y si estaba lloviendo mucho decían “quita el agua y pon el sol”

...Nuestra vegetación tenemos arboles de hayuelo, uche, mimbre, el tilo, en los nacimientos el aliso, el sauce el sauco.

Las entrevistas permiten ver varios puntos clave de los que trata el presente trabajo. Por un lado, la población de Tasco está pendiente del comportamiento del clima, toda vez que afecta su actividad, principalmente agropecuaria. Percibe este comportamiento a través del conocimiento que tienen del ciclo anual de la lluvia, la temperatura media (el calor) y los caudales de los ríos. Se puede ver que los habitantes de la región perciben anomalías asociadas a la variabilidad climática cuando señalan que hubo épocas muy secas (sequía) que después presentaron recuperación. También perciben un cambio climático (cambio de largo plazo) cuando señalan que “ahora es más calor que antes” y que los caudales después de las sequías ya no se recuperan como antes o no se mantiene como antes, sino que se escurre más rápido que antes. La gente de más edad ha observado el cambio y manifiestan que antes se sabía que llovía en junio, julio octubre y noviembre, pero ahora no se sabe cuándo va a llover y el que a veces el sol calienta muy fuerte y solían hacer rogativas para que lloviera. Estas expresiones de los habitantes de la región demuestran que perciben un cambio en clima que efectivamente (por el análisis con datos) está ocurriendo.

De igual manera, las entrevistas dejan ver la importancia que representa el agua para las comunidades de la región y son conscientes del papel del clima en el mantenimiento de una oferta hídrica, al igual que entienden el papel de la vegetación como regulador. Los habitantes atribuyen a la disminución de la cobertura vegetal (deforestación) los cambios en el ciclo hidrológico: menos caudales y rápido escurrimiento.

De otra parte, los habitantes son conscientes de que la minería afecta la disponibilidad de agua para el consumo y uso en otras actividades; además, señalan a la contaminación que la minería

causa, como otro factor que reduce la disponibilidad hídrica. En efecto, de acuerdo con las entrevistas, para los campesinos la principal amenaza al agua es la actividad minera ya que ellos han evidenciado como ocasionan la escasez de agua hecho que se agrava en los veranos. Por ejemplo, una persona dijo que se había secado la quebrada por que no salía agua de la tierra hecho que atribuye a que una mina subterránea desvió el curso del agua; otra persona manifestó que el cauce del río ha disminuido por la minería; también hay señalamientos acerca de que otro problema es que las minas sacan agua de la tierra con motobomba y vierten el agua contaminada en quebradas.

Se evidenciaron conflictos por competencia entre diversos sectores por el uso de agua y por falencia en el sistema de control y autorización de uso. Por ejemplo, unos campesinos pidieron una concesión de agua para uso agropecuario en el año 2015 la cual no les fue aprobada, no obstante, en esa misma cuenca la corporación ambiental se apresta a aprobar la actividad en unas minas. La comunidad obviamente se opone a la minería porque les acapara el agua que ellos necesitan para sus actividades pecuarias principalmente; además dicen que la minería contamina mucho el agua por los desechos que vierten.

7.7. Propuesta para la adaptación de los municipios de Tasco, Socotá y Socha a los cambios que en el balance oferta-demanda hídrica les plantea el cambio climático

Según los escenarios de cambio climático, la oferta natural de agua en el área del Páramo de Pisba no presentaría mayores cambios, aunque hacia la vertiente occidental (cuenca del río Chicamocha) habría disminución, lo que afectaría en especial la relación oferta-demanda hídrica, particularmente del municipio de Tasco. Sin embargo, según se establece de la exploración de las tendencias de la dinámica socioeconómica, la demanda estaría incrementándose y una de las actividades, la minería, estaría reduciendo la cantidad de agua disponible debido a la captación para sus propios procesos y a la contaminación de fuentes.

Por ello, es preciso implementar instrumentos de planificación y ordenamiento regional con una perspectiva ambiental que estén articulados con Plan de Acción de Biodiversidad (2017) para la implementación de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus

Servicios Ecosistémicos. Como lo contempla esta política, la conservación de la biodiversidad debe ser una prioridad de todos no solo para el bienestar humano, el desarrollo sostenible del país, sino también para la adaptación ante los cambios ambientales globales de origen humano.

En la situación diagnósticada, para los municipios objeto del presente estudio se recomienda implementar acciones de adaptación al cambio climático basadas en ecosistemas y basada en comunidades (ver PROVIA, 2012).

La adaptación basada en ecosistemas se orientaría a mantener la función de regulación del páramo para evitar la amplia variabilidad en el ciclo anual y las estaciones secas prolongadas, y disminuir la posibilidad de ocurrencia de sequías desastrosas. Esta opción para la adaptación incluye conservación de ecosistemas, protección del páramo y restauración bosques y ecosistemas. Todo lo anterior se haría desarrollando proyectos orientados a lograr resultados en las acciones mencionadas y haciendo cumplir la normatividad ambiental en la región. La inclusión del páramo en el sistema de áreas protegidas es un avance importante, sin embargo habría que reforzar con acciones en la comunidad para que realmente se cumpla la protección de dicha área.

En cuanto a las acciones basadas en comunidades estaría la de fortalecer la conciencia de estas en cuanto a la situación relacionada con la oferta-demanda, involucrarlas en la implementación de la adaptación basada en ecosistemas y convencerlas de su compromiso y responsabilidad en el uso del agua.

Adicionalmente, en los procesos de los sectores productivos se debe introducir prácticas, técnicas y tecnologías sostenibles que minimicen su impacto en la disponibilidad del recurso hídrico para otros sectores. Es decir, avanzar en la adaptación por cambios culturales y adaptación basada en tecnologías.

Finalmente, es necesario fortalecer las autoridades ambientales para que puedan asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental, en especial la relacionada con el recurso hídrico.

8. Conclusiones

El análisis realizado en el presente trabajo permite concluir lo siguiente:

El clima que se presenta en el área del Páramo de Pisba propicia una abundante oferta natural de agua que alimenta las corrientes que fluyen hacia los ríos Cravo Sur, Pauto, Casanare (vertiente oriental tributaria del Orinoco) y Chicamocha (por la vertiente occidental que tributa al Magdalena). Esta oferta es mayor en la vertiente oriental, en algunas cuencas duplica a la de la occidental.

La demanda hídrica de los municipios de Tasco, Socha y Socotá está constituida por lo que consume el sector agropecuario (97%), seguida del uso doméstico (2%) y la minería (1%).

La relación oferta-demanda de recurso hídrico en los municipios de Tasco, Socotá y Socha es favorable en el sentido de que la abundante oferta natural cubre cubre de manera suficiente la demanda para el consumo humano y el funcionamiento del sistema productivo. En términos de índice de uso de agua (IUA), la presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible en los municipios de Tasco y Socha y una presión baja en el municipio de Socotá. Es necesario señalar que, aunque la demanda por el sector minero es baja, la presión de este sector es alta por lo que afecta la disponibilidad del recurso no solo por el volumen que capta, sino también por la contaminación que causa en las fuentes. La actividad minera se ejerce en mayor proporción en Socotá y Tasco, pero es en este último municipio en donde, por tener la menor oferta, eventualmente se generan dificultades para cubrir la demanda hídrica.

Sobre la base de los escenarios de cambio climático elaborados por el IDEAM (2015) se puede establecer que en el área de los municipios de Tasco, Socha y Socotá hacia finales del siglo XXI habría un aumento de la temperatura del orden de 1.8°C en relación con los

promedios observados entre 1976-2005; la precipitación por su parte tendría cambios entre -10% y +10% de los volúmenes observados en el período de referencia 1976-2005, esto indicaría que los cambios serían menores. No obstante, habría disminución en la esorrentía lo que conlleva a reducción de la oferta natural de agua a lo largo del siglo XXI, la cual es en promedio de un -8% para las cuencas de Socha, entre -4% y - 8% para Socotá y de alrededor de -10% para Tasco. Lo que indica una ligera disminución de la oferta hídrica natural, que sería un tanto más marcada para el municipio de Tasco.

La disminución de la oferta natural, el crecimiento poblacional aunado al consecuente aumento de actividad económica y la situación particular del uso del recurso por la minería (que con el consumo y la contaminación de fuentes reduce la disponibilidad de agua) estarían poniendo en dificultades a la región, en particular al municipio de Tasco, en proveerse del recurso hídrico necesario; dificultades que se agravarían si continúa la actual tendencia a la ampliación de la actividad de este sector. Esta situación sería una de las causas de conflicto generado por la competencia entre los diferentes sectores productivos y la población por el uso del agua.

Como vía a la disminución de los posibles conflictos se propone ir adaptándose a la nueva situación que genera el cambio climático mediante la protección del páramo, la restauración de ecosistemas, la implementación en los procesos productivos (agricultura, ganadería y minería) de prácticas, técnicas y tecnologías eficientes y de menor consumo de agua, fortalecimiento de la conciencia de la población frente al uso y cuidado del agua y fortalecimiento de las autoridades ambientales para que ejerzan de manera eficaz la vigilancia y el cumplimiento de la normatividad ambiental.

9. Bibliografía

- Alarcón, J y Pabón, J. 2013. El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. *Colombia forestal* vol.16 no.2 Bogotá July/Dec. 2013. ISSN 0120-0739
- Andrade, A., Herrera, B., Cazzolla, G. 2010. Building Resilience to Climate Change. Ecosystem-based adaptation and lessons from the field. IUCN. 85 p.
- Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F. 2012. Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente. IDEAM
- Baptiste, B. 2011. Ecología del paisaje en los páramos. *Revista Colombia tiene paramos* 1, 32 – 39.
- Buytaert, W., R. Cérelli, B. De Bièvre, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers and R. Hofstede. 2006. Human impact on the hydrology of the andean páramos. *Earth Science Reviews* 79(1-2): 59-72.
- Cárdenas, M. F., Tobón, C., & Buytaert, W. 2017. Contribution of occult precipitation to the water balance of páramo ecosystems in the Colombian Andes. *Hydrological Processes*, 31(24), 4440–4449. doi:10.1002/hyp.11374
- Carrillo-Rojas, G., Silva, B., Rollenbeck, R., Célleri, R., & Bendix, J., 2019. The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, 30–47. doi:10.1016/j.agrformet.2018.11.006
- Castaño-Uribe, C. (Ed.). 2002. Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición Hotspot y Global Climatic Tensor. Ministerio del Medio Ambiente. IDEAM. PNUD.
- Cleef, A. 2013. Origen, evolución, estructura y diversidad biológica de la alta montaña colombiana. En: Cortés-Duque, J. y Sarmiento, C. (Eds) “Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos”. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- CORPOBOYACA, 2016. Estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales para la identificación y delimitación del complejo páramos Pisba a escala 1:25.000. 367p
- CORPOBOYACA. 2014. Mapa de riesgo municipio Tasco, Socha, Socotá.

-
- Cortés-Duque, J. y Sarmiento, C. (Eds). 2013. Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- Cuadra, D.E., 2014: Los enfoques de la geografía en su evolución como ciencia. Revista Geográfica Digital. IGUNNE - Facultad de Humanidades - UNNE. Año 11. Nº 21. En: <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default.htm>
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005. Censo general 2005. En: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>
- De Bièvre 2008. Páramo: las funciones hidrológicas de un ecosistema frágil. En: Torres, Fidel y Jorge Recharte (Editores). 2008. Economías sanas en ambientes sanos: Los páramos, el agua y la biodiversidad para el desarrollo y competitividad agraria del norte peruano. Lima: INCAGRO, The Mountain Institute
- De Bièvre, B. 2007. Amenazas a los servicios hídricos del páramo, En: Perspectivas del Ecosistema de Páramo. Memorias. Procuraduría General de la Nación, Bogotá. 148 p.
- De Bièvre, B.; Íñiguez, V. y Buytaert, W. 2006. "Hidrología del páramo. Importancia, propiedades y vulnerabilidad". *Páramo*, 21, pp. 26-44.
- Delgado Mahecha, O. 2003. Debates sobre el espacio en la geografía contemporánea. Universidad Nacional de Colombia, UNIBIBLIOS. Bogotá, D.C. Colombia
- Díaz L y Alarcon J. 2018. Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchía, Casanare. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia.
- Esquema de Ordenamiento Territorial EOT de Tasco (2000). 450 p.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO, Riego y drenaje, 56.
- GREENPEACE, 2015. Páramo de Pisba. Irregularidades e inacción en el caso Hunza Coal. 37 p. En: www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/escandaloPisba.pdf
- Guerrero O. 2001. Agenda Ambiental de Boyacá. Casa editorial el Tiempo. Bogotá, Colombia.

- Guhl, E. 1982. Los Páramos circundantes de la Sabana de Bogotá. Jardín Botánico “José Celestino Mutis”. Bogotá. 127 p.
- Gutiérrez-Valderrama J.E, Carvajal A.F., Pabón J.D., Cusva- Verdugo A., Nieto V., Lecanda X., Rodríguez- Cajamarca J., Mendoza J.E., Álvarez J.C., Quimbayo G., Dorado J., Camacho A., Bernal I., Sierra P., Zamora A., 2017: *Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en Colombia*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. Bogotá D.C., Colombia.
- Hofstede, R. 2013. Lo mucho que sabemos del páramo. Apuntes sobre el conocimiento actual de la integridad, la transformación y la conservación del páramo. En: Cortés-Duque, J. y Sarmiento, C. (Eds) “Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos”. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- Hofstede, R. 2013. Un paisaje con muchas dimensiones: el desarrollo de la relación entre la sociedad y los páramos andinos. En: Cortés-Duque, J. y Sarmiento, C. (Eds) “Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos”. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- Hofstede, Robert., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., Cerra, M. 2014. Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador.
- IAvH, 2012. Proyecto: Actualización del Atlas de Páramos de Colombia. Convenio Interadministrativo de Asociación 11-103, Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esc 1:100.000. Bogotá D.C. Colombia.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario, 2016. Censo Pecuario Nacional.
- IDEAM Y MINISTERIO DE AMBIENTE. Sistema de Información de recurso hídrico (SIRH). Disponible en: <http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/homeSIRH/HOME/demanda-n3.html>
- IDEAM, 2001. Colombia: Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 267 p.
- IDEAM, 2010. Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C. 420 p.
- IDEAM, 2011. Boletín de prensa “Fuertes impactos del cambio climático en los páramos de Colombia”.

-
- IDEAM, 2013. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá, D. C., Colombia. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, Bogotá, D. C., Colombia.
- IDEAM, 2015. Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C. 496 p.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.
- IDEAM - UNAL, 2018: La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia. Bogotá, D.C. [Versión en línea]:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- ILSA, 2014. El Páramo de Pisba en Tasco. Resistencia campesina frente a la gran minería. N 3. 72 p. En: <https://issuu.com/ilsaenred/docs/tasco>
- IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D.
- IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- IUCN, 2002. High Andean Wetlands. Technical Report. IUCN, Gland Switzerland.
- Lombana, C. 2006. Modelación y generación de estrategias de intervención de cuencas paramunas: caso de estudio cuencas abastecedoras de agua potable, Páramo de Chingaza. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Bogota, Colombia. 114 p.

-
- Luteyn, J. 1999. Páramos, a checklist of plant diversity, geographical distribution and botanical literature. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, vol. 84 (278 pp).
- Meneses, L., Velasco, L., Velasco, P., Roberto, H. 2009. Plan de Manejo 2005-2009 Parque Nacional Natural Pisba. Socha, Boyacá. 372 p.
- Minaya-Maldonado, V.G., 2016: Ecohydrology of the Andes Paramo Region. CRC Press/Balkema - Taylor & Francis Group, Leiden, The Netherlands. 205 p.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2009). Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento Básico, RAS. Resolución 2320. Colombia.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2002. Paramos. Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana. 71 p.
- Montealegre J.E., 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. Informe de contrato de prestación de servicios profesionales No IDEAM 078 -2014. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., 134 páginas.
- Morales M., Otero J., Van der Hammen T., Torres A., Cadena C., Pedraza C., Rodríguez N., Franco C., Betancourth J.C., Olaya E., Posada E. y Cárdenas L. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. 208 p.
- NASA images by Robert Simmon, based on data from the NASA Goddard Institute for Space Studies, NOAA National Climatic Data Center, Met Office Hadley Centre/Climatic Research Unit, and the Japanese Meteorological Agency. Caption by Patrick Lynch and Mike Carlowicz.
- Pabón J.D., 2003. El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos de Geografía*, v XII (1-2), pp. 111-119
- Pabón J.D., 2012. Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo xx y escenarios posibles para el siglo xxi. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(139), 261-278.
- Pabón-Caicedo J.D., Montealegre-Bocanegra J.E., 2017: Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No. 43*. Bogotá D.C., 168 p.
- Parque Nacional Natural Pisba. En: <https://www.parquesnacionales.gov.co>

-
- Plan Básico de Ordenamiento Territorial POT de Socha (1995- 2005).
- Plan de desarrollo municipal de Socotá (2012- 2015), (2016- 2019).
- Plan de desarrollo municipal de Tasco (2012- 2015), (2016- 2019).
- Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L. and Collinet, J., 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisols from the Ecuadorian páramo: effect of tillage and burning. *Catena*, 45: 185–207.
- Procuraduría General de la Nación (2008). Situación de los páramos en Colombia frente a la Actividad antrópica y el cambio climático - PROCURADURÍA DELEGADA PARA ASUNTOS AMBIENTALES Y AGRARIOS - Informe preventivo. En Colección de Asuntos ambientales No. 4. Colombia
- Provia, 2013: PROVIA Guidance on Assessing Vulnerability, Impacts and Adaptation to Climate Change. Consultation document, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 198 pp. Available at <http://www.unep.org/provia>
- Ramirez, M. 2011. La importancia de los microorganismos y la edafofauna en los páramos. *Revista Colombia tiene paramos* 1, 42 – 57.
- Rangel, O. 2000. La Diversidad Beta: Tipos de Vegetación. En: Rangel, O. (Ed.). Colombia Diversidad Biótica III. La Región de Vida Paramuna. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá, Colombia. pp. 563-599.
- Ren L., P. Arkin, T. M. Smith, and S. S. P. Shen (2013), Global precipitation trends in 1900–2005 from a reconstruction and coupled model simulations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 1679–1689, doi:10.1002/jgrd.50212.
- Rey, C., Franco-Vidal, L. & Castaño-Uribe, C. 2002. Informe del estado y gestión de los páramos colombianos. En: C Jaramillo, C Castaño-Uribe, F Arjona-Hincapié, JV Rodríguez, & CL Durán. (Eds.). Memorias Congreso Mundial de Páramos, Paipa, Boyacá, 2:114-198.
- Reyes, P.; Molano, J.; González, F.; Cortés, A.; Rangel O.; Flórez, A.; Iriarte, P.; Kraus, e. (eds.) 1996. El páramo, un ecosistema de alta montaña. *Serie Montañas Tropoandinas. Vol I*. Fundación Ecosistemas Andinos. Santafé de Bogotá. 168p.
- Rivera, D. y C. Rodríguez. 2011. Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 35 pp

-
- Ruiz, D., M. P. Arroyave, A. M. Molina, J. F. Barros, M. E. Gutierrez, and P. A. Zapata. 2009. Signals of climate variability/change in surface water supply of high-mountain watersheds - case study: Claro River high mountain basin, Los Nevados Natural Park, Andean Central Mountain Range, Colombia. World Bank Group. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia. 207 p.
- Ruiz, D., Moreno, H., Gutiérrez, M., Zapata, P. 2008. Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the total environment*, 398: 122 – 132.
- Rojas, G. Paula; Mora, J. Emilce, 2017. Plan de acción de biodiversidad para la implementación de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos 2016-2030. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Bogotá, D.C. 132 p.
- Shiklomanov Igor, 1993. Chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources* (Oxford University Press, New York).
- UNESCO, 1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe ROSTLAC.
- UNESCO, 2006. Segundo informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo: "El agua, una responsabilidad compartida".
- UNESCO-WWAP, 2009. The United National World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris-London.
- UNESCO-WWAP, 2015. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Factsheet produced by United Nation for Education, Science and Culture Organization – World Water Assessment Program. Perusa, Italy, 12p.
- UNESCO-WWAP, 2015. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: no dejar a nadie atrás. UNESCO, Paris. 198p.
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO – UPME. 2015. Incidencia real de la minería del carbón, del oro y del uso del mercurio en la calidad ambiental con énfasis especial en el recurso hídrico - diseño de herramientas para la planeación sectorial. Bogotá, Colombia. 663 p.
- Van Der Hammen, T, 1992. Historia, Ecología y Vegetación. Fondo FEN, Corporación Aracua, Banco Popular. Bogotá.

-
- Van der Hammen, T., J. D. Pabón Caicedo, H. Gutiérrez y J. C. Alarcón. 2002. El cambio global y los ecosistemas de alta montaña de Colombia. Pp. 163-209. En: C. Castaño Uribe (ed.). Páramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición hotspot y global climatic tensor. Ideam, Bogotá, D. C., Colombia.
- Vargas Ríos, O & Velasco-Linares, P. 2011. Reviviendo Nuestros Páramos. Restauración Ecológica de páramos. Proyecto Páramo Andino. Quito, Ecuador. 183 p.
- Vargas, O. 2011. Los regímenes de estrés y disturbio en los Páramos andinos. *Revista Colombia tiene paramos 1*, 58 – 73.
- Vargas, O. 2013. Disturbios en los páramos andinos En: Cortés-Duque, J. y Sarmiento, C. (Eds) “Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos”. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- Vásquez, A., Buitrago, A. C. (Editoras). El gran libro de los páramos. 2011. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Proyecto Páramo Andino. Bogotá, D. C. Colombia. 208 pp.
- Viviroli, D., Archer, R., Buytaert, W., Fowler, J., Greewoods, A., Hamlet, F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, L., López-Moreno, I., Lorentz, S., Schadler, B., Schreier, K., Vuille, M., Woods, R. 2011. Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management, and policy. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 471–504.

