



Apoyo en la implementación de medidas de adaptación de acuerdo con el Plan Integral de Adaptación de Cambio Climático (PIACC) del municipio de Palmira.

Alianza Bioversity International – Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT

Análisis del riesgo climático en cuencas priorizadas que abastecen acueductos

Informe técnico

Palmira, Valle del Cauca
Diciembre 29, 2020



Bioversity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) son parte de CGIAR, un consorcio mundial de investigación para un futuro sin hambre.
Biodiversity International es el nombre operativo del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)

Oficina Regional para las Américas
Km 17, Recta Cali-Palmira CP 763537
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia
Tel. (+57) 2 4450000

www.biodiversityinternational.org
www.ciat.cgiar.org
www.cgiar.org



Bioversity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) son parte de CGIAR, un consorcio mundial de investigación para un futuro sin hambre.

Bioversity International es el nombre operativo del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)

Oficina Regional para las Américas
Km 17, Recta Cali-Palmira CP 763537
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia
Tel. (+57) 2 4450000

www.bioversityinternational.org
www.ciat.cgiar.org
www.cgiar.org

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
Zona de estudio	2
Precipitación media mensual	5
Definición de la metodología de análisis y recolección de información.	7
Descripción del modelo hidrológico (Soil and Water Assessment Tool) SWAT	7
Modelación hidrológica bajo condiciones de línea base	9
Información de entrada para el modelo	10
Procesamiento de la información	15
Calibración y validación del modelo hidrológico.	16
Modelación de escenario de Cambio Climático.	16
RESULTADOS.....	17
Valoración del entorno y condiciones físicas de los acueductos.....	17
Acueducto Rural Vereda La Buitrera, Corregimiento Ayacucho.....	18
Acueducto Rural centro poblado La Zapata, Corregimiento La Zapata	19
Acueducto Rural centro poblado Calucé, Corregimiento Calucé	21
Acueducto Rural centro poblado Potrerillo, Corregimiento Potrerillo	22
Acueducto Rural centro poblado Combia, Corregimiento Combia	23
Acueducto Rural vereda Teatino, Corregimiento Toche.....	25
Acueducto Rural Vereda Taurete, Corregimiento Tablones	26
Acueducto Rural Vereda San Emigdio, Corregimiento La Zapata	27
Acueducto Rural centro poblado Barrancas, Corregimiento Barrancas	28
Análisis del riesgo climático en infraestructura de abastecimiento de agua potable.	29
Calibración.....	29
Producción hídrica por Unidades Hidrológicas de Respuestas - HRU	30
Vulnerabilidad al cambio climático de cuencas abastecedoras de acueductos rurales.....	37
Definición de acciones prioritarias para la reducción de la vulnerabilidad.	40
Conservación y protección de las zonas altas de las cuencas.	41

Incorporación de sistemas silvopastoriles y rotación de pasturas en fincas ganaderas.	41
Capacitaciones en buenas prácticas de manejo en los cultivos.	41
Socializaciones con las asociaciones de usuarios de los corregimientos intervenidos.	42
Implementar acciones de adaptación y mitigación al cambio climático contempladas en el programa “Plan de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas del Área de Influencia del Municipio”, en la dimensión de Recurso Hídrico, propuestas y priorizadas por el PIACC. .	42
Conclusiones y recomendaciones	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	45

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. precipitación media mensual (mm)	5
Figura 2. Precipitación promedio mensual.	6
Figura 3. Temperatura media mensual.	7
Figura 4. Diagrama de Flujo metodológico en la modelación SWAT.....	9
Figura 5. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en el municipio de Palmira (estación: Alcaldía de Palmira).	17
Figura 6. Calibración, promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Paso de la Torre (Cuenca del río Cauca).	30

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Áreas de drenaje de las subcuencas que conforman las cuencas de Amaime y Guachal.....	3
Tabla 2. Información seleccionada para la modelación SWAT.	11
Tabla 3. Resultados de la calibración en cuencas que drenan al río Cauca.	29
Tabla 4. Resumen de Calibración y Validación.....	30
Tabla 5. Registro Único Nacional de Áreas Protegidas en las cuencas abastecedoras de los acueductos rurales de interés.	37
Tabla 6. Vulnerabilidad global al cambio climático de los acueductos rurales.	39
Tabla 7. Subcuencas modeladas y drenajes identificados.	45
Tabla 8. Concesiones para acueductos rurales en corregimientos de Palmira.....	46

LISTADO DE MAPAS

Mapa 1. Zona de estudio.	3
Mapa 2. Delimitación de áreas de drenaje para el análisis.	10
Mapa 3. Suelos en la parte alta y media del municipio de Palmira.	12
Mapa 4. Cobertura vegetal de la parte alta y media del municipio de Palmira.	13
Mapa 5. Modelo digital de elevación.	14
Mapa 6. Estaciones climáticas IDEAM y CVC.	15
Mapa 7. Acueductos rurales visitados en los corregimientos seleccionados.	18
Mapa 8. Producción hídrica anual por HRU para el escenario actual en las cuencas abastecedoras de acueductos rurales.	31
Mapa 9. Producción hídrica anual por HRU para el escenario RCP 4.5 a 2040 en las cuencas abastecedoras de acueductos rurales.	32
Mapa 10. Cambio en la producción hídrica anual por HRU, RCP 4.5 vs línea base.	33
Mapa 11. Vulnerabilidad al cambio climático en áreas protegidas de cuencas abastecedoras de acueductos rurales.	39
Mapa 12. Vulnerabilidad al cambio climático en cuencas abastecedoras de acueductos rurales.	40
Mapa 13. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 33 (Ayacucho, La Buitrera).	47
Mapa 14. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 24 y 25 (Barrancas y La Zapata, respectivamente).	48
Mapa 15. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 3 y 6 (Combia y vereda teatino del corregimiento de Toche, respectivamente).	49
Mapa 16. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 25 (La Zapata).	50
Mapa 17. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 20 (Potrerillo).	51
Mapa 18. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 22 (San Emigdio y Calucé)... ..	52
Mapa 19. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 10 (Tablones).	53
Mapa 20. Cambio en la producción hídrica por HRU en el área de drenaje del río Nima.	54

LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 1. Acueducto y Alcantarillado de Ayacucho La Buitrera E.S.P (Desarenador).	19
Imagen 2. Planta de cloración y tanque del acueducto rural Acuaarzap.	21
Imagen 3. Bocatoma Asoaveaguascalucé.	22
Imagen 4. Bocatoma del acueducto rural comunitario de Potrerillo.	23
Imagen 5. Bocatoma, acueducto rural de Combia.	24
Imagen 6. Planta del acueducto rural Teatino en Toche.	26
Imagen 7. Desarenado y filtración Asoacueducto El Taurete.	27
Imagen 8. Zona de filtrado (acueducto ASODISS).	28

Alianza

Alianza

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han empezado a evidenciar alteraciones importantes derivadas del cambio climático, especialmente en el régimen hidrológico que ha significado tanto excesos de humedad como sequías extremas en algunas regiones, estos efectos ponen en riesgo la disponibilidad del recurso hídrico, de ahí la importancia de conocer el comportamiento histórico de las cuencas hidrográficas y los potenciales impactos en el balance hídrico que podrían significar las alteraciones en la precipitación y la temperatura, como efecto del cambio climático.

El uso de modelos hidrológicos ha cobrado fuerza durante los últimos años, pues ayudan a comprender los diferentes componentes del ciclo hidrológico y su interacción con los diferentes usos del agua en el territorio. Para este análisis se empleó el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) en la identificación del cambio en la producción hídrica por Unidad Hidrológica de Respuesta (HRU, por sus siglas en inglés).

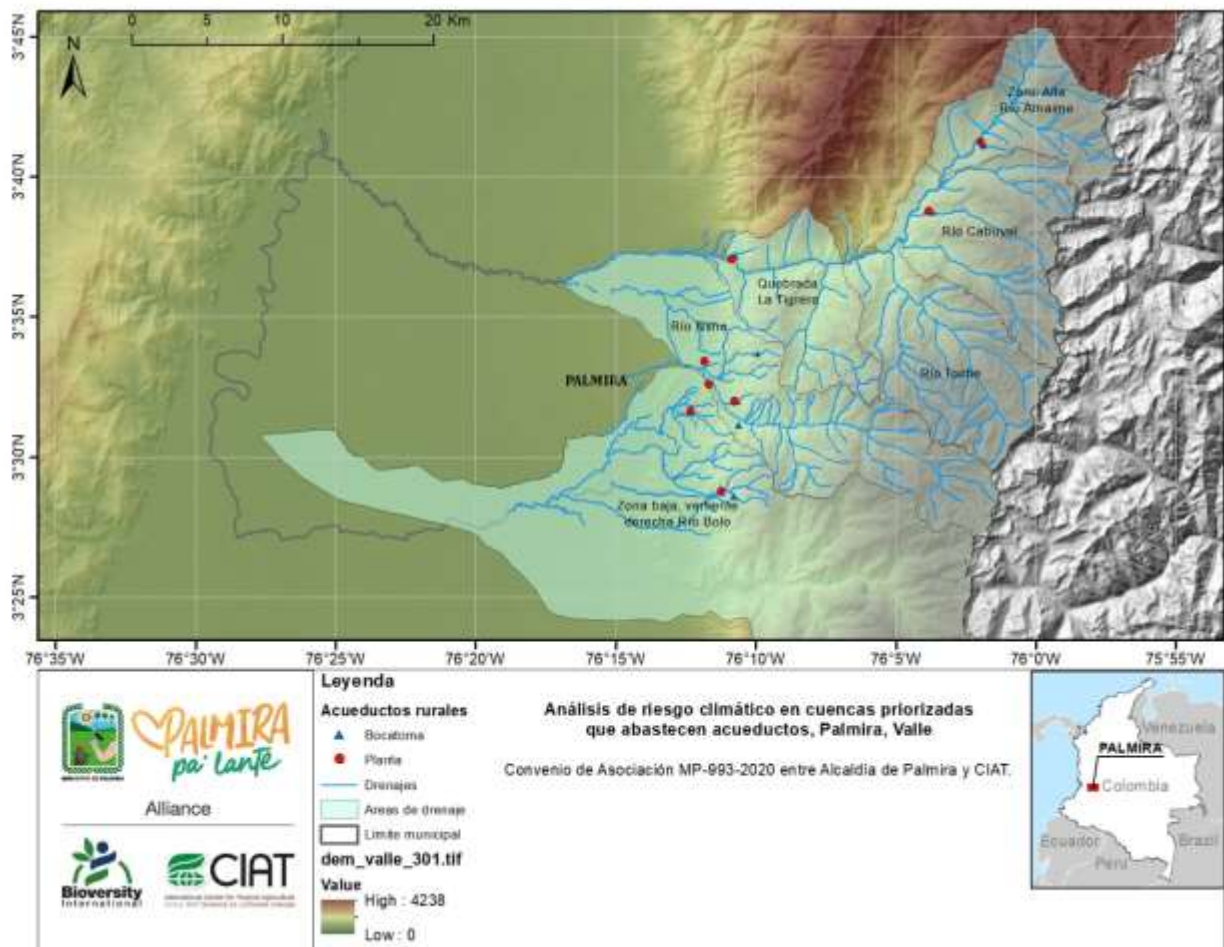
La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, en conjunto con el Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT y la Gobernación del Valle, formularon el Plan Integral de Cambio Climático a nivel departamental, lanzado en el año 2019 y adoptado mediante el decreto No 1-3-1646, en octubre del 2020. Dicho plan incluye un análisis hidrológico por medio de SWAT en el que se establecieron cambios en la producción hídrica respecto al escenario RCP 4.5 proyectado para 2040. Haciendo uso de esta información de línea base se realizó una modelación hidrológica en la que se priorizó las áreas hidrográficas que hacen parte de los 8 acueductos rurales de los corregimientos de Barrancas (centro poblado), La Zapata (centro poblado), Ayacucho (vereda La Buitrera), Calucé (centro poblado), Potrerillo (centro poblado), Tablones (vereda Taurete), Toche (vereda Teatino) y Combia (centro poblado).

Se realizó una modelación hidrológica sobre las áreas de drenaje que surten los acueductos rurales nombrados anteriormente, en dicha evaluación se analizaron las condiciones de producción hídrica bajo condiciones actuales, al igual que se evaluaron las respuestas del modelo ante un escenario de cambio climático; debido a la naturaleza del modelo fue posible georreferenciar las salidas y comparar de manera gráfica los cambios en la producción hídrica como respuesta a ajustes en el clima de acuerdo con el RCP 4.5 para el año 2040.

Zona de estudio

El municipio de Palmira se encuentra localizado en la región sur del Departamento del Valle del Cauca. Cuenta con un área de 1.162 Km², el 98.3% perteneciente a la zona rural y el 1.7% a la zona urbana. Limita al norte con el municipio del Cerrito; al este con el departamento del Tolima; al sur con los municipios de Pradera y Candelaria; y al oeste con los Municipios de Cali, Yumbo y Vijes. La temperatura media es de 23°C, aunque presenta una variación de acuerdo a los pisos altitudinales y puede variar entre los 23°C en la parte plana, 18°C en la ladera media, 12°C en la parte alta y 4°C promedio anual en la zona de páramo (Palmira A. d., 2019).

La compleja red hídrica está compuesta por ríos y quebradas que nacen en la alta montaña de la Cordillera Central y que finalmente desembocan en el río Cauca en la zona plana del municipio. Este sistema está compuesto principalmente por las zonas hidrográficas del río Amaime y el río Guachal, este último conformado a su vez por los ríos Bolo, Fraile y Parraga. Dentro de la región delimitada para la evaluación del riesgo climático en cuencas abastecedoras de acueductos rurales, sobresale el río Nima cuya importancia es estratégica para el abastecimiento del acueducto municipal, de igual manera se consideran los ríos Toche y Cabuyal, la zona alta del río Amaime, la quebrada La Tigrera y parte de la zona baja del río Bolo (Mapa 1).



Mapa 1. Zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Áreas de drenaje de las subcuencas que conforman las cuencas de Amaime y Guachal.

Cuenca	Subcuenca	Área de drenaje (ha)
Amaime	Zona alta río Amaime	3.686
	Zona baja río Amaime	31.812
	Río Cabuyal	9.564
	Quebrada La Tigresa	6.091
	Río Toche	10.798
	Río Nima	16.714
Guachal (Bolo - Fraile)	Río Aguaclara	7.705
	Zona baja río Bolo	4.954
	Zona baja río Fraile	3.328

Cuenca	Subcuenca	Área de drenaje (ha)
	Zona baja río Guachal	4.881

Fuente: (Palmira A. d., 2019).

Río Nima: Nace en el PNN Las Hermosas a una altura de 3.700 msnm en la Laguna Santa Teresa. Pertenece a la cuenca del río Amaime. Su torrente confluye al río Amaime a una altura que oscila entre los 1.000 y 1.050 msnm, y estos a su vez desembocan en el río Cauca. El caudal se inicia en una serie de lagunas naturales y un lago artificial, enclavados en las estribaciones de la cordillera. Hacia este río drenan los siguientes afluentes: Los Cuervos, La María, El Salado, Aguazul, Albania, Los Cuzumbos, Esmeralda, Aguabonita, Robles, El Rincón, El Cofre, Los Añascos y Los Negros (POT, 2014), como se citó en (Palmira A. d., 2019).

Río Toche: Nace en el PNN las Hermosas a una altura de 3.900 msnm y desemboca directamente en el río Amaime a una altura de 1.600 msnm aproximadamente, perteneciente a la subcuenca del río Toche. Respecto a la situación ambiental, en la subcuenca se presenta tala de la cobertura boscosa dejando descubierto el suelo, procesos erosivos, áreas de bosque natural presionadas por la expansión de la frontera agrícola y ganadería extensiva de leche y de levante de ganado que llega incluso a las partes más cercanas a la zona de páramo (CVC, 2013), como se citó en (Palmira A. d., 2019), p.30.

Río Cabuyal: Nace a una altura de 3.600 msnm en el PNN Las Hermosas y tributa al río Amaime a una altura aproximada de 1.600 msnm, perteneciente a la subcuenca que lleva su mismo nombre, esta subcuenca presenta varios procesos erosivos, en la zona baja de la subcuenca, donde la cobertura encontrada es pastos en las márgenes del río, dejándolo desprotegido (CVC, 2013), como citó la Alcaldía de Palmira (2019).

Río Amaime: su cuenca es la de mayor extensión en el Municipio de Palmira. De sus 104.290 hectáreas, 78.217 corresponden al Municipio de Palmira y el 25% restante al Municipio de El Cerrito. Tradicionalmente se ha considerado como cuenca la zona alta y media entre los 4.100 msnm y los 1.200 msnm o pie de loma. La cuenca posee cerca de 10.000 hectáreas en los Páramos de Las Hermosas y Los Domínguez. Los valles glaciares protegen veinte lagunas en los nacimientos de los afluentes del río y representan la mayor riqueza hídrica del Municipio. En los últimos años el establecimiento de la Central Hidroeléctrica Amaime y la proliferación de la minería ilegal para extracción de oro son dos factores que se suman a los ya considerados en la Cuenca del Río Nima (POT, 2014), como citó la Alcaldía de Palmira (2019).

Quebrada la Tigra: Nace a una altura de 2.600 msnm y tributa al río Amaime a una altura aproximada de 1.450 msnm, perteneciente a la subcuenca de su mismo nombre. En la microcuenca se presenta: tala de bosque a potreros que han generado la erosión tipo pata de vaca que afecta los caudales hídricos de la cuenca, descarga de aguas contaminadas del corregimiento de Combia y sedimentos por ganadería extensiva, y extracción de materiales del río. En el nacimiento se observan zonas de bosques plantados y pastos. En la zona protectora de la quebrada, se encuentra que las márgenes de la corriente están totalmente desprotegidas (1.800 a 1.850, 1.400 a 1.450 msnm), en la desembocadura tiene zonas en bosque natural (CVC, 2013), como citó la Alcaldía de Palmira (2019).

Precipitación media mensual

Lo valores de precipitación promedio de acuerdo con la base climática 1989 – 2014, oscilan entre 175 mm (noviembre) y 40 mm (julio), los picos superiores están representados principalmente por los meses de abril y noviembre con 170 mm y 175 mm, respectivamente, representando las dos épocas lluviosas presentes en el municipio. De acuerdo con la Figura 1, la primera temporada de lluvias se presenta durante los meses de marzo, abril y mayo; la temporada más seca del año se da durante los meses de junio, julio y agosto, siendo julio el mes con menor precipitación del año; finalizando septiembre comienza la segunda temporada de lluvias presentando los mayores picos del año en octubre y noviembre; finalmente disminuyen las precipitaciones en diciembre, enero y febrero, con valores muy próximos al promedio mensual interanual.

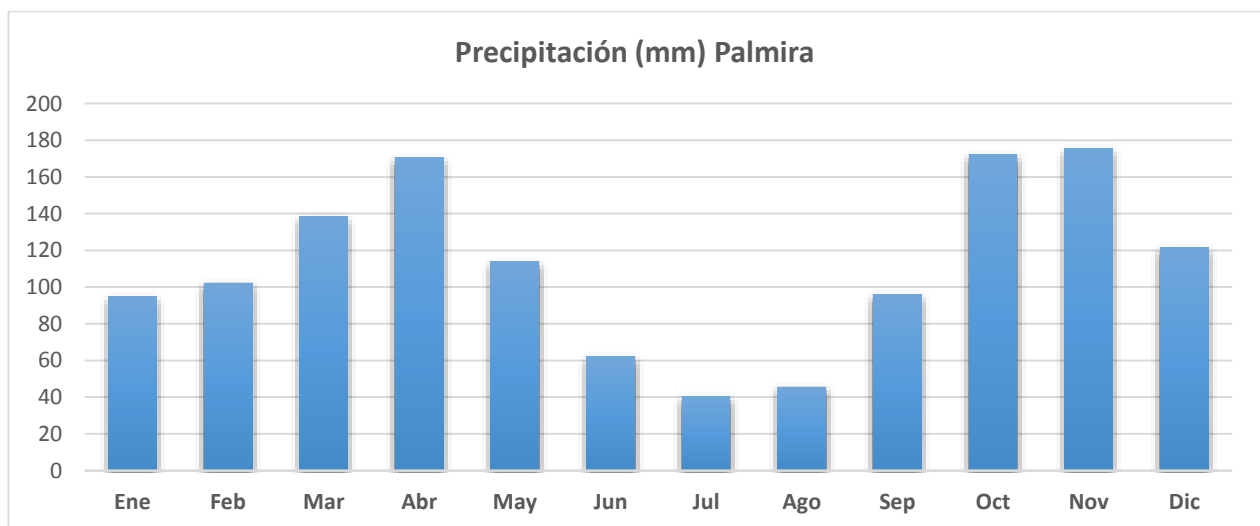


Figura 1. precipitación media mensual (mm)

Espacialmente las mayores precipitaciones se concentran en la zona centro del municipio, en especial en las veredas: Tablones, Potrerillo, Calucé, La Zapata, Ayacucho – La Buitrera, Boyacá,

Tienda Nueva, Barrancas Guayabal y Ayacucho; la excepción se presenta en los meses de junio, julio y agosto, donde se presentan las menores precipitaciones en la mayor parte del territorio con valores por el orden de los 60 mm mensuales, sin embargo, los papeles parecen invertirse en las zonas altas de las veredas de Combia, Toche y Tenjo, donde la precipitación mensual es de 130 mm en promedio, mientras tanto, las zonas planas presentan las menores precipitaciones que se registran en el año. en la Figura 2 es posible apreciar la distribución espacial de la precipitación para cada mes con información de línea base.

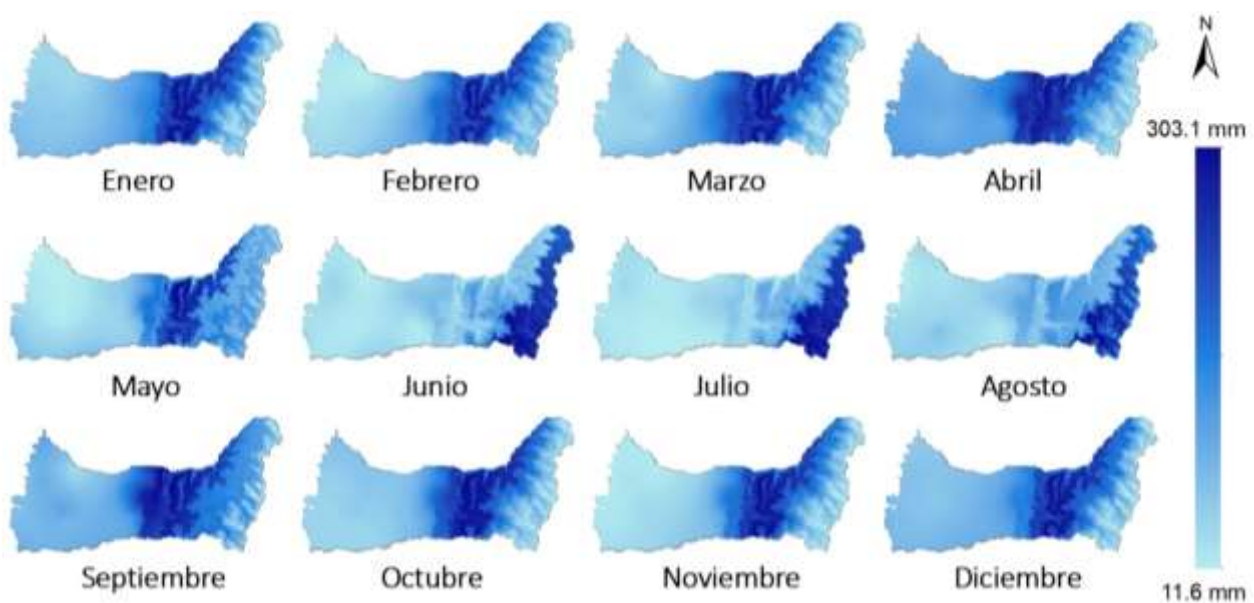


Figura 2. Precipitación promedio mensual.

Fuente: CVC y CIAT (2017)

La temperatura media del municipio presenta una distribución espacial sin mayores cambios entre meses, de acuerdo con la Figura 3 las mayores temperaturas se presentan en la zona plana del municipio con temperaturas que varían entre 25 y 23 °C; por otro lado, en la zona baja de las veredas de Combia, Toche, Tenjo y Ayacucho, la temperatura es del orden de los 16 °C, y en las zonas altas de las mismas veredas se presentan las temperaturas más bajas, alcanzando en algunas zonas hasta los 7 °C.

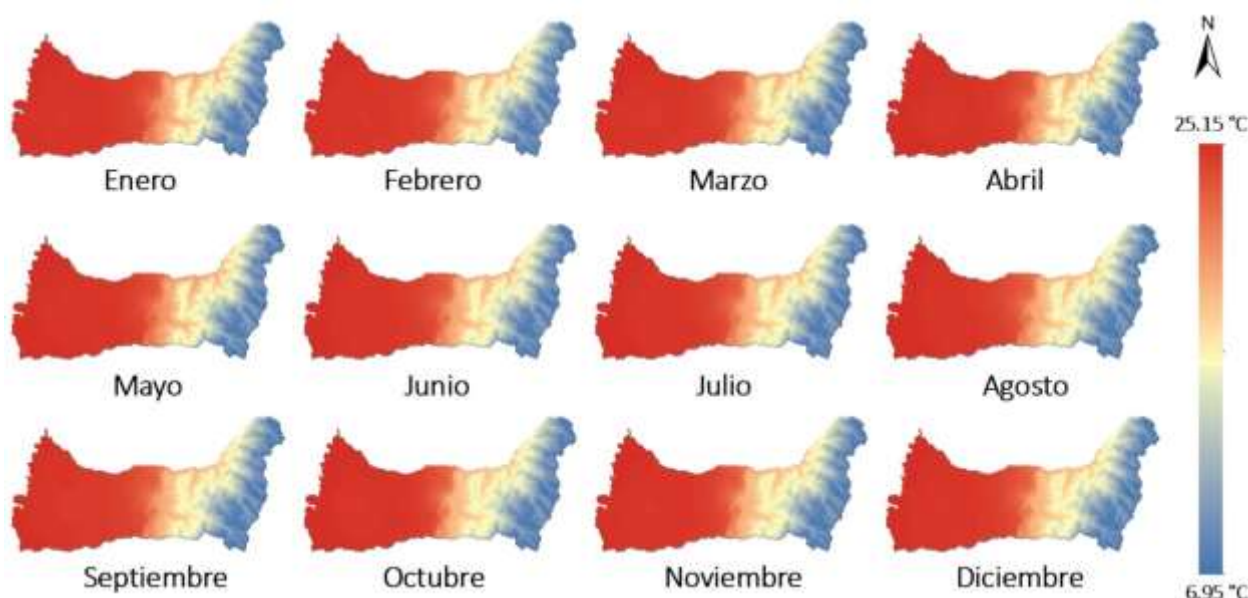


Figura 3. Temperatura media mensual.

Fuente: CVC y CIAT (2017)

Definición de la metodología de análisis y recolección de información.

Una vez se estableció la zona de interés de acuerdo con los corregimientos a estudiar, se realizó la respectiva revisión de la información base para la modelación hidrológica, donde se determinó que para efectos de dicho análisis se incluiría como insumo la información biofísica procesada mediante el convenio 081 de 2017 entre la Corporación Autónoma del Valle del Cauca y CIAT, puesto que es la información a mejor escala procesada para dichos fines y que cumple con la espacialidad requerida.

Descripción del modelo hidrológico (Soil and Water Assessment Tool) SWAT

Dada la versatilidad de esta herramienta para la proyección de cambios hidrológicos derivados del cambio climático, se realizó una modelación hidrológica con SWAT bajo condiciones de línea base y posteriormente con el escenario RCP 4.5 proyectado a 2040.

SWAT es una herramienta desarrollada por el USDA-ARS (Agricultural Research Service de Estados Unidos) y ha sido ampliamente utilizada para simular distintos procesos hidrológicos considerando cierto nivel de heterogeneidad espacial y temporal. Con las evaluaciones realizadas por este modelo es posible evaluar la oferta y la demanda hídrica tanto en la actualidad como en el futuro, facilitando la generación de políticas de conservación y manejo de cuencas hidrográficas. El modelo es utilizado

esencialmente para la modelación del componente biofísico de las cuencas, a partir de la interacción entre variables relacionadas con la topografía, suelos, cobertura e información hidrometeorológica. Adicionalmente, SWAT es un modelo continuo en el tiempo, es decir que funciona a largo plazo y no es idóneo utilizarlo para modelar eventos de flujo detallado; está compuesto por diferentes sub modelos, entre ellos la escorrentía superficial (método SCS- Curver Number); erosión (método MUSLE), prácticas agrícolas y manejo del suelo, evapotranspiración, entre otros. Es un modelo semi-distribuido, por lo tanto, el análisis se divide en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs, por siglas en inglés), lo que lo hace útil para modelar cuencas con amplia variación de suelos, uso de suelo y condiciones de manejo. El balance hídrico es simulado para intervalos diarios durante un periodo continuo de tiempo, basado en la ecuación general de balance hídrico (Ecuación 1) (Arnold, 1998).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Ecuación 1. Ecuación general de balance hídrico.

Donde:

SW_t : Contenido final de agua en el suelo (mm H₂O).

SW_0 : Contenido de agua inicial en el día i (mm H₂O).

t : Tiempo (día).

R_{day} : Precipitación en el día i (mm H₂O).

E_a : Evapotranspiración en el día i (mm H₂O).

Q_{surf} : Escorrentía superficial o exceso de lluvia en el día i .

W_{seep} : Agua acumulada en la zona no saturada del perfil del suelo en el día i (mm H₂O).

Q_{gw} : Flujo de retorno en el día i (mm H₂O).

SWAT precisa de una amplia información de entrada referente al clima, suelo, cobertura y condiciones topográficas, por nombrar algunas de las variables se tiene: radiación solar, temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento; propiedades del suelo como: textura, grupo hidrológico, profundidad, densidad aparente, entre otros; al igual que datos adicionales respecto a la vegetación y prácticas de manejo, como se observa en la Figura 4, donde se presenta el diagrama de flujo metodológico para la modelación hidrológica en SWAT (Neitsch, 2011).

Al tratarse de un modelo matemático, las simulaciones implican incertidumbres generadas principalmente por errores que se puedan presentar en las variables de entrada, por limitaciones propias del modelo para representar procesos físicos en determinadas condiciones ambientales, o

por la incertidumbre que pueda generar el cálculo de los parámetros por parte del modelo, es importante tener presente que la mayor incertidumbre puede generarse luego del ajuste automático de los parámetros para la calibración del modelo (Tucci, 2005).

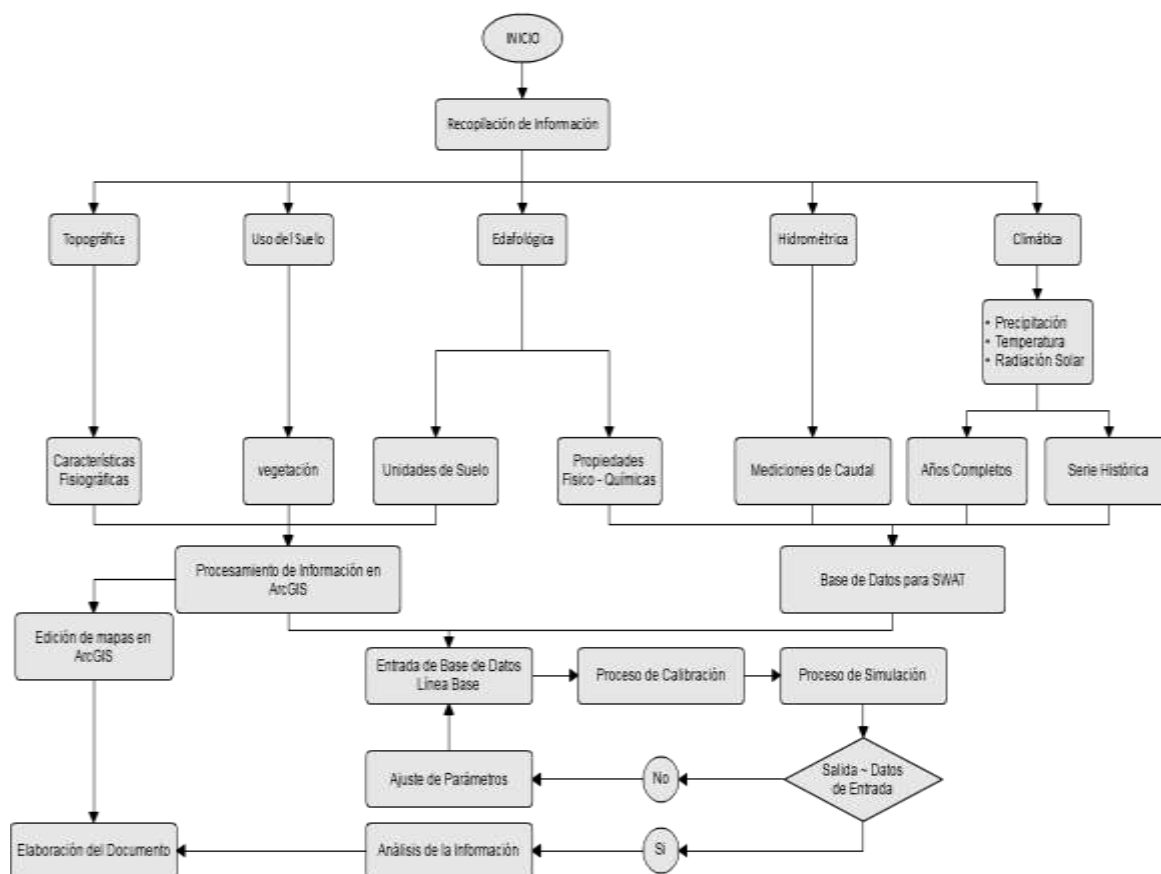


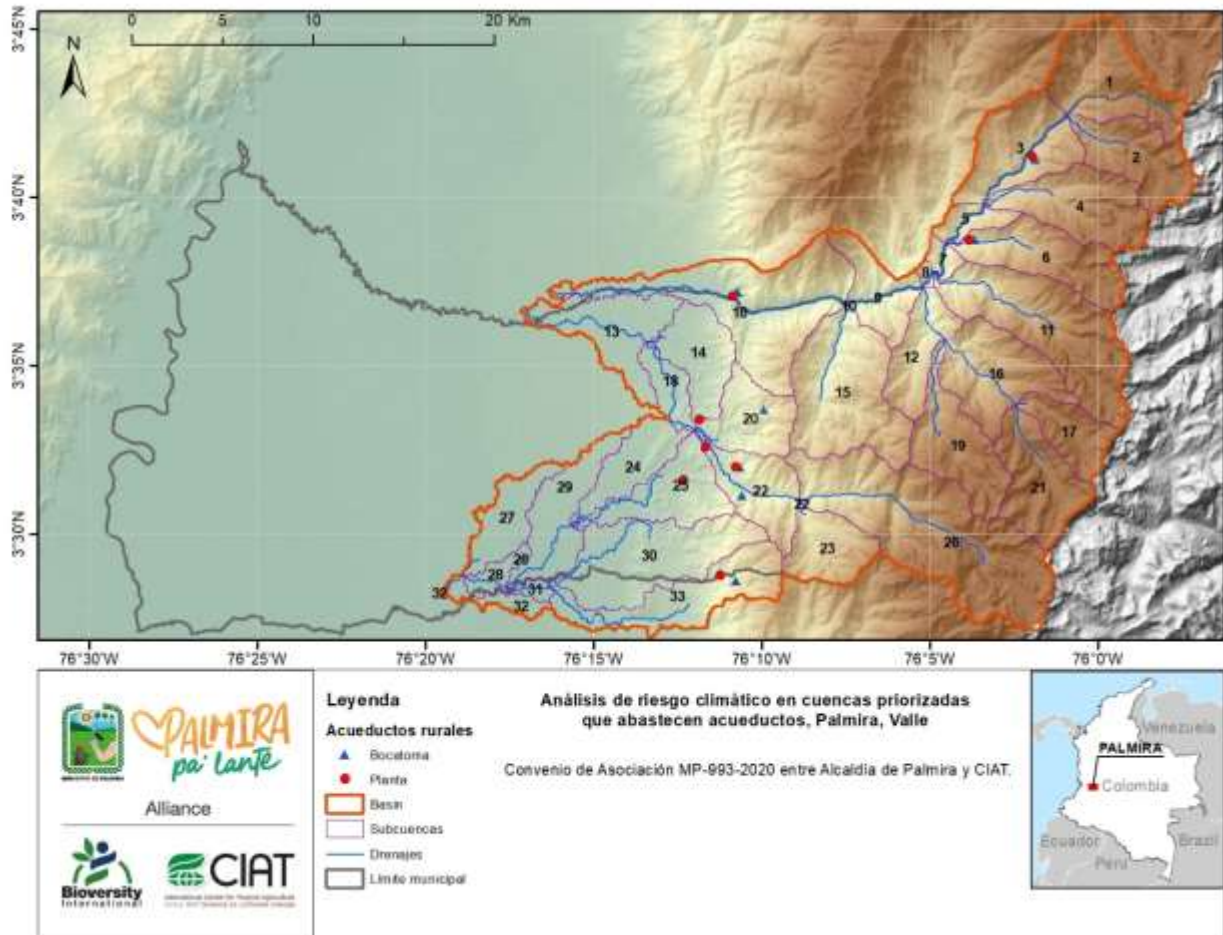
Figura 4. Diagrama de Flujo metodológico en la modelación SWAT.

Fuente: Neitsh (2011)

Modelación hidrológica bajo condiciones de línea base

La modelación hidrológica de las cuencas que hacen parte de los drenes que alimentan a los acueductos rurales de los corregimientos de Barrancas, La Zapata, Ayacucho La Buitrera, Calucé, Potrerillo, Tablones, Toche y Combia; incluyó el área de drenaje de los ríos Nima, Toche, Cabuyal, zona alta río Amaime, quebrada La Tigrera y la zona baja de la vertiente derecha del río Bolo (Mapa 1). La delimitación del área hidrográfica de interés se hizo considerando el área definida en el Mapa 1 y la ubicación de las bocatomas y desarenadores de dichos acueductos, como resultado se obtiene el Mapa 2, en el cual se incluye el área prevista para la modelación donde se generaron 33

subdivisiones por subcuenca de acuerdo con el mapa digital de elevación, el detalle de los drenes que incluye cada subcuenca está consignado en la Tabla 7 de los anexos.



Mapa 2. Delimitación de áreas de drenaje para el análisis.

Fuente: Elaboración propia.

Información de entrada para el modelo

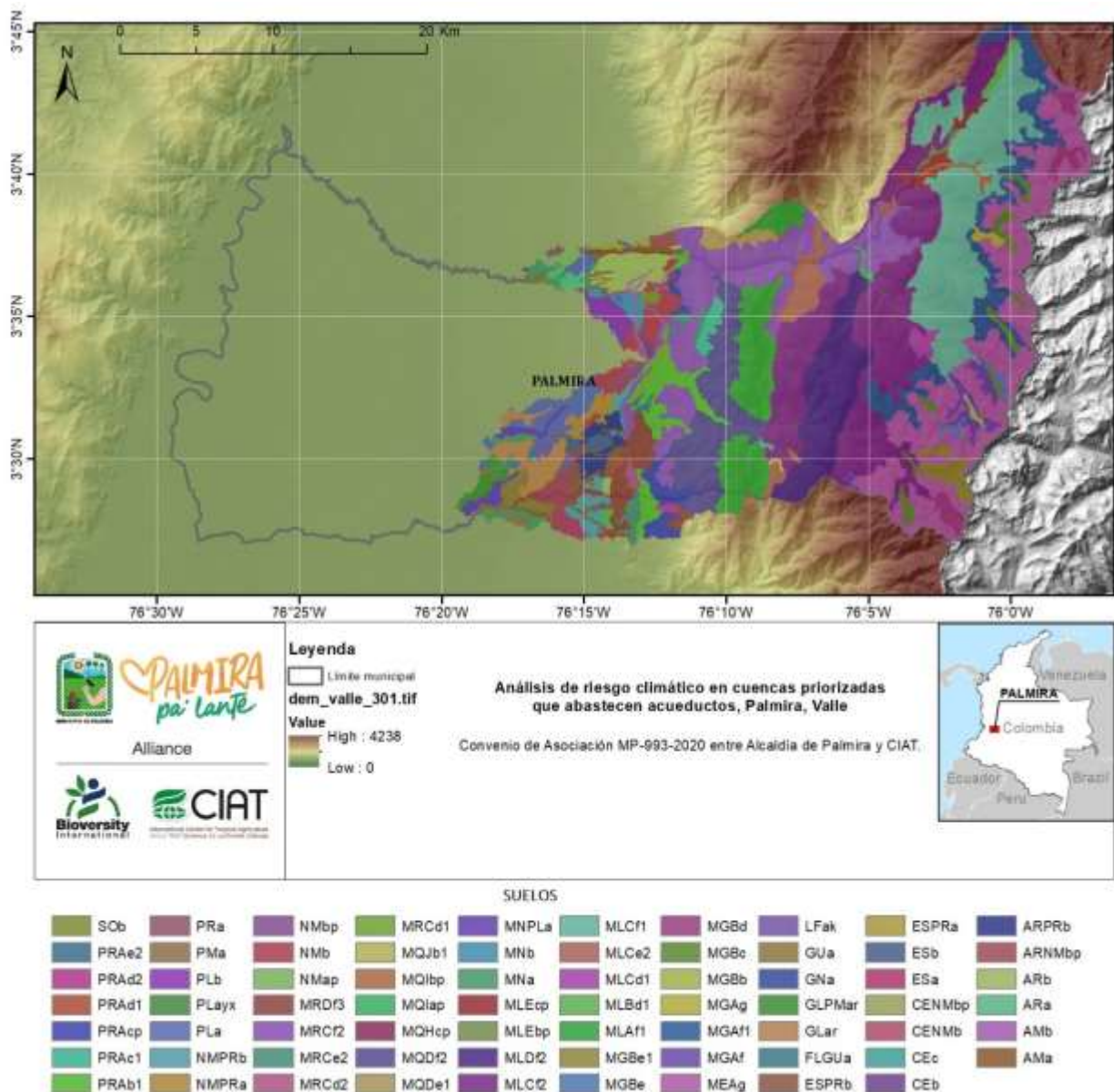
La información cartográfica y las bases de datos de entrada para el modelo fueron recolectados a partir de los datos procesados para la modelación hidrológica a nivel departamental generada durante el convenio 084 del 2017 entre CVC y CIAT (Tabla 2).

Tabla 2. Información seleccionada para la modelación SWAT.

Nombre	Formato	Descripción
DEM (Modelo Digital de Elevación)	GRID	SRTM 1 ASTER resolución 30m
Mapa de cobertura y Uso del Suelo	Shape (.shp)	Corine Land Cover adaptado por CVC (uso del suelo), 1:25.000.
Mapa de suelos	Shape (.shp)	- Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca, Escalas 1:25.000 y 1:50.000. - Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Cauca, Escala 1:100.000
Información hidroclimatológica	Texto (.Txt)	Registro diario de Estaciones Hidrometeorológicas (Precipitación, Temperatura máxima y mínima y aforos de caudal), suministrada por IDEAM.

Dado que el modelo requiere una amplia gama de información espacial y datos descriptivos, es necesario recabar información de diferentes fuentes y ajustarla de acuerdo a las exigencias del modelo. Entre los principales proveedores de información se encuentra el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). A continuación, se presenta a detalle la información cartográfica recolectada y pre procesada para esta modelación en particular:

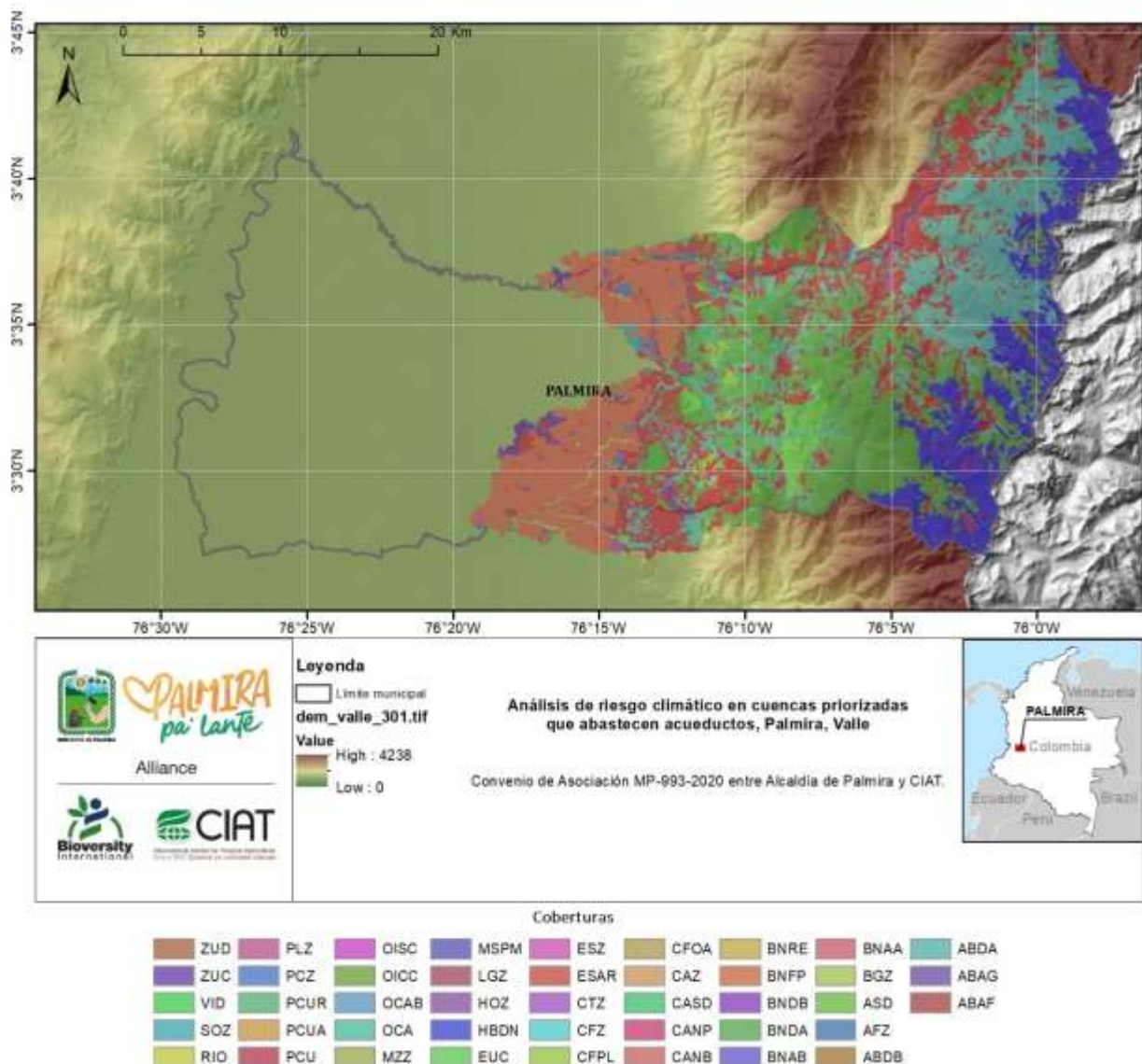
Suelos: SWAT requiere de información georreferenciada de los suelos de la zona de estudio, para este fin se utilizaron mapas en formato shape (.shp), al igual que las memorias técnicas asociadas a los estudios de suelos. En el Mapa 3 se representan los suelos localizados en la zona alta y media del municipio de Palmira que hacen parte del estudio de suelos departamental para el Valle del Cauca cuya escala de levantamiento es de 1:25.000 en zona plana y 1:50.000 en zona de ladera, desarrollado por la CVC y el IGAC en el año 2004. En total se procesaron 69 diferentes clases de suelos.



Mapa 3. Suelos en la parte alta y media del municipio de Palmira.

Fuente: Elaboración propia con información de IGAC y CVC (2004).

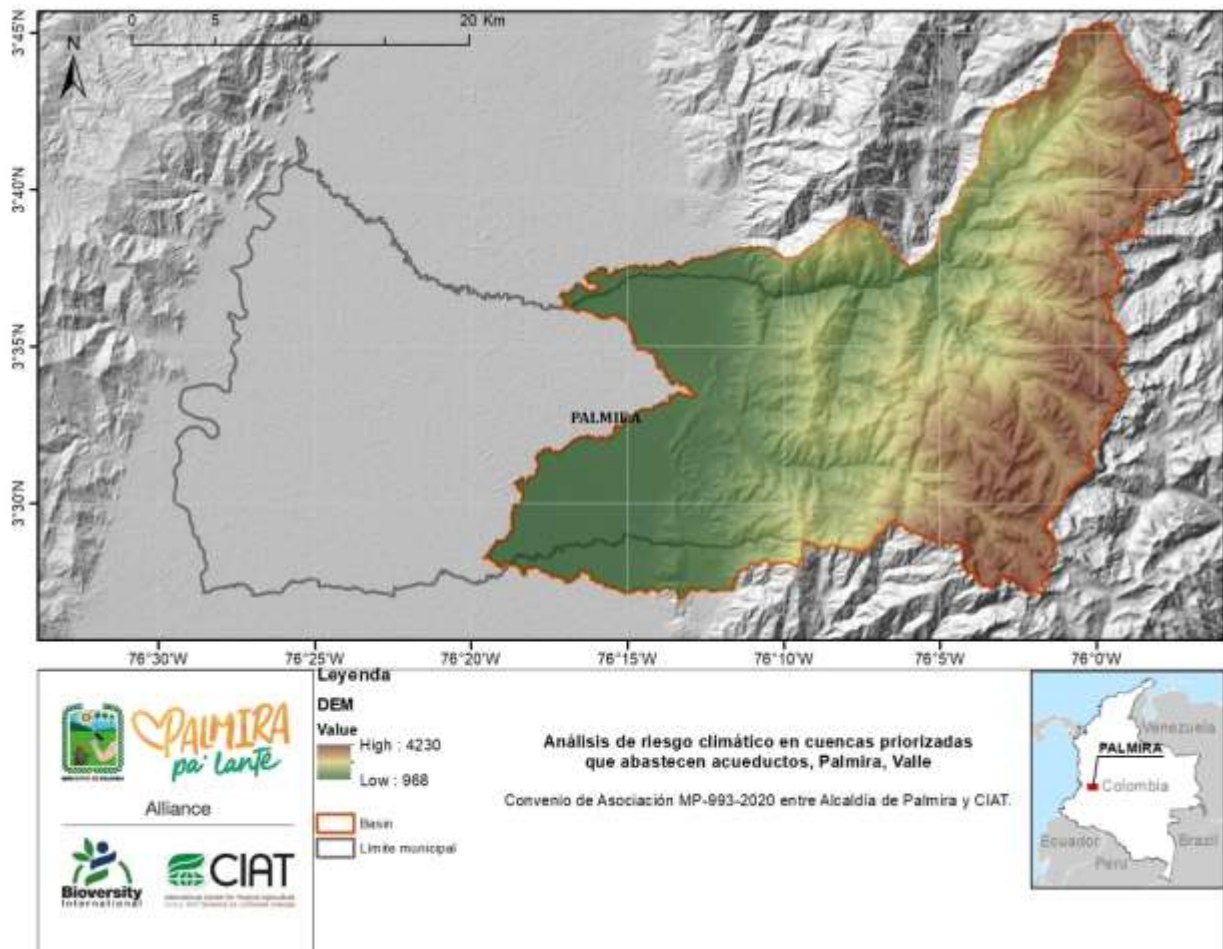
Cobertura: La información cartográfica utilizada para representar la cobertura en el modelo hidrológico se generó a partir de los mapas de cobertura Corine Land Cover para el año 2010 en formato shape (.shp) ajustados por CVC para el Valle del Cauca (Mapa 4).



Mapa 4. Cobertura vegetal de la parte alta y media del municipio de Palmira.

Fuente: Elaboración propia con información de CVC.

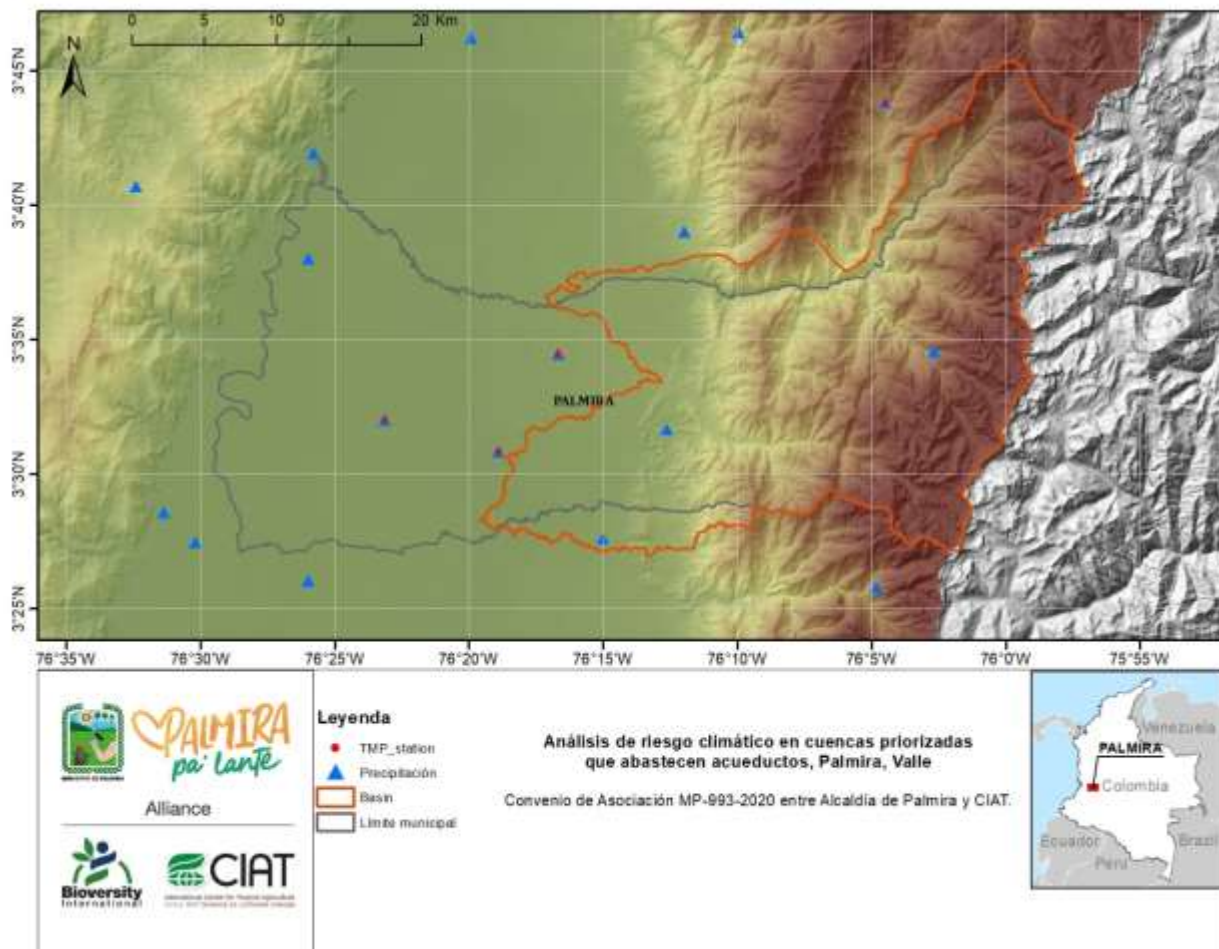
Modelo digital de elevación: El modelo digital de elevación es usado por el modelo hidrológico para el cálculo de la red hídrica de las cuencas, para este fin se contó con el (DEM) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución espacial de 30m, que hace parte de la base de datos de CIAT (Mapa 5).



Mapa 5. Modelo digital de elevación.

Fuente: Elaboración propia (SRTM 1 ASTER resolución 30m).

Información climática: Para la generación de la línea base climatológica que requirió el modelo hidrológico, se utilizaron estaciones meteorológicas de IDEAM, CVC y Cenicaña (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia) y se distribuyeron sobre la zona de estudio de acuerdo al Mapa 6. De parte de IDEAM y CVC se obtuvieron datos de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, mientras que los datos proporcionados por Cenicaña fueron netamente precipitación.



Mapa 6. Estaciones climáticas IDEAM y CVC.

Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento de la información

Los datos cartográficos fueron re proyectados al sistema de referencia MAGNA Colombia Oeste, con proyección Transversal Mercator, latitud origen de 4.59° Norte, longitud origen de 77.077° Oeste, coordenadas falsas N: 1'000.000 m y E: 1'000.000 m y EPSG: 3115. La información espacial fue recortada y ajustada a la zona de interés con el fin de optimizar el procesamiento de los datos.

Asignación de la cobertura vegetal y uso del suelo: Se relacionaron los códigos de las coberturas de las bases de datos de SWAT con las coberturas de la zona de estudio, con el fin de encontrar coberturas por defecto de la base de datos SWAT que pueden ser homologadas a las coberturas de la zona debido a una alta compatibilidad, las demás coberturas se crearon en la base de datos SWAT

Alianza

y los principales parámetros fueron ajustados con el fin de representar mejor las condiciones particulares de la zona.

Edición de la información de suelos: Se contó con información físico-química de los estudios de suelos por parte del IGAC y CVC para el Valle del Cauca, sin embargo, variables como: conductividad hidráulica saturada, densidad aparente y disponibilidad de agua en el suelo, se determinaron mediante el uso del triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool” (Saxton, Rawls, Romberger, & Papendick, 1986).

Estructuración de la Información climatológica: se seleccionaron estaciones que cuentan con un número satisfactorio de datos, además de una buena calidad y continuidad de la información de precipitación y temperatura, se completaron datos faltantes con apoyo de información satelital de la base de datos climatológica de **CHIRPS** por sus sigla en inglés “The Climate hazards infrared precipitation with stations” (Funk, 2015), estos datos ya han sido interpolados para Colombia y por lo tanto representan satisfactoriamente el comportamiento de la precipitación a nivel diario.

Calibración y validación del modelo hidrológico.

Dada la escasa información hidrométrica de la zona, se tomó la determinación de utilizar el ajuste de los parámetros de acuerdo a la versión calibrada y validada de SWAT para el Valle del Cauca en la modelación hidrológica del área hidrográfica del río Cauca, realizada en el marco del Plan Integral de Cambio climático para el Valle del Cauca – PICC (CVC, Secretaría de Ambiente, & CIAT, Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca PICC, 2018).

Modelación de escenario de Cambio Climático.

El escenario de línea de base planteado para esta modelación incluye información climática diaria desde 1981 hasta el 2015, esta evaluación permitirá conocer las dinámicas hidrológicas actuales que podrán contrastarse con los resultados de la evaluación bajo condiciones del escenario de cambio climático seleccionado que para este caso es el RCP 4.5 para el año 2040 y conocer principalmente los cambios en el aporte al recurso hídrico por parte de las HRU. Esta información será de vital importancia para determinar riesgos climáticos asociados con la disponibilidad hídrica para las zonas en cuestión.

De acuerdo con el escenario de cambio climático RCP 4.5 para el año 2040 (Figura 5), se proyecta un pequeño aumento de la precipitación promedio para los meses de junio y julio, la segunda temporada de lluvias presentará una disminución marcada en todos los meses, en especial en

septiembre; agosto que es uno de los meses con más bajas precipitaciones, se proyectan mayores disminuciones. Por otro lado, en la primera temporada de lluvia se proyectan disminuciones en marzo y mayo, abril por su parte siendo el mes que mayores precipitaciones presenta, se prevén incrementos de hasta el 15 % respecto a las condiciones actuales. La temperatura máxima y mínima evidencian un ligero incremento en todos los meses, pero presenta un incremento sobresaliente en la época seca en especial en los meses de junio y julio, de igual manera se evidencia un incremento al inicio de la primera temporada lluviosa en el mes de marzo.

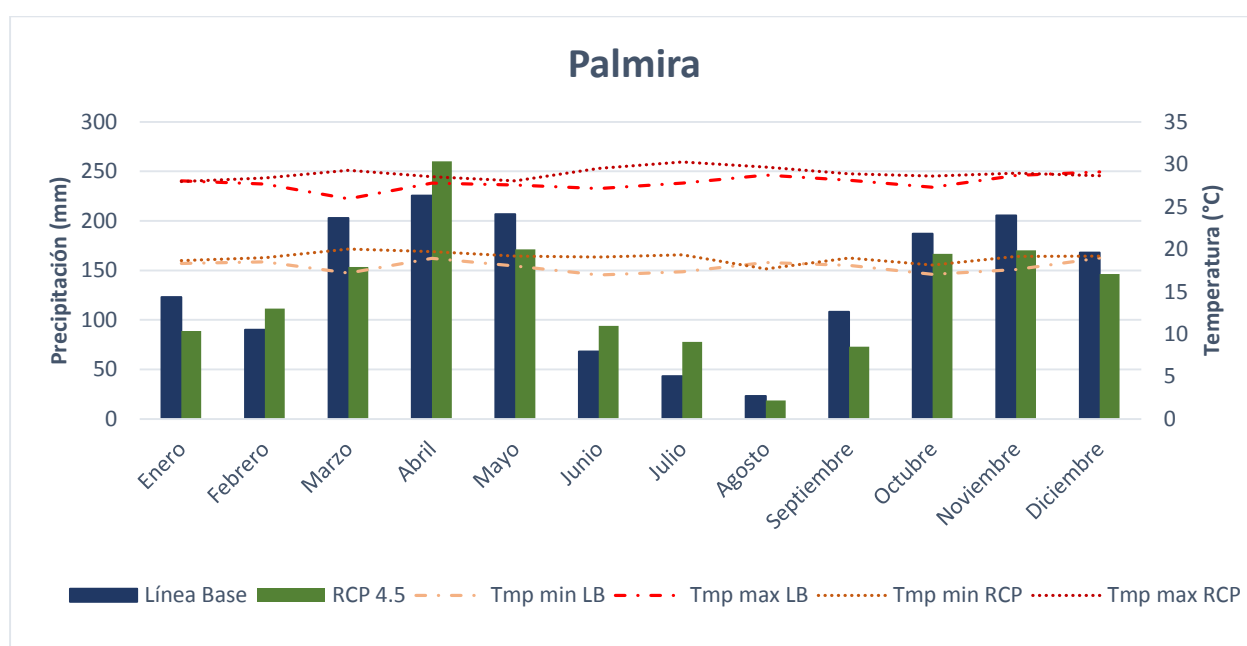


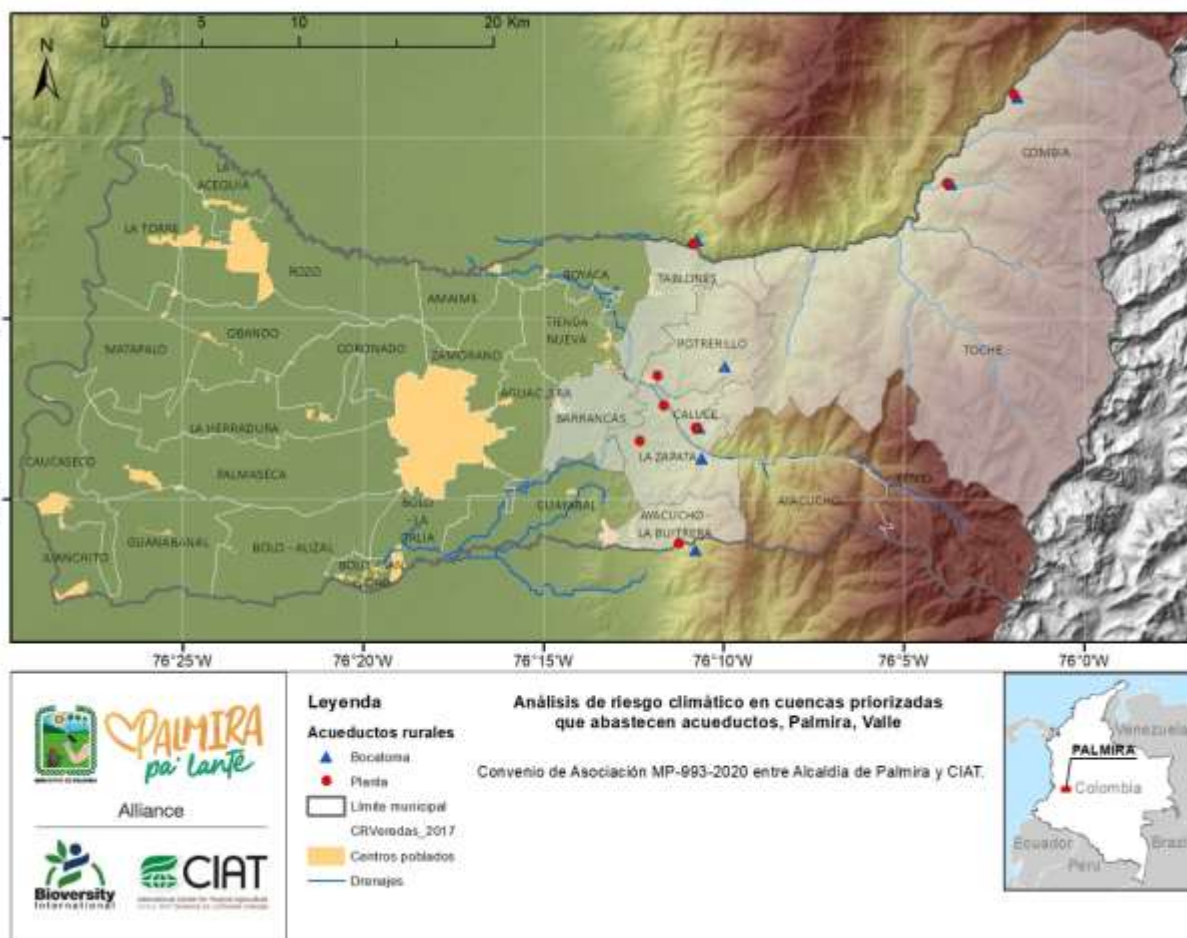
Figura 5. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en el municipio de Palmira (estación: Alcaldía de Palmira).

Fuente: Plan Integral de Cambio climático para el Valle del Cauca (CVC, Secretaría de Ambiente, & CIAT, Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca PICC, 2018).

RESULTADOS

Valoración del entorno y condiciones físicas de los acueductos.

En marco del presente convenio se realizaron visitas de campo a los acueductos rurales con el fin de conocer las condiciones de entorno y el estado actual de los mismos por medio de entrevistas realizadas al personal a cargo, en los corregimientos de Ayacucho, La Zapata, Calucé, Potrerillo, Combia, Toche, Barrancas y Tablones. A continuación de se presenta un resumen de la información recolectada mediante las visitas, las cuales se encuentran georreferenciadas en el Mapa 7.



Mapa 7. Acueductos rurales visitados en los corregimientos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

Acueducto Rural Vereda La Buitrera, Corregimiento Ayacucho

El acueducto rural de la vereda La Buitrera fue visitado el 26 de noviembre de 2020, la fuente hídrica primaria es la quebrada Flores Amarillas, el acueducto es operado por la Asociación de Acueducto y Alcantarillado de Ayacucho La Buitrera E.S.P e iniciaron sus operaciones en el año 1997. Es un acueducto por gravedad, con una bocatoma de captación artesanal, cámaras desarenadoras, cuenta con una planta de potabilización con cloración, un tanque de almacenamiento principal de 150 m³ y dos tanques de reserva de 50 m³ cada uno, al igual que macro medidores de entrada y distribución. La técnica de filtrado es en forma descendente de filtros gruesos a delgados con grava, arena y carbón. La planta tiene una capacidad de 14.8 l/s, que concuerda con el caudal concesionado por la CVC mediante la resolución 0720 No 0721-001158 de 2019, con una vigencia de 50 años, el acueducto beneficia 612 usuarios, que se ve reflejado en aproximadamente 3.055 personas. Desde la puesta en marcha hasta el día de hoy la cantidad de usuarios ha incrementado

sustancialmente, pues inicialmente eran 50 usuarios, lo que incrementa la probabilidad de una sobre demanda del recurso hídrico en los años venideros, toda vez que la población asentada sigue en aumento y desde el momento de la visita ya se reportan problemas de abastecimiento durante épocas de verano, principalmente en los meses de junio, julio, agosto y septiembre; el año 2020 ha sido un año complejo donde se han presentado periodos críticos de desabastecimiento recurrentes, algo similar a lo ocurrido en el año 2014 donde fue necesario realizar racionamientos. Por otra parte, la época en la que se presentan mayores caudales se registra en los meses de diciembre y enero, que en algunas ocasiones repercute en deterioro a la infraestructura del acueducto e incremento en la presencia de sedimentos; a pesar de esto, la población asegura tener una buena protección forestal en la parte alta de la cuenca, lo que impide que las épocas de invierno redunden en consecuencias graves para el sistema de acueducto.



Imagen 1. Acueducto y Alcantarillado de Ayacucho La Buitrera E.S.P (Desarenador).

Fuente: Ovidio Rivera (2020)

Acueducto Rural centro poblado La Zapata, Corregimiento La Zapata

La visita al acueducto rural se realizó el 26 de noviembre de 2020, la fuente hídrica primaria es la quebrada La Honda y el operador es Acuaarzap, cuya operación inició en el año 2007. El acueducto consta de bocatoma, desarenador, tubería en PVC, tanque de almacenamiento, sistema de cloración y micro medidores para usuarios. La técnica de filtrado es por medio de tanque de

quiebre, el caudal requerido por la planta es de 3.5 l/s y la capacidad de operación es de 2.5 l/s para beneficiar 85 usuarios que representa un aproximado de 500 personas, de acuerdo con CVC, el acueducto no cuenta con concesión de aguas vigente, el número de usuarios incrementó en un 23% respecto al inicio de operaciones, dicho incremento ha significado que alrededor de 20 usuarios no puedan abastecerse de agua potable, principalmente en los meses de mayo, junio, julio y agosto; el año 2020, se ha caracterizado por presentar una baja significativa en la disponibilidad del recurso. Por otro lado, la época de mayores caudales se registra en el mes de abril donde a su vez se presenta un incremento de sedimentos que afecta directamente al sistema de abastecimiento; de acuerdo con el entrevistado, la parte alta de la cuenca cuenta con una buena cobertura forestal que ayuda a proteger el recurso, sin embargo, mencionan problemas con plantaciones forestales para la producción de cartón que probablemente están demandando más agua de lo usual, afectando el caudal disponible en las fuentes hídricas, esto lo aseguran debido a que la fuente de agua principal se ha secado reiteradamente durante el año 2020. De igual manera expresaron preocupación con el incremento de la ganadería en la parte alta de la vereda el Llanito y con la inadecuada disposición de aguas residuales derivadas prácticas porcinas. Según el informe realizado por el Observatorio de Salud Pública (Rocancio, Gutiérrez, & Bocanegra, 2020), el acueducto se encuentra en buenas condiciones, sin embargo, destacan la importancia de atender nuevos usuarios por medio de la ampliación de las condiciones del acueducto, los usuarios aseguran que cuentan con una fuente alternativa de agua en la quebrada El Vaquero.



Imagen 2. Planta de cloración y tanque del acueducto rural Acuaarzap.

Fuente: Ovidio Rivera (2020)

Acueducto Rural centro poblado Calucé, Corregimiento Calucé

La visita al acueducto rural se realizó el 27 de noviembre de 2020, la fuente hídrica primaria corresponde a la microcuenca Los Naranjos, el acueducto inició operaciones en el año 1987 y es operado por Asoaveaguascaluce; cuenta con una bocatoma transversal, tubería de PVC, desarenador, filtro, planta de potabilización con cloración, tanque de 56 m³ y 13 micro medidores de prueba; la técnica de filtrado es por medio de un tanque de quiebre y filtración con carbón activado y grava. El agua requerida por la planta es de 4.2 l/s, cuenta con una concesión vigente mediante la resolución 0720 No 0721-00674 de 2017, beneficia un total de 139 usuarios que corresponde aproximadamente a 680 personas. Los encargados del acueducto aseguran que se puede suplir la demanda de toda la comunidad durante todo el año, la época que representa una disminución notoria del caudal disponible se da entre los meses de junio, julio y agosto, los años más críticos fueron 2008 y 2010 donde fue necesario hacer racionamientos. Por otro lado, los mayores caudales se presentan principalmente durante el mes de diciembre y repercute en el incremento de sedimentos, derrumbes, caída de árboles y represamientos. Como fuentes hídricas alternas reportan la quebrada Las Truchas y La Tigra. La micro cuenca que abastece el acueducto

rural cuenta con una cobertura boscosa de aproximadamente el 60% que se ubica en su mayoría en la zona alta. El 2020 ha sido en especial un año con muy bajos caudales, también se han presentado inconvenientes debido al establecimiento de plantaciones forestales en la parte alta de la cuenca en la zona denominada El Socorro, al igual que incendios en la parte alta para el establecimiento de nuevos cultivos. Según Roncancio (2020), es necesario hacer un reajuste en las dimensiones de la conducción o adicionar mecanismos que compensen la falta de presión, adicional es necesario el mejoramiento de los tanques y considerar que al no existir alcantarillado ni PTAR, las aguas residuales son depositadas directamente en el río Nima.



Imagen 3. Bocatoma Asoaveaguascalucé.

Fuente: Ovidio Rivera (2020)

Acueducto Rural centro poblado Potrerillo, Corregimiento Potrerillo

La visita al acueducto se realizó el 27 de noviembre de 2020, la fuente hídrica primaria es la quebrada Los Robles y el operador es el Acueducto rural comunitarios de Potrerillo, cuya operación inició en el año 1987. El acueducto consta de bocatoma, tubería de 4 pulgadas, cámaras de quiebre, zona de cloración y micro medidores. La técnica de filtrado es por medio de cámaras de quiebre, el caudal requerido por la planta es de 12 l/s para beneficiar cerca de 500 usuarios que representa un aproximado de 2.000 personas, de acuerdo con los reportes de la CVC, la concesión de aguas se encuentra en trámite; no presentan problemas de desabastecimiento en épocas de estiaje, las disminuciones en los caudales debido al verano son muy bajas. Por otro lado, en la época de mayores caudales se registran incrementos en los sedimentos. Como fuente alternativa de agua reportan nacimientos en terrenos aledaños. Los entrevistados mencionan que la parte alta de la

cuenca cuenta con una excelente cobertura forestal que ayuda a proteger el recurso, sin embargo, es notorio la presencia de grietas en los tanques de almacenamiento, existen alrededor de 170 solicitudes de conexión que no han sido posible cubrir debido a que excede la capacidad de la planta; esta cuenca también surte el acueducto rural de la comunidad del Vegón, cuya Bocatoma se ubica en la zona alta de la quebrada Los Robles. De acuerdo con Roncancio (2020) el tanque requiere cambio, consideran necesario incrementar la capacidad, para suplir la población que ha incrementado, de igual manera cambiar los filtros y adicionar una planta de tratamiento en la captación de agua. La población no posee alcantarillado, los desechos son depositados directamente en la acequia y después van directamente al río Nima.



Imagen 4. Bocatoma del acueducto rural comunitario de Potrerillo.

Fuente: Ovidio Rivera (2020)

Acueducto Rural centro poblado Combia, Corregimiento Combia

La visita al acueducto se realizó el 30 de noviembre de 2020, la fuente hídrica primaria es la quebrada Los Cuchos y administrado por la comunidad, la operación inició en el año 2012. El acueducto consta de bocatoma, tanque de almacenamiento, trampa de sedimentos y sistemas de

cloración. La técnica de filtrado es por medio de tanque de quiebre, beneficia alrededor de 32 usuarios que representa un aproximado de 100 personas, el número de usuarios ha ido disminuyendo respecto al inicio debido a problemas de orden público, se reporta que el acueducto no tiene la capacidad de suplir el 100% de la demanda a lo largo del año, en especial en los meses de junio, julio y agosto. Por otro lado, la época de mayores caudales se registra en los meses de diciembre, enero y febrero donde a su vez se presenta un incremento de sedimentos que afecta directamente a la bocatoma, en gran parte debido a que no se cuenta con fontanero que pueda realizar mantenimientos periódicos, de acuerdo con los reportes de CVC, no cuenta con una concesión de aguas vigente. Como fuente hídrica alternativa está el río La Rivera. Reportan que la parte alta de la cuenca cuenta con una buena cobertura forestal que ayuda a proteger el recurso, no obstante, manifiestan actividad ganadera mal gestionada, los usuarios se refieren a problemas con conexiones cerradas para uso agrícola, parte de la comunidad no está de acuerdo con el consumo de agua tratada por medio de cloración, el acueducto rural fue establecido solo para suplir la demanda de un proyecto de vivienda ubicado en la zona que beneficia a cerca de 100 personas, lo que quiere decir que el 75% de la población de Combia no tiene acceso a agua potable y toma el agua directamente de las fuentes hídrica por medio de mangueras. Según Roncancio (2020), el acueducto no cuenta con una asociación de usuarios, la comunidad no cuenta con servicio de alcantarillado, por lo cual el 100% de los usuarios usan letrinas, sin embargo existen pozos sépticos para el tratamiento del agua antes del vertimiento al río Amaime.



Imagen 5. Bocatoma, acueducto rural de Combia.

Fuente: Ovidio Rivera (2020)

Acueducto Rural vereda Teatino, Corregimiento Toche

La visita al acueducto de la vereda Teatino se realizó el 10 de diciembre de 2020, la fuente hídrica primaria identificada es la quebrada Teatino, el acueducto es operado por la comunidad e iniciaron operaciones en el año 2015. El acueducto consta de bocatoma, tubería en PVC de 4 pulgadas, tanque desarenador, filtración y sistema de cloración. La técnica de filtrado es por medio de gravas, el caudal requerido por la planta es de 0.78 l/s para beneficiar 10 usuarios que representa aproximadamente de 100 personas e incluye el consumo de la escuela, el acueducto tiene la capacidad de suplir la demanda del recurso durante todo el año, los meses en los que se presentan menores caudales son enero, mayo y junio. Por otro lado, la época de mayores caudales se registra en el mes de diciembre, que, a su vez se presenta un incremento en los sedimentos afectando directamente la bocatoma, en el año 2016 se presentaron daños en la bocatoma debido a la elevación de los caudales. Reportan algunas tomas de agua para uso agrícola y ganadería; a pesar de contar con un sistema de cloración, no lo usan para no incurrir en gastos, de acuerdo con los reportes de la CVC, no cuentan con una concesión de aguas vigente. No disponen de servicio de alcantarillado, por lo cual las aguas servidas se vierten directamente al río Amaime, no existe una asociación consolidada y de acuerdo al estudio realizado por Salud Pública, se requiere una correcta potabilización del agua (Rocancio, Gutiérrez, & Bocanegra, 2020).



Imagen 6. Planta del acueducto rural Teatino en Toche.

Fuente: Ovidio Rivera (2020)

Acueducto Rural Vereda Taurete, Corregimiento Tablones

La visita al acueducto El Taurete se realizó el 7 de diciembre de 2020, la fuente hídrica primaria identificada fue la quebrada El Taurete, la cual cuenta con una concesión de agua bajo la resolución 0720 No 0722-0604 de 2019, otorgado por la CVC con una vigencia de 24 años y un caudal concesionado de 6,5 l/s, el nombre de la asociación es Asociación de usuarios del Acueducto El Taurete e iniciaron operaciones en el año 1985. El acueducto consta de dos bocatomas, desarenador, filtros, tanques de almacenamiento de 280 m³, sistema de cloración y micro medidores. La técnica de filtrado se da por medio de tres capas de grava, el caudal requerido por la planta es de 6.5 l/s, con unas pérdidas por operación del 10% para beneficiar 661 usuarios que representa un aproximado de 3.000 personas, el número de usuarios ha ido incrementándose notablemente, pues inicialmente eran 170, en el 2007 se registraron 320 y en la actualidad cuenta con 661; durante los meses de junio, julio y agosto es usual que se presenten problemas de abastecimiento. Los principales incrementos en los caudales se dan durante el mes de diciembre, que en ocasiones repercute en derrumbes, avalanchas y daños en la infraestructura asociada al sistema de abastecimiento, debido a los altos caudales; en el año 2011 se presentó un incremento de caudal que destruyó la bocatoma. Como fuente alternativa de agua se reporta la cañada el Guayaro que hace parte de Cerrito. A nivel general la comunidad menciona que los consumos de

agua se incrementan los fines de semana, pues tablones se ha convertido en un corredor turístico. A partir del 2017 se hacen racionamientos tres veces por día, el consumo promedio de los usuarios es de 18m³ al mes, la zona se está urbanizando y a la fecha se han presentado 20 solicitudes de conexión que no ha sido posible atender, pues se requiere un tanque adicional para suplir la demanda, además es necesario tomar acciones sobre el mal uso del recurso hídrico, de acuerdo con Roncancio, Gutierrez y Bocanegra (2020). El servicio de alcantarillado es prestado de manera individual por medio de pozos sépticos.



Imagen 7. Desarenado y filtración Asoacueducto El Taurete.

Fuente: Ovidio Rivera (2020)

Acueducto Rural Vereda San Emigdio, Corregimiento La Zapata

La visita al acueducto ASODISS (Asociación para el desarrollo integral y sostenible de San Emigdio) se realizó el 7 de diciembre de 2020, la fuente hídrica primaria es la quebrada Los Caimos, cuya operación inició en el 2008. El acueducto consta de una bocatoma con rejilla, desarenador por quiebre, planta con tres filtros (grava gruesa, mediana y arena fina), cloración por goteo, tanques de almacenamiento y micro medidores para usuarios. El caudal requerido por la planta es de 1 l/s, tiene la capacidad de aportar 2100 m³ por mes; atiende la demanda de 74 usuarios que representa un aproximado de 300 personas; reportan que el acueducto no está en la capacidad de suplir la

demanda actual durante todo el año, pues los problemas de abastecimiento son recurrentes durante los meses de junio, julio y agosto, cuando los caudales disminuyen sustancialmente. Los principales incrementos en los caudales se dan durante los meses de noviembre, diciembre y abril, pero no repercute en problemas de sedimentación o daños a la infraestructura; según los reportes de la CVC, el acueducto no cuenta con concesión de aguas vigente. El personal a cargo asegura que la parte alta de la cuenca cuenta con buena protección forestal, sin embargo, hay preocupación por el incremento de las actividades ganaderas con mala gestión y la ausencia de cercas que limiten dicha actividad. No cuentan con la capacidad para atender nuevos usuarios, requieren de la construcción de un tanque adicional para suplir las necesidades del 25% de la población que no cuenta con el servicio, no todos cuentan con alcantarillado, por lo que es necesario proporcionar un pozo séptico (Rocancio, Gutiérrez, & Bocanegra, 2020).



Imagen 8. Zona de filtrado (acueducto ASODISS)

Fuente: Ovidio Rivera (2020)

Acueducto Rural centro poblado Barrancas, Corregimiento Barrancas

Se realizó una visita a las instalaciones de Aquaoccidente el 30 de noviembre de 2020, por medio de la cual se consultaron algunos datos sobre el funcionamiento del acueducto que surte al corregimiento de Barrancas: la fuente hídrica primaria es el río Nima, el acueducto inició operaciones en octubre del 2013; este consta de una planta convencional y un reactor compacto, desarenadores y filtros, el caudal requerido por la planta para suplir las necesidades de Barrancas

es de 6 l/s, sin embargo, la capacidad total de la planta es de 1200 l/s, dado que la misma planta surte al área urbana de Palmira; atiende la demanda de 280 usuarios en Barrancas que representa un aproximado de 1.200 personas; el acueducto está en la capacidad de suplir la demanda actual durante todo el año, durante épocas de invierno se presentan incrementos en los caudales acompañados de turbiedad, derrumbes y empalizadas. Los principales riesgos están asociados a la calidad del agua y los funcionarios de Aquaoccidente aseguran que la capacidad de la planta está llegando al 70% de la concesión otorgada por la CVC.

Análisis del riesgo climático en infraestructura de abastecimiento de agua potable.

Calibración

El proceso de calibración se realizó utilizando los valores empleados para la calibración de la modelación hidrológica realizada por CVC y CIAT mediante el convenio 082 del 2017. En dicha calibración se ajustaron únicamente los valores correspondientes al número de curva CN2 y el índice directo de respuesta de flujo, de acuerdo con la Tabla 3. Se asumieron estos valores, considerando que de acuerdo con lo descrito en el PICC para el Valle del Cauca (2018), es el mejor ajuste del modelo para las cuencas que drenan desde la Cordillera Central hacia el río Cauca.

Tabla 3. Resultados de la calibración en cuencas que drenan al río Cauca.

PARAMETRO	RANGO	VALOR POR DEFECTO	VALOR CALIBRACIÓN
CN2	35 - 98	Varía por HRU	*0.372
ALPHA_BF	0 - 1	0.048	Slope < 16%; 0.0006
			Slope > 16%; 0.048

Fuente: Plan Integral de Cambio climático para el Valle del Cauca (CVC, Secretaría de Ambiente, & CIAT, Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca PICC, 2018).

Según la Figura 6 y la Tabla 4, en el análisis del caudal medido versus el simulado en la estación Paso de La Torre, la calibración generó un ajuste sobresaliente de acuerdo con el coeficiente de Nash y el coeficiente de correlación. Esto quiere decir que el modelo cuenta con una alta capacidad predictiva y está apto para representar las dinámicas hidrológicas que se presentan en la zona de estudio.

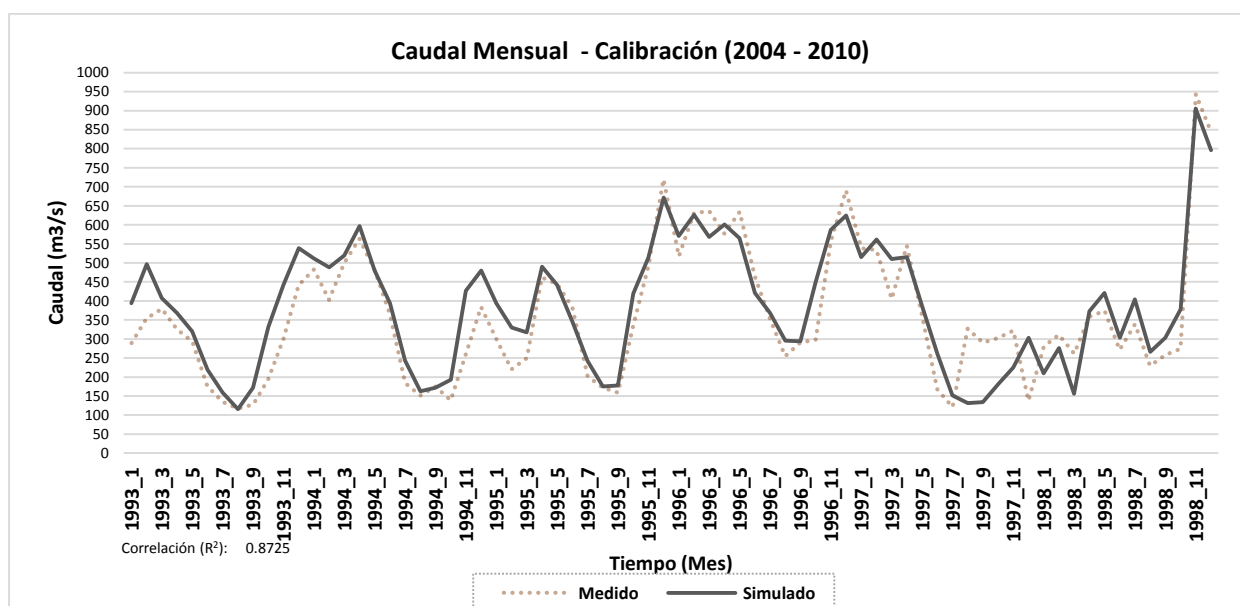


Figura 6. Calibración, promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Paso de la Torre (Cuenca del río Cauca).

Fuente: Plan Integral de Cambio climático para el Valle del Cauca (CVC, Secretaría de Ambiente, & CIAT, Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca PCCC, 2018).

Tabla 4. Resumen de Calibración y Validación.

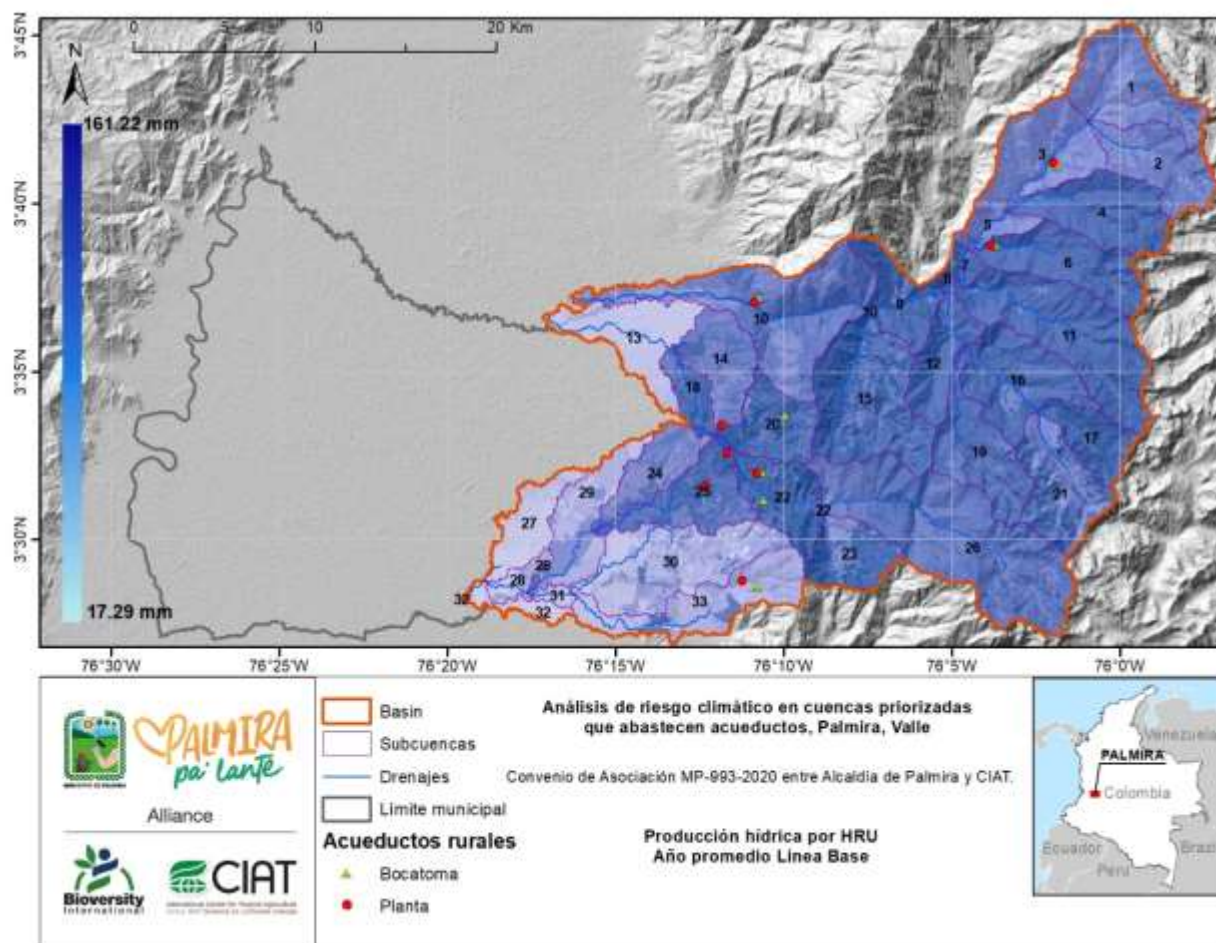
Estación	NS		PBIAS		R2	
	Calibración	Validación	Calibración	Validación	Calibración	Validación
Paso la Torre	0,813	0,777	-19,0087	-6,6170	0,8336	0,9254

Fuente: Plan Integral de Cambio climático para el Valle del Cauca (CVC, Secretaría de Ambiente, & CIAT, Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca PCCC, 2018).

Producción hídrica por Unidades Hidrológicas de Respuestas - HRU

Se generaron 2.916 unidades hidrológicas de respuesta para 33 subcuencas modeladas, inicialmente se modelaron las condiciones de línea base para 35 años de información climática (1981 – 2015), posteriormente se obtuvieron resultados de producción hídrica por HRU para un año promedio, lo que permitió visualizar geográficamente el aporte de agua al caudal de las áreas de drenaje comprendidas en la modelación (Mapa 8).

Es importante aclarar que los resultados acá discutidos son producto de una modelación matemática de condiciones de clima prospectivas de acuerdo con uno de los escenarios propuestos por el IPCC, por lo cual los resultados intentan mostrar un acercamiento al efecto climático en el balance hídrico de las cuencas abastecedoras de los acueductos rurales, partiendo de condiciones particulares de topografía, suelos y cobertura.

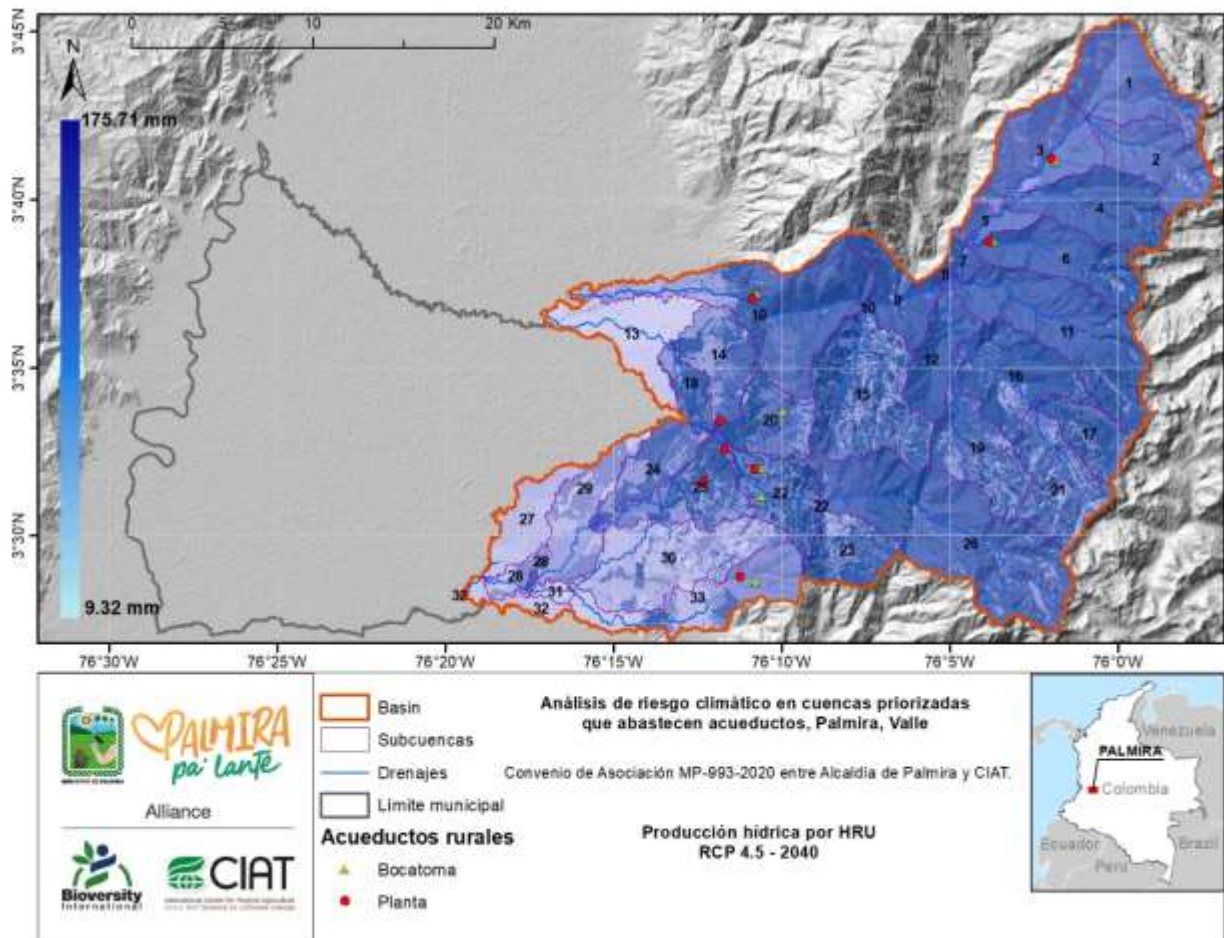


Mapa 8. Producción hídrica anual por HRU para el escenario actual en las cuencas abastecedoras de acueductos rurales.

Fuente: Elaboración propia.

En el Mapa 8, las áreas que representaron una mayor producción hídrica corresponden a las subcuencas 17, 16, 21, 15, 20, 22, 23 y 18, de acuerdo con la conceptualización del modelo, que corresponde al área de drenaje de las quebradas La Negra, El Chorreadero, Las Colonias, Las Brisas, El Porvenir, Las Vegas Y El Paraíso en la parte alta de Toche, y las áreas de drenaje de las quebradas La Tigrera, Las Nieves y Lombardía en la parte baja de Toche; de igual manera en Ayacucho en las áreas de drenaje de las quebradas La Bocara, Agua Clara y Chaguendo; al igual que en la cañada Naranjales de Calucé.

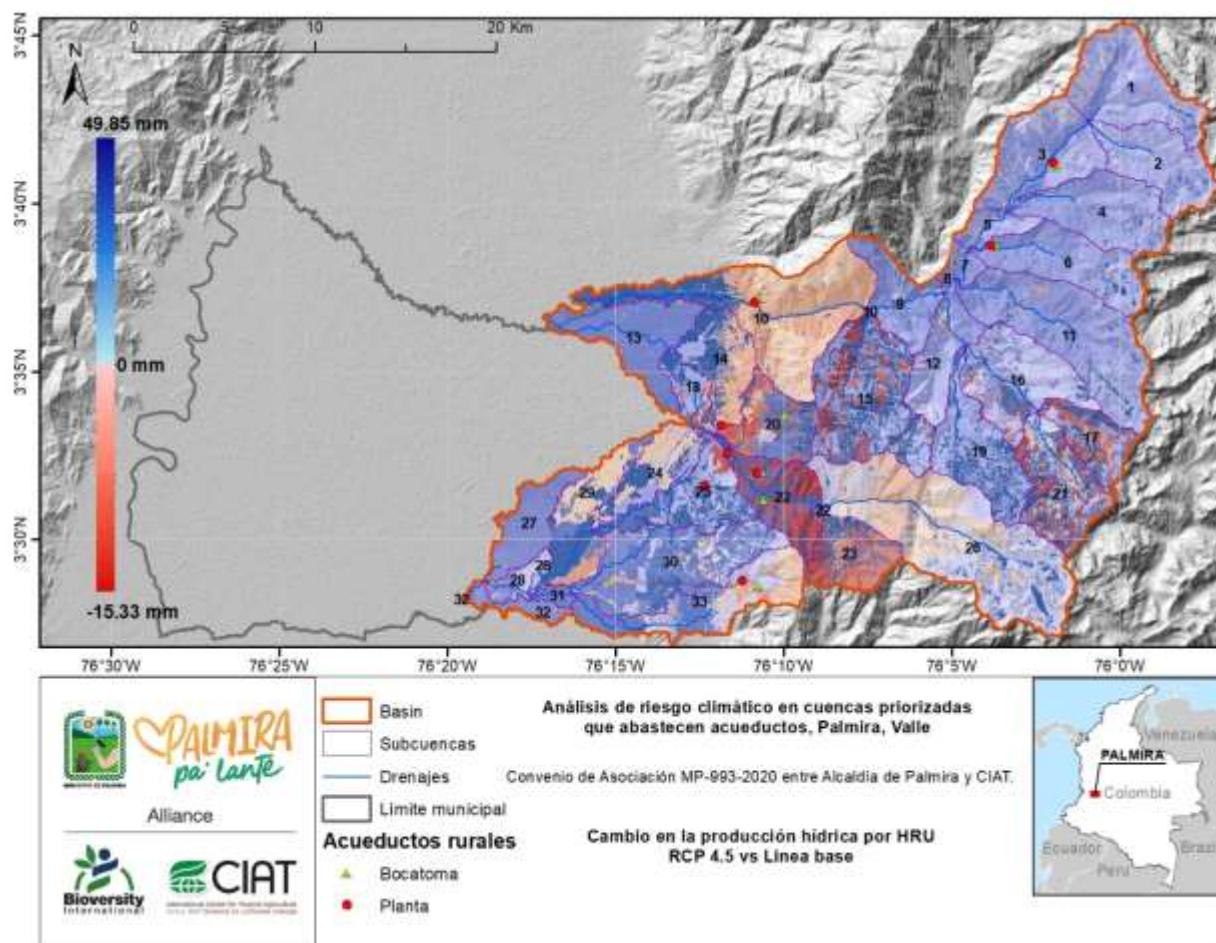
Las zonas que representa una menor producción hídrica son las subcuencas 27, 30, 31, 32 y 13 que hacen parte de los corregimientos de Guabal, Tienda Nueva y Boyacá; específicamente en las áreas de drenaje de las quebradas El Aguacatal, Agua Clara y Flores amarillas en Guabal; parte baja del río Nima en Tienda Nueva y Boyacá. Las demás zonas presentan un aporte hídrico mensual homogéneo con valores aproximados promedio de 80mm de producción hídrica por HRU.



Mapa 9. Producción hídrica anual por HRU para el escenario RCP 4.5 a 2040 en las cuencas abastecedoras de acueductos rurales.

Fuente: Elaboración propia.

En el Mapa 9 se presenta la producción hídrica por HRU bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5 para el año 2040; en términos generales prevalece las proporciones en cuanto a producción hídrica respecto a las condiciones de línea base mostradas en el Mapa 8, sin embargo, se muestra una reducción en producción hídrica generalizada y especialmente marcada en algunas zonas, en especial en el área correspondiente a los corregimientos de Guayabal, Bolo-La Italia, Aguacalara, Barrancas, parte de La Zapata y Ayacucho La Buitrera.



Mapa 10. Cambio en la producción hídrica anual por HRU, RCP 4.5 vs línea base.

Fuente: Elaboración propia.

En el Mapa 10 se calcularon las diferencias por HRU en la producción hídrica para las condiciones de línea base respecto a las condiciones esperadas de acuerdo al escenario de cambio climático RCP 4.5 para el año 2040. Las tonalidades varían y se representan las ganancias en producción hídrica promedio en escalas de color azul y las pérdidas en escala del color rojo; es fácil establecer que las principales pérdidas se presentan en las subcuencas 17, 21, 15, 20, 22 y 23 de acuerdo a la nomenclatura asignada por la esquematización del modelo. En la subcuenca 17 las principales pérdidas se presentan en el área de drenaje de la quebrada El Chorreadero; en la subcuenca 21 por el área de drenaje del río Toche que se alimenta a su vez de las quebradas Sorberanal, Las Brisas y El Edén; en la subcuenca 15 se deben principalmente a gran parte del área de drenaje de la quebrada La Tigrera; en las subcuencas 20, 22 y 23 las pérdidas se presentan marcadas en la parte media y baja del área de drenaje del río Nima. En cuanto a las ganancias en producción hídrica, se

nota un pequeño incremento generalizado en las zonas altas y en algunas áreas pequeñas en la parte baja.

Dado que el objeto principal de análisis del estudio está enfocado en los corregimientos priorizados que fueron previamente visitados y entrevistados, a continuación, se presenta un análisis más detallado sobre los riesgos climáticos asociados a los acueductos rurales, de igual manera se presentan algunos detalles en mapas que podrá encontrar en los anexos al final del documento:

Acueducto Rural Vereda La Buitrera, Corregimiento Ayacucho

En este corregimiento donde previamente se reportaron problemas de desabastecimiento hídrico en épocas de verano, se proyecta una disminución en la producción hídrica promedio anual en la parte alta de la cuenca que surte dicho sistema (Mapa 13, en anexos), de tal manera que la disminución en los caudales en la época de verano será aún más crítica de acuerdo al escenario de cambio climático proyectado, esto sumado con la presencia de algunas conexiones cerradas puede agravar el panorama para el correcto funcionamiento del acueducto. El cambio en la distribución anual de la precipitación puede traer consigo épocas de lluvia copiosas que repercuta en el incremento de los sedimentos y, por otro lado, épocas secas prolongadas e incrementos en la temperatura media.

Acueducto Rural centro poblado La Zapata, Corregimiento La Zapata

En la modelación hidrológica la subcuenca 25 (Mapa 16, en anexos) representa el área de drenaje que entrega sus aguas al acueducto rural La Zapata, en la zona alta de la cuenca se evidencia una pequeña área con una disminución notoria en la producción hídrica promedio anual, sin embargo, en términos generales la cuenca muestra un incremento en la producción promedio en la mayoría del área, por lo cual es probable que no se vea una alta afectación en los caudales mínimos de las fuentes hídricas; por otro lado es necesario prestar atención especial en el mes de abril donde posiblemente se presenten incrementos notorios en el caudal que termine agravando las condiciones de producción de sedimentos que se presentan desde la actualidad. A nivel general esta zona es una de las que muestra menos pérdidas en la producción hídrica promedio anual, pero llama la atención que, mediante las entrevistas de campo, los usuarios mostraron una alta preocupación por la baja disponibilidad del recurso hídrico, lo que lleva a contemplar la posibilidad de que exista una inadecuada gestión del recurso hídrico en la parte alta de la cuenca, que valdría la pena revisar.

Acueducto Rural centro poblado Calucé, Corregimiento Calucé

En la modelación hidrológica realizada, la subcuenca 22 (Mapa 18, en anexos) representa el área hidrográfica que contiene al acueducto Asoaveaguascalucé, en términos globales evidencia una

disminución en la producción hídrica promedio anual, principalmente en la parte alta, lo que podría repercutir en veranos con caudales más bajos de los que se han venido presentando; por otro lado la variación espacial de las precipitaciones podría hacer que las épocas lluviosas sean más copiosas y se incremente la producción de sedimentos, en especial por el mal uso del suelo que se viene presentando en la parte alta de la cuenca. La subcuenca 26 que une su flujo al cauce principal de la subcuenca 22 presenta una baja alteración en la producción hídrica promedio anual, pero ese no es el caso de la subcuenca 23 que por su parte presenta una pérdida notoria en gran parte del territorio, esto se verá reflejado en bajos caudales en épocas de verano que puede alterar la disponibilidad hídrica de fuentes alternas para el corregimiento de Calucé.

Acueducto Rural centro poblado Potrerillo, Corregimiento Potrerillo

La subcuenca 20 (Mapa 17, en anexos) representa la zona que incluye el área de drenaje del acueducto rural comunitario de Potrerillo, a nivel general no se evidencia una disminución notoria en la producción hídrica promedio anual, sin embargo, el comportamiento de las HRU en la zona es de carácter mixto, pues en la parte alta de la cuenca se presentan ligeras ganancias en producción al igual que ligeras pérdidas en la parte media y baja; esto evidencia que hay una alta sensibilidad a los cambios en la precipitación de acuerdo con las condiciones de cobertura, suelos y pendiente de la zona; lo que hace necesario reforzar estrategias de conservación de zonas altas y estudiar a mayor detalle las prácticas que se vienen realizando en la parte media y baja de la cuenca en especial en el margen derecho.

Acueducto Rural centro poblado Combia, Corregimiento Combia

En la modelación hidrológica el área de drenaje que incluye a Combia está representada por la subcuenca 3 (Mapa 15, en anexos), esta no presenta grandes alteraciones respecto al cambio en la producción hídrica promedio anual, no obstante, los deltas en producción a nivel general reflejan cambios positivos en gran parte del territorio, que se acentúan con más notoriedad en las zonas altas de las subcuencas 1 y 2 que drenan sus aguas al cauce principal de la subcuenca 3. De acuerdo con lo anterior, los caudales podrían elevarse notoriamente durante la época de invierno poniendo en riesgo el funcionamiento del acueducto, pues se podría presentar un incremento en la producción de sedimentos y dado que al acueducto no se le realizan mantenimientos periódicos, podría comprometer la prestación del servicio.

Acueducto Rural vereda Teatino, Corregimiento Toche

La subcuenca 6 (Mapa 15, en anexos) en la modelación representa el área de drenaje que incluye el acueducto de Teatino en Toche, esta no presenta mayores cambios en la producción hídrica promedio anual, a excepción de algunas pequeñas regiones de la zona alta. De acuerdo con las

entrevistas no se han presentado problemas de abastecimiento anteriormente y al parecer las condiciones se conservarán, sin embargo, el problema de la acumulación de sedimentos se puede seguir presentando con mayor regularidad, debido a que los principales incrementos en producción se presentan en las zonas altas, por lo cual es necesario evaluar las condiciones de cobertura. Es importante reforzar la asistencia en esta zona ya que no se está operando el acueducto correctamente al omitir la cloración.

Acueducto Rural Vereda Taurete, Corregimiento Tablones

Para la modelación hidrológica realizada, la subcuenca 10 (Mapa 19, en anexos) hace referencia al área de drenaje que incluye el acueducto Asoacueducto El Taurete en el corregimiento de Tablones; los cambios en la producción hídrica anual promedio muestra una tendencia a la disminución de manera generalizada, por lo cual es posible que bajo este escenario se presenten caudales aún menores en épocas secas, empeorando la situación actual de racionamiento; por otro lado, las urbanizaciones en crecimiento tendrán cada vez más dificultades para acceder al recurso hídrico por lo que se tendrán que evaluar alternativas de abastecimiento y una posible reestructuración del acueducto actual.

Acueducto Rural Vereda San Emigdio, Corregimiento La Zapata

La modelación hidrológica ubica en la subcuenca 22 (Mapa 18, en anexos), el área de drenaje que abarca el área de influencia del acueducto ASODISS (Asociación para el desarrollo social y sostenible de San Emigdio), a nivel general la modelación del escenario climático muestra una tendencia a la disminución en la producción hídrica promedio anual, principalmente en las partes altas de la cuenca; bajo este escenario es necesario fijar la atención en las temporadas con bajos caudales, debido a que desde ahora la comunidad está presentando problemas de abastecimiento y es probable que esta situación empeore; igualmente se recomienda revisar las prácticas que se vienen desarrollando en las partes altas, puesto que de acuerdo con la visita realizada, hay presencia de ganadería sin control por cercas en la parte alta.

Acueducto Rural centro poblado Barrancas, Corregimiento Barrancas

Para comprender los riesgos climáticos asociados a la disponibilidad del recurso hídrico del corregimiento de Barrancas, es necesario considerar toda el área que drena al río Nima (Mapa 20, en anexos). En el esquema conceptual del modelo hidrológico, el nacimiento del río Nima se le atribuye a la subcuenca 26, que a su vez entrega sus aguas en la subcuencas 22, que por otro lado recibe las aguas de la subcuenca 23; de manera que el abastecimiento hídrico de la planta que surte a Barrancas y al área urbana del municipio de Palmira, depende de las condiciones toda el área de drenaje descrita anteriormente; respecto a la producción hídrica anual promedio por HRU,

la parte alta de la cuenca del río Nima presenta unas leves ganancias, en especial en las áreas de drenaje de las quebradas Santa Rita, Santa Bárbara y Casa de tejada; cerca de la zona medio alta y media de la cuenca se empiezan a notar disminuciones en los aportes al caudal principal, en especial por parte de las quebradas los Cuevos, Pan de Azúcar, Golondrinas, Los Cuzumbos, La Selva, las Margaritas, El Salado, Los Aguacates, Amberes, Albania y Los Tambos. Las disminuciones más notorias se presentan en la zona baja de la cuenca principalmente en las áreas de drenaje de las quebradas La María, La Bocana, Agua Clara, Chaguendo, Los Tambos, El Cofre, Naranjales y Aguazul o Anasco. A pesar de no presentar problemas de abastecimiento durante todo el año, es necesario contemplar que a nivel general el área de drenaje presentará pérdidas en la producción hídrica promedio anual, según el escenario de cambio climático modelado; se recomienda fijar la atención en especial a las zonas altas de las áreas de drenaje de las quebradas La Boraca, Chaguendo, Aguazul, Los Tambos, El Cofre y Naranjales.

Vulnerabilidad al cambio climático de cuencas abastecedoras de acueductos rurales

Una vez identificadas las zonas en las que se proyectan las mayores pérdidas en producción hídrica por HRU para las cuencas abastecedoras de los acueductos rurales analizados, se identificaron las áreas con mayor vulnerabilidad al cambio climático, al encontrarse en zonas que cuentan con algún tipo de protección de acuerdo con el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP) de Parques Nacionales Naturales (PNN), en las clasificaciones de: “Parque Nacional Natural”, “Parque Natural Regional”, “Reserva Natural de la Sociedad Civil”, “Distritos Regionales de Manejo Integrado”, “Reservas Forestales Protectoras Nacionales” y “Reservas Forestales Protectoras Regionales” (Tabla 5).

Tabla 5. Registro Único Nacional de Áreas Protegidas en las cuencas abastecedoras de los acueductos rurales de interés.

Categoría	Nombre	Organización
Parque Nacional Natural	Las Hermosas	PNN
Parque Natural Regional	Del Nima	CVC
Reserva Natural de la Sociedad Civil	El Fuerte	PNN
	El Entamorado	PNN
	La Lucha	PNN
	Perú	PNN
	El Laurel y El Recreo	PNN
	Las Brisas	PNN
	La Aurora	PNN
	Cristal	PNN
	El Tenjo	PNN
	San Rafael	PNN

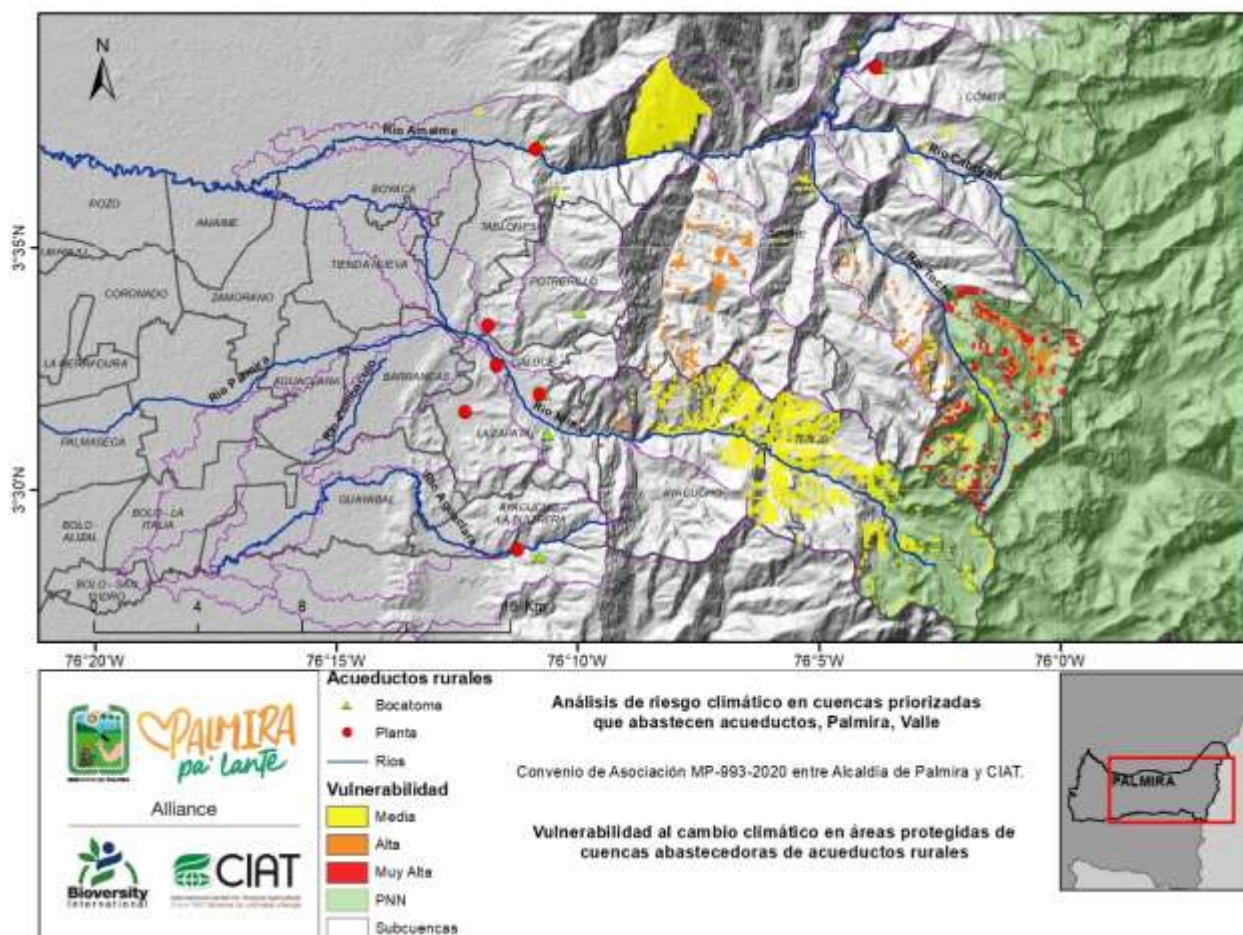
Categoría	Nombre	Organización
Distritos Regionales de Manejo Integrado	Paramos Las Domínguez, Pan de Azúcar y Valle Bonito	CVC
Reservas Forestales Protectoras Nacionales	Río Amaime	MADS ¹
	Ríos Zabaletas y Cerrito	MADS
Reservas Forestales Protectoras Regionales	La Albania y La Esmeralda	CVC

Fuente: PNN

Según lo descrito en la Tabla 5 y lo ilustrado en el Mapa 11, parte de las zonas con una muy alta vulnerabilidad al cambio climático se localizan en zona alta de la cuenca del río Toche y en la cuenca de la Quebrada El Chorreadero, la cual confluye con el río Toche dentro del Parque Nacional Natural Las Hermosas, estas áreas representan una gran importancia respecto al abastecimiento del acueducto del corregimiento de Tablones. Por otro lado, se evidencia una vulnerabilidad media en la parte alta del río Nima, en el corregimiento de Tenjo que hace parte del Parque Natural Regional del Nima y comprende un fragmento de Las Hermosas, la conservación de dichas áreas es estratégica para garantizar el abastecimiento de los acueductos rurales de Calucé y la Vereda San Emigdio. En una parte de la cuenca de la quebrada La Tigrera que entrega sus aguas al río Amaime se evidencia una alta vulnerabilidad, en el área de reserva forestal protectora nacional del río Amaime. También se resalta una tendencia a vulnerabilidad media en una de las cuencas que drena al río Amaime, en el municipio de El Cerrito en el distrito regional de manejo integrado del páramo Las Dominguez, Pan de Azúcar y Valle Bonito, que ocupa parte de las áreas de drenaje de la quebrada La Pajosa y Las Águilas.

Las zonas mencionadas anteriormente se identifican como prioritarias para intervención con planes de adaptación, puesto que se han identificado dentro de áreas protectoras de importancia estratégica para la conservación del recurso hídrico y la protección de los ecosistemas.

¹ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



Mapa 11. Vulnerabilidad al cambio climático en áreas protegidas de cuencas abastecedoras de acueductos rurales.

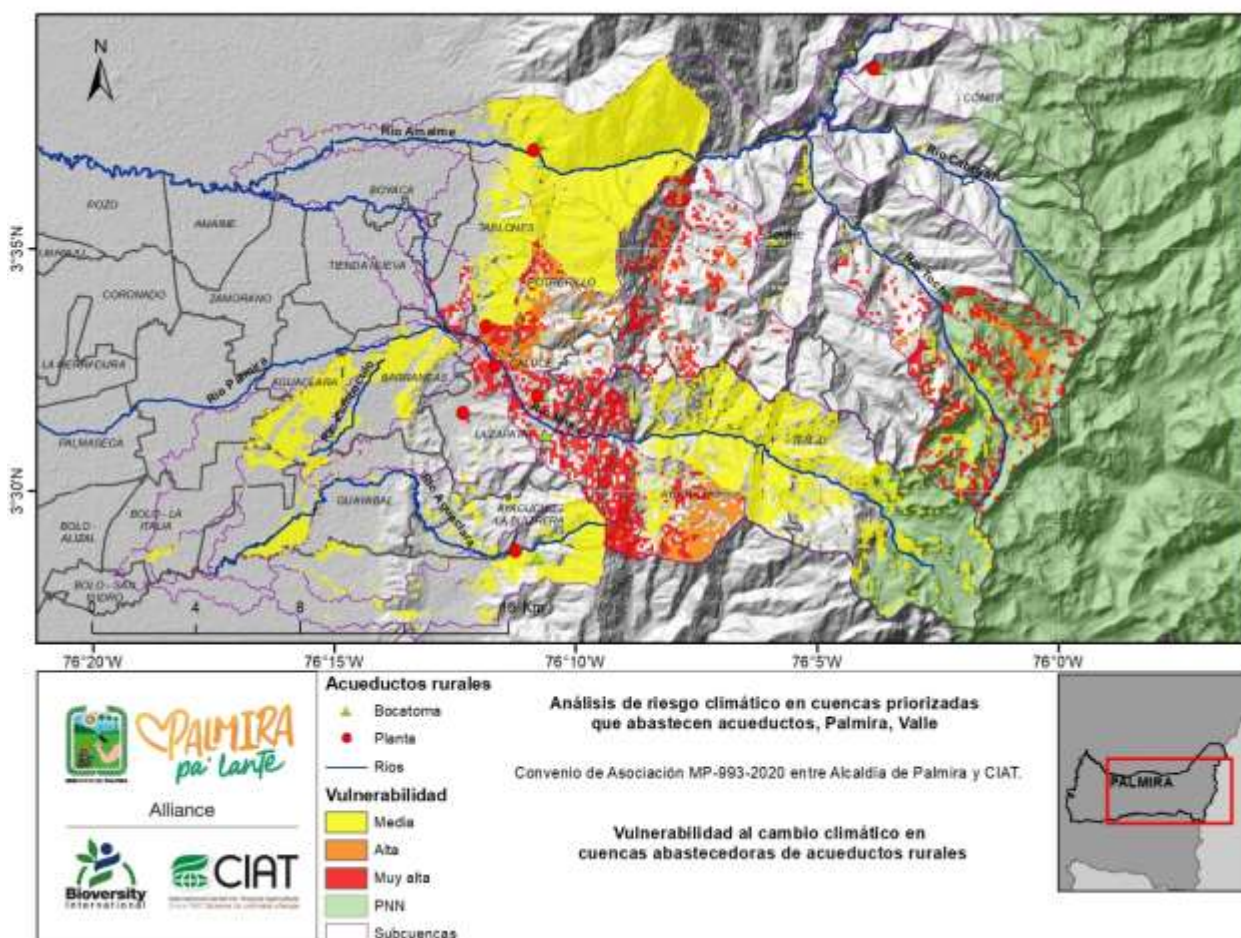
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Vulnerabilidad global al cambio climático de los acueductos rurales.

Acueducto Rural	Corregimiento	Vulnerabilidad
Vereda La Buitrera	Ayacucho	Media
Centro poblado Barrancas	Barrancas	Media Alta
Centro poblado Calucé	Calucé	Media Alta
Centro poblado Combia	Combia	Baja
Vereda Taurete	Tablones	Media
Centro poblado la Zapata	La Zapata	Baja
Centro poblado Potrerillo	Potrerillo	Media
Vereda San Emigdio	La Zapata	Media Alta
Vereda Teatino	Toche	Baja

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 6 resume de manera general el análisis de vulnerabilidad en las cuencas abastecedoras de los acueductos rurales, adicionalmente se muestra una representación cartográfica en el Mapa 12.



Mapa 12. Vulnerabilidad al cambio climático en cuencas abastecedoras de acueductos rurales.

Fuente: Elaboración propia.

Definición de acciones prioritarias para la reducción de la vulnerabilidad.

Estas acciones se plantean como un primer acercamiento a las estrategias de adaptación para acueductos rurales ante el cambio climático desde el punto de vista hidrológico, considerando los posibles cambios en el balance hídrico resultado de la modelación hidrológica. Dichos cambios fueron descritos anteriormente y suponen problemas de abastecimiento debido a sequías prolongadas, al igual que un incremento en la generación de sedimentos y elevación de los caudales en épocas lluviosas que podrán interferir con el correcto funcionamiento de los acueductos y

finalmente repercutiría en impactos en la prestación del servicio. Considerando estos aspectos se plantean las siguientes acciones de intervención:

Conservación y protección de las zonas altas de las cuencas.

Se identificó la necesidad de implementar estrategias de conservación y protección del bosque nativo en algunas de las cuencas abastecedoras de acueductos rurales, sin embargo, es necesario partir de un diagnóstico detallado por parte de expertos forestales, en lo posible soportado con imágenes levantadas mediante recorridos aéreos con drones. Entre las principales necesidades de intervención se encuentra la parte alta de la cuenca del río Agua Clara, en el corregimiento de Ayacucho La Buitrera; en la cuenca de la cañada Naranjales para Calucé; parte alta de la cuenca de la quebrada Los Robles en Potrerillo; microcuenca de la quebrada El Guarapo en Tablones; al igual que vale la pena considerar un estudio a fondo en la parte alta de la cuenca del río Nima y fijar la atención principalmente en las áreas de drenaje de las quebradas La María, Salas, Agua Clara, Balsillas, Chaguendo, Las Mirlas, Rin Rin, Careperro, Los Amores, Las Mercedes, El Cofre, Campo Alegre y Cañada Naranjales. Es importante fijar la atención en los resultados arrojados por el análisis de vulnerabilidad, donde se determinaron las zonas con mayor vulnerabilidad que hacen parte de las áreas protegidas incluidas en el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas.

Incorporación de sistemas silvopastoriles y rotación de pasturas en fincas ganaderas.

Se plantea hacer una revisión generalizada sobre las prácticas ganaderas que se hacen en las partes altas de las cuencas que abastecen acueductos rurales y realizar capacitaciones sobre la incorporación de sistemas silvopastoriles, de igual manera sobre la implementación de rotación de pasturas e instalación de bebederos, prácticas que eviten comportamientos expansivos. Dentro de los lugares prioritarios para intervenir se propone la vereda San Emigdio, lugar en el cual reportan ganadería en las zonas altas de la cuenca, pues desde ahora se visualiza como una problemática debido al escaso control en las labores de pastoreo; igualmente es importante fijar la atención en corregimiento de La Zapata, precisamente en la zona alta de la vereda el Llanito, donde se realizan varias prácticas pecuarias que carecen de recomendaciones técnicas.

Capacitaciones en buenas prácticas de manejo en los cultivos.

Se recomienda realizar capacitaciones sobre buenas prácticas agrícolas a los productores cuyos predios hacen parte de las zonas altas de las cuencas que abastecen los acueductos rurales, en especial en los corregimientos de Calucé, La Zapata, Potrerillo y Tablones; de manera que puedan incorporar planes de manejo que ayuden a disminuir la producción de sedimentos y la lixiviación de insumos químicos, a la vez que se promueve la rotación de cultivos y la incorporación de sistemas

agroforestales; generando que se preserve las propiedades del suelo, se diversifiquen los cultivos y se evite la expansión agrícola hacia zonas estratégicas para la protección del recurso hídrico.

Socializaciones con las asociaciones de usuarios de los corregimientos intervenidos.

Es relevante presentar los resultados de los análisis de riesgo climático a los usuarios de los diferentes acueductos rurales, y ponerlos en contexto sobre los efectos generados por el cambio climático y la variabilidad climática, y sobre la existencia de propiedades condicionantes que pueden hacer que un territorio se adapte mejor a las condiciones cambiantes del clima. Mediante charlas o talleres se pueden socializar resultados, hablar sobre implicaciones en prácticas agropecuarias, uso responsable del recurso hídrico, estrategias de conservación de la cuenca y medidas de adaptación.

Implementar acciones de adaptación y mitigación al cambio climático contempladas en el programa “Plan de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas del Área de Influencia del Municipio”, en la dimensión de Recurso Hídrico, propuestas y priorizadas por el PIACC.

Palmira cuenta con un Plan Integral de Adaptación al Cambio Climático – PIACC, donde se plantearon acciones que buscan la reducción de la vulnerabilidad del recurso hídrico y que a su vez califican con un alto nivel de prioridad para implementación, entre dichas acciones se destacan:

- Adopción e implementación del POMCH de las cuencas de los ríos Amaime y Nima.
- Limitar la ganadería extensiva en la zona del Páramo Las Hermosas y en las rondas de los ríos del municipio.
- Implementar programas de mitigación de procesos erosivos en zonas de ladera de las cuencas hidrográficas.
- Fortalecer la red hidroclimatológica con articulación en procesos de concesión de agua, establecimiento de infraestructura entre otros.
- Ampliación y recuperación de las zonas de cobertura y protección de las cuencas en el marco del Decreto 953 y su artículo 111, de la Ley 99 de 1993.
- Fortalecer el control de la tala ilegal en zonas de reserva y áreas protegidas.
- Promover la siembra de especies nativas como bancos vivos de germoplasma.
- Implementar programas de restauración ecológica en zonas vulnerables y de alto riesgo.
- Generar espacios de transferencia e intercambio de conocimiento ambiental de la cuenca.

Conclusiones y recomendaciones

1. En la mayoría de los casos evaluados, los acueductos rurales han excedido su capacidad y no es posible atender nuevas solicitudes, por lo cual es necesario en algunos casos incrementar la capacidad mediante la incorporación de tanques de mayor volumen, tanques auxiliares o explorar fuentes hídricas alternativas. Esta demanda insatisfecha puede ocasionar el aumento de los casos de conexiones fraudulentas y enfrentar a las comunidades a riesgos asociados al consumo de agua no apta.
2. La preservación de los ecosistemas de alta montaña, reducirán la vulnerabilidad del recurso hídrico y por lo tanto minimizará el riesgo a desabastecimiento de las comunidades rurales.
3. Se pudo constatar que la mayoría de los acueductos son susceptibles a sufrir daños derivados de eventos climáticos extremos, en periodos de lluvia copiosa (abril – mayo, septiembre - octubre), poniendo en riesgo la operatividad y la infraestructura asociada. Estos eventos pueden agravarse por la falta de mantenimiento, tala indiscriminada y malas prácticas agrícolas y pecuarias en las partes altas de las cuencas.
4. Un factor que incrementa la vulnerabilidad de los acueductos rurales es la falta de potabilización biológica, debido a la falta de recursos o a la incorrecta operación de la planta, como ocurre en Combia (plan de vivienda) y en Toche (Teatino).
5. Se identifica la degradación asociada a la explotación forestal, agrícola y pecuaria de las áreas de protección de los acueductos (Ayacucho – La Buitrera, La Zapata, Calucé y Potrerillo); además del incremento al riesgo de contaminación de las fuentes hídricas, producto de actividades agrícolas y pecuarias.
6. Es necesario fortalecer los vínculos de la comunidad con el agua y el territorio, educar para preservar, fomentando el uso racional de los recursos naturales.
7. Mediante el estudio se identificaron deficiencias en la administración y gestión de los acueductos rurales, pues se identificaron operaciones inadecuadas e infraestructura expuesta que incrementa la vulnerabilidad del sistema y por lo tanto de los usuarios.
8. En la mayoría de los acueductos rurales se hace una mala disposición de las aguas servidas, pues estas retornan a las fuentes hídricas sin previo tratamiento, incrementando la vulnerabilidad de los usuarios aguas abajo.

BIBLIOGRAFÍA

- (CVC), C. A., & (ITA), I. T. (2018). *Vulnerabilidad Climática. Un Análisis a partir de Escenarios de Cambio Climático para el Municipio de Palmira*. Buga.
- Arnold, J. G. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, , 34(1), 73-89.
- CVC, & Fundación Universitaria del Valle. (2013). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Amaime*. Santiago de Cali.
- CVC, Secretaría de Ambiente, A. y., & CIAT. (2018). *Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca PCCC*. Santiago de Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Funk, C. P. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2, 150066.
- Neitsch, S. L. (2011). *Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009*. Texas Water Resources Institute.
- Palmira, A. d. (2019). *Plan Integral de Adaptación al Cambio Climático*. Palmira Valle.
- Palmira, A. M. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial*. Palmira.
- Rocancio, M. M., Gutiérrez, O., & Bocanegra, J. (2020). *Informe Situación Acueductos Rurales Palmira*. Palmira: Observatorio de Salud Pública, Secretaría de Salud Municipal.
- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., & Papendick, R. I. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50(4): 1031 – 1036.
- Tucci, C. E. (2005). Modelos Hidrológicos. 2.ed.rev. e aum. . Porto Alegre: UFRGS, 678p.

ANEXOS

Tabla 7. Subcuencas modeladas y drenajes identificados.

Subcuenca	Nombre del Drenaje	Subcuenca	Nombre del Drenaje	Subcuenca	Nombre del Drenaje
1	Canada La Selva	13	Quebrada Tablones	23	Quebrada Agua Clara
	Canada Valle Bonito		Rio Amaime		Quebrada Balsillas
	Quebrada Albania		Rio Nima		Quebrada Chaguendo
	Quebrada Busaca	14	Canada Chanquena		Quebrada La Bocana
	Quebrada Diadema		Canada Tablones		Quebrada La Bocara
	Quebrada El Bosque		Quebrada Honda		Quebrada La Maria
	Quebrada Encanto		Quebrada Tablones	24	Quebrada Salas
	Quebrada Fuente La Pena		Rio Nima		Quebrada El Guavito
	Quebrada La Ceja	15	Quebrada Cariseco		Quebrada La Honda
	Quebrada La Italia		Quebrada Cascada		Rio Palmira
	Rio Amaime		Quebrada El Higuero		Rio Zumbaculo
2	Quebrada Delicias		Quebrada La Tigrera	25	Quebrada Baquero
	Quebrada Las Auras		Quebrada Las Nieves		Quebrada El Guachal
	Quebrada Las Auroras		Quebrada Lombardia		Quebrada El Salado
	Quebrada Las Delicias		Quebrada Los Muertos		Quebrada El Salero
	Quebrada Los Olivos		Quebrada Tierraadentro		Quebrada Galeras
	Quebrada Ls Auras	16	Quebrada Cielo Azul		Quebrada Garrapatas
3	Quebrada Napoles		Quebrada El Bosque	26	Quebrada La Honda
	Canada Balcones		Quebrada El Chorreadero		Quebrada Muecas
	Quebrada Corazon		Quebrada El Paraiso		Rio Aguaclara
	Quebrada Las Auras		Quebrada La Honda		Quebrada Albania
	Quebrada Las Cuchas		Quebrada Las Vegas		Quebrada Amberses
	Quebrada Los Olivos		Quebrada Los Chorros		Quebrada Casa de Teja
	Quebrada San Antonio		Quebrada San Pacho		Quebrada El Bosque
4	Rio Amaime	17	Rio Toche		Quebrada El Salado
	Quebrada Cucuana		Quebrada El Chorreadero		Quebrada Golondrinas
	Quebrada Hoyo Frio		Quebrada La Negra		Quebrada La Esmeralda
	Quebrada Las Minas		Rio Toche		Quebrada La Maria
5	Quebrada Napoles	18	Quebrada Honda		Quebrada La Selva
	Quebrada Cucuana		Quebrada Los Negros		Quebrada Las Margaritas
	Quebrada Guabal		Rio Nima		Quebrada Los Aguacates
6	Rio Amaime	19	Rio Palmira		Quebrada Los Cuevos
	Quebrada Tiatino		Canada Las Vegas		Quebrada Los Cusumbos
7	Quebrada Tiatino		Quebrada Aguadita		Quebrada Los Cuzumbos
	Rio Amaime		Quebrada Campoalegre		Quebrada Los Tambos
	Rio Cabuyal		Quebrada El Silencio o La Trucha		Quebrada Pan de Azucar
8	Rio Amaime		Quebrada Los Chorritos		Quebrada Santa Barbara
	Rio Cabuyal		Quebrada Los Chorros		Quebrada Santa Rita
	Rio Toche		Quebrada Los Mensa		Rio Nima
9	Quebrada La Honda		Rio Toche	27	Rio Palmira

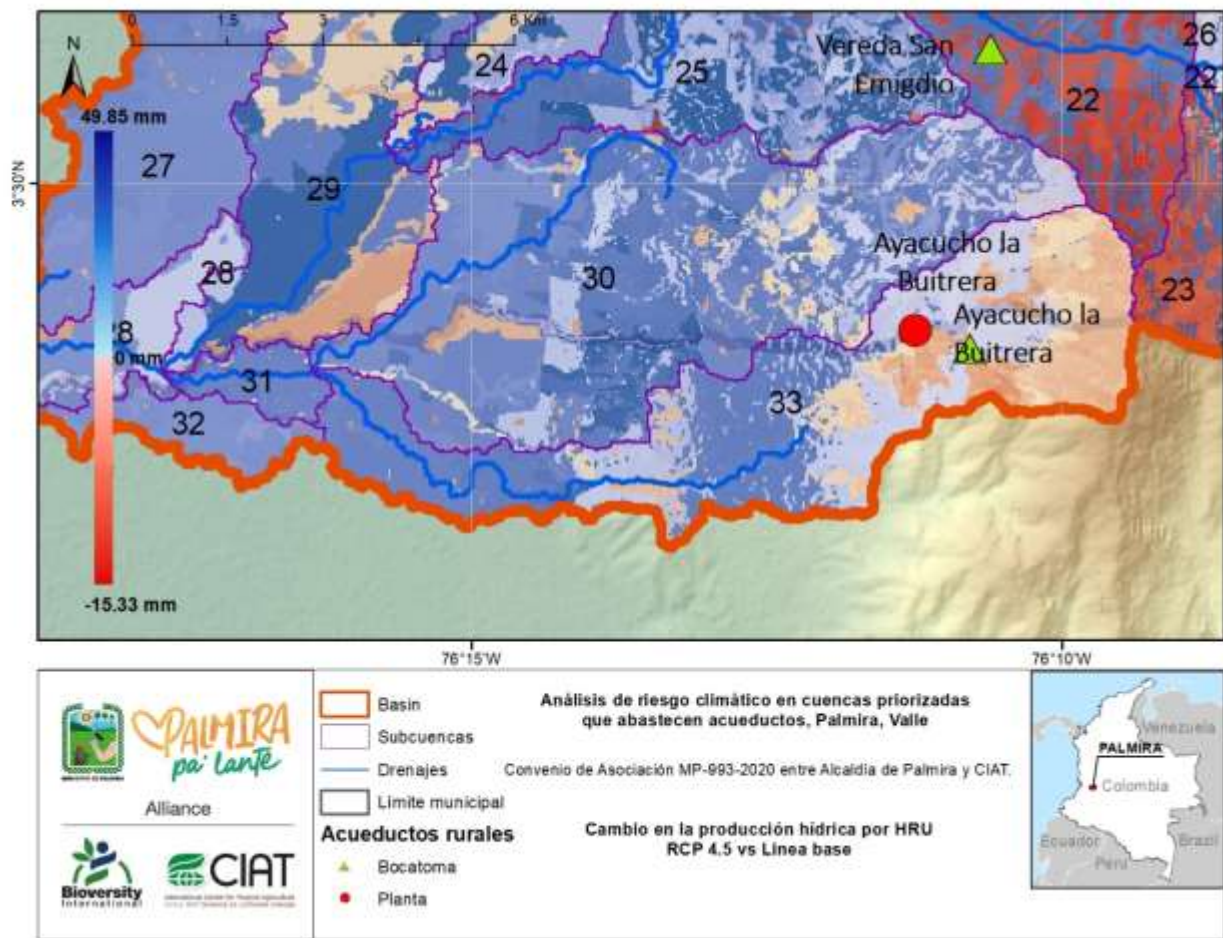
Subcuenca	Nombre del Drenaje	Subcuenca	Nombre del Drenaje	Subcuenca	Nombre del Drenaje
	Quebrada La Palmera	20	Canada Las Culecas	28	Rio Bolo
	Quebrada La Tigra		Canada Los Olivos	29	Quebrada La Honda
	Quebrada Yeguas		Quebrada Aguabonita		Rio Aguacalara
	Rio Amaime		Quebrada El Bosque		Rio Palmira
	Rio Coronado		Quebrada La Quisquina		Rio Vilela
	Rio Toche		Quebrada Los Negros		Rio Zumbaculo
10	Quebrada Garrapatas		Quebrada Los Robles	30	Quebrada Chontaduro
	Quebrada Guarapo		Rio Nima		Quebrada Cocuro
	Quebrada La Coticera	21	Quebrada Campoalegre		Quebrada El Aguacatal
	Quebrada La Pajosa		Quebrada del Eden		Quebrada El Oso
	Quebrada La Tigra		Quebrada El Porvenir		Quebrada Flores Amarillas
	Quebrada Los Chorros		Quebrada Las Brisas		Quebrada La Honda
	Quebrada Los Chorros		Quebrada Las Colonias		Quebrada La Vega
	Quebrada Manigua		Quebrada Paraguay		Rio Aguacalara
	Quebrada Naranjales		Quebrada Sorbelanal		Rio Vilela
	Quebrada Platanillal		Rio Toche	31	Rio Aguacalara
	Quebrada Sangrienta	22	Canada El Cofre		Rio Bolo
	Quebrada Venturosa		Canada Los Amores		Rio Vilela
	Quebrada Yeguas2		Canada Naranjales	32	Rio Bolo
	Rio Amaime		Quebrada Aguazul o Anasco	33	Quebrada El Balcon
11	Quebrada Leticia		Quebrada Campoalegre		Quebrada El Eden
	Quebrada Miraflores		Quebrada Careperro		Quebrada Flores Amarillas
	Quebrada Quintero		Quebrada El Cofre		Quebrada La Danta
	Quebrada Valle Bonito		Quebrada La Granja		Quebrada La Ruiza
	Rio Cabuyal		Quebrada La Maria		Quebrada Morro Frio
			Quebrada Las Mirlas		Quebrada Vilela
12	Quebrada La Veranera o Pirineos		Rio Nima		Rio Aguacalara
	Rio Toche				Rio Bolo
					Rio Vilela

Tabla 8. Concesiones para acueductos rurales en corregimientos de Palmira.

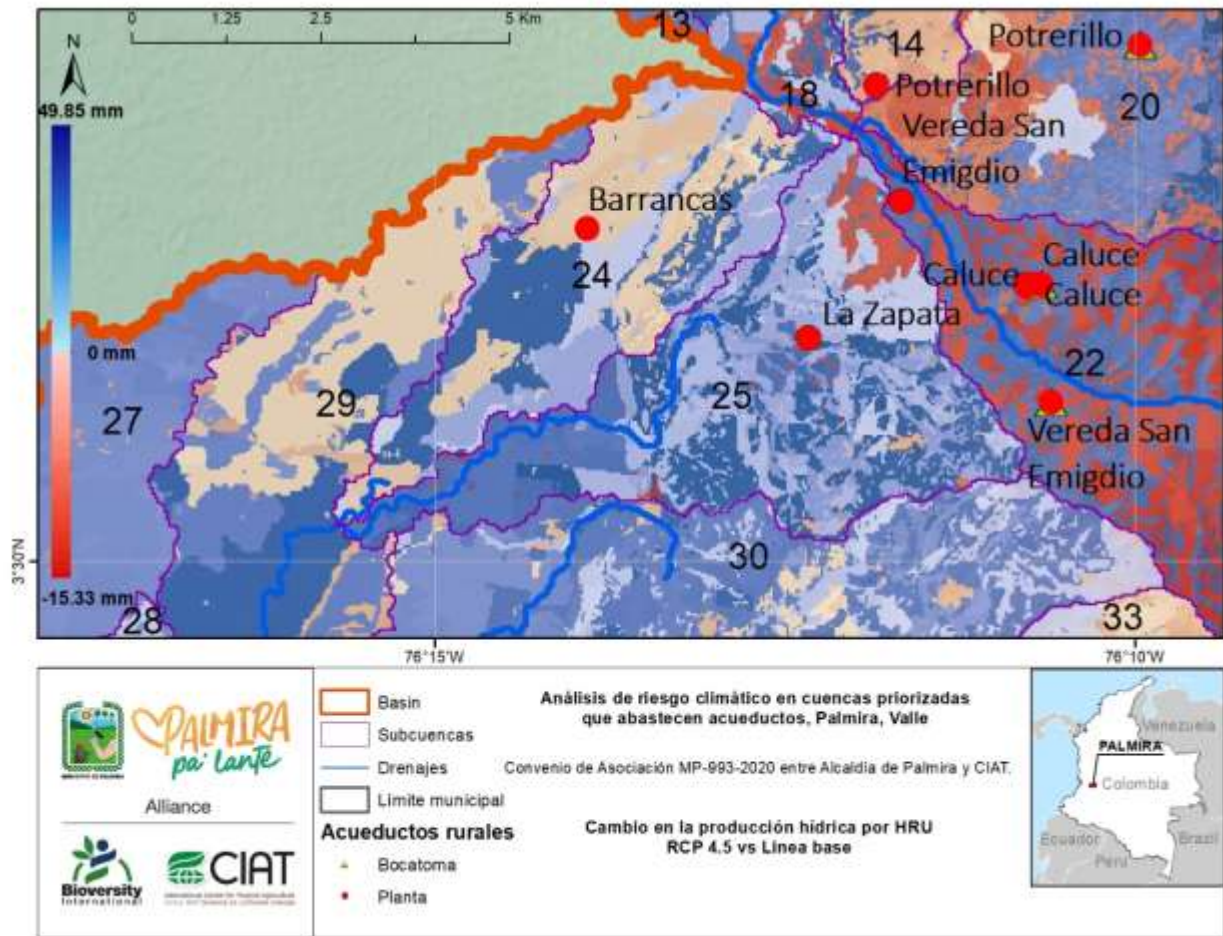
Acueducto (Corregimiento)	Concesión	Resolución	Caudal (l/s)	Vigencia
Barrancas	No	-	-	-
La Zapata	No	-	-	-
Ayacucho La Buitrera	Si	0720 No 0721-001158 de 2019	14,8	27/11/2019 27/11/2069
		0720 No 0721-000215 de 2017	14,8	3/3/2017 3/3/2067
Calucé	Si	0720 No 0721-00674 de 2017	4,2	24/08/2017 24/08/2067
Potrerrillo	En trámite	-	-	-
Tablones	Si	0720 No 0722-0604 de 2019	6,5	09/07/2019 09/07/2044

Acueducto (Corregimiento)	Concesión	Resolución	Caudal (l/s)	Vigencia
Toche	No	-	-	-
Combia	No	-	-	-
Ayacucho Arenillo	En trámite	-	-	-
Chontaduro	Si	otorgada por Ley 1450	8,5	16/06/2011 16/06/2021

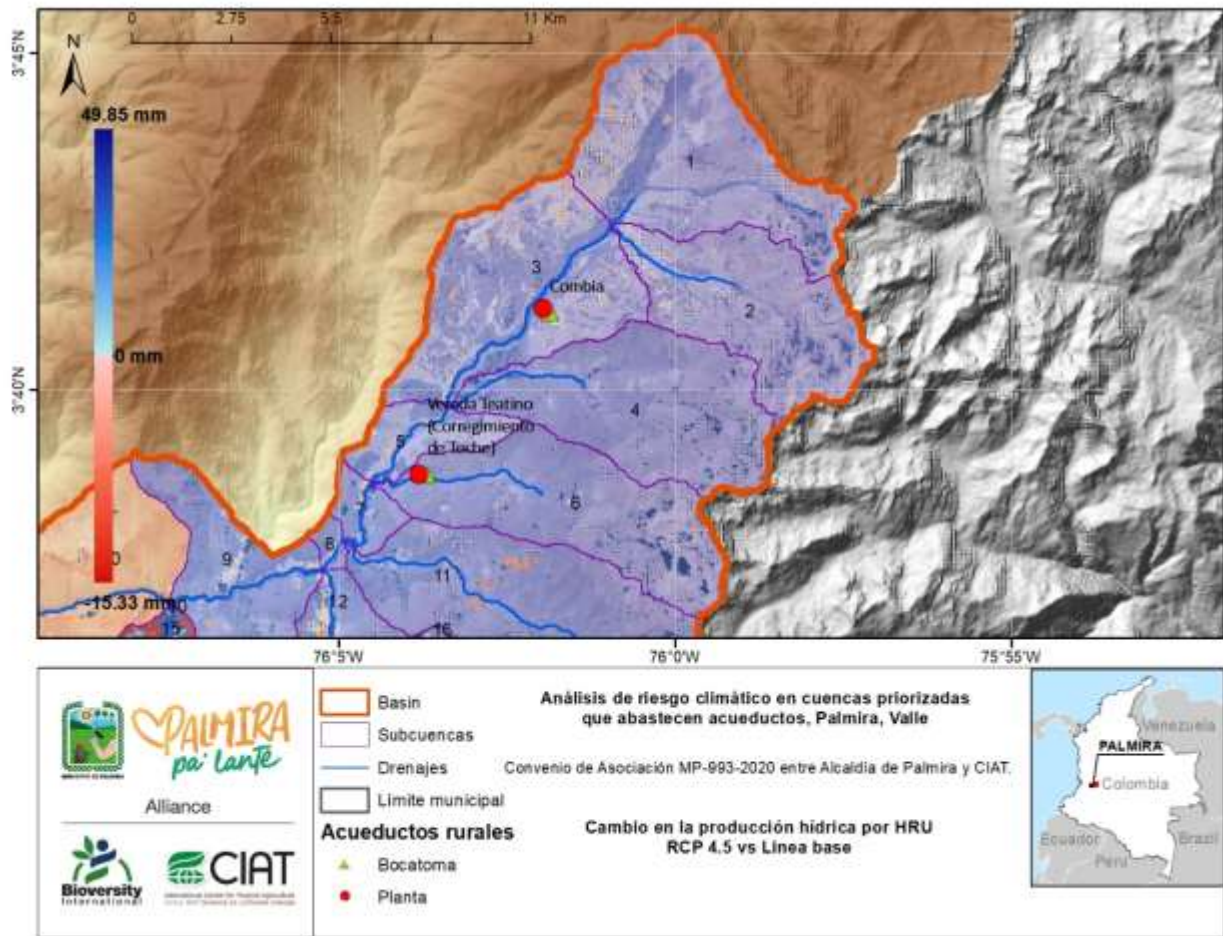
Fuente: CVC,2020.



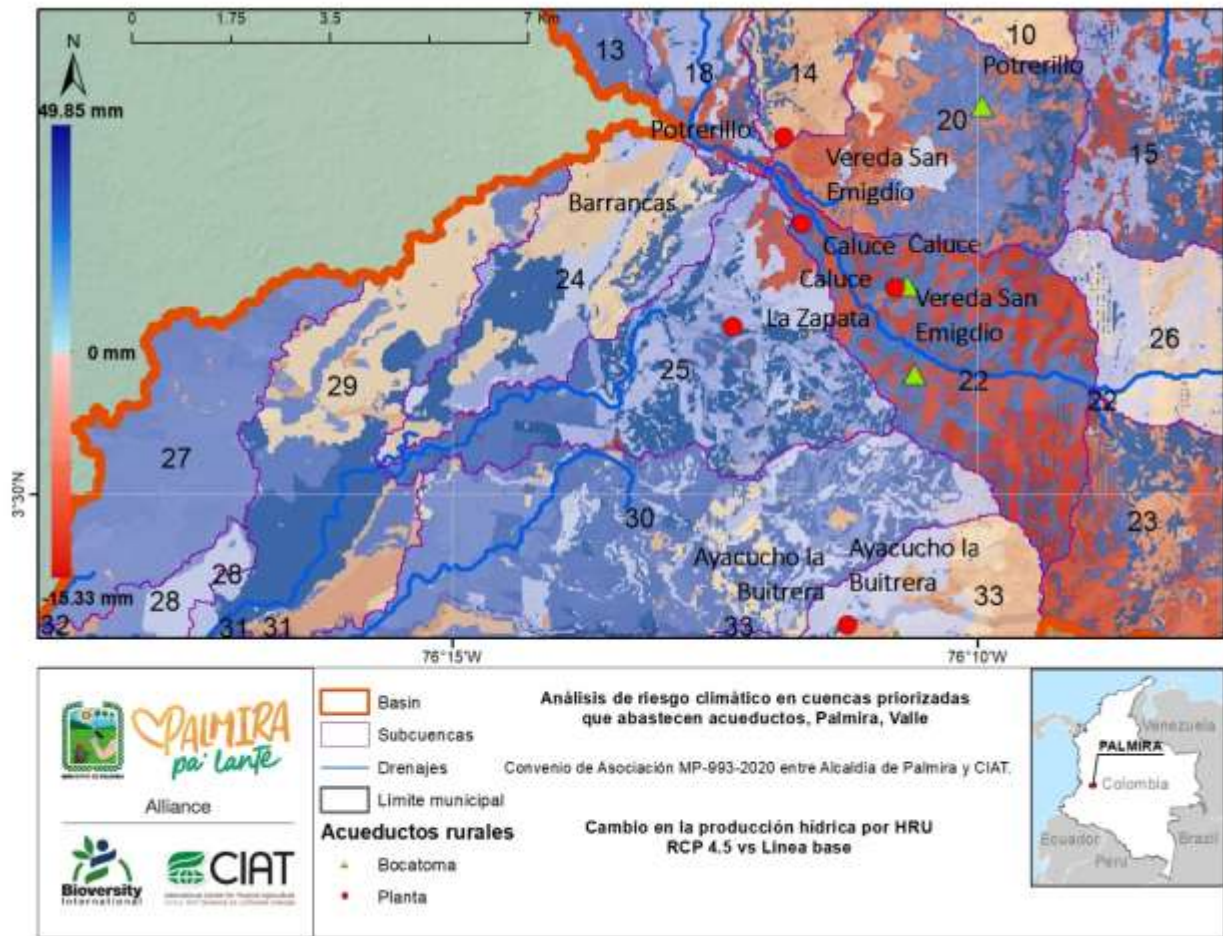
Mapa 13. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 33 (Ayacucho, La Buitrera).



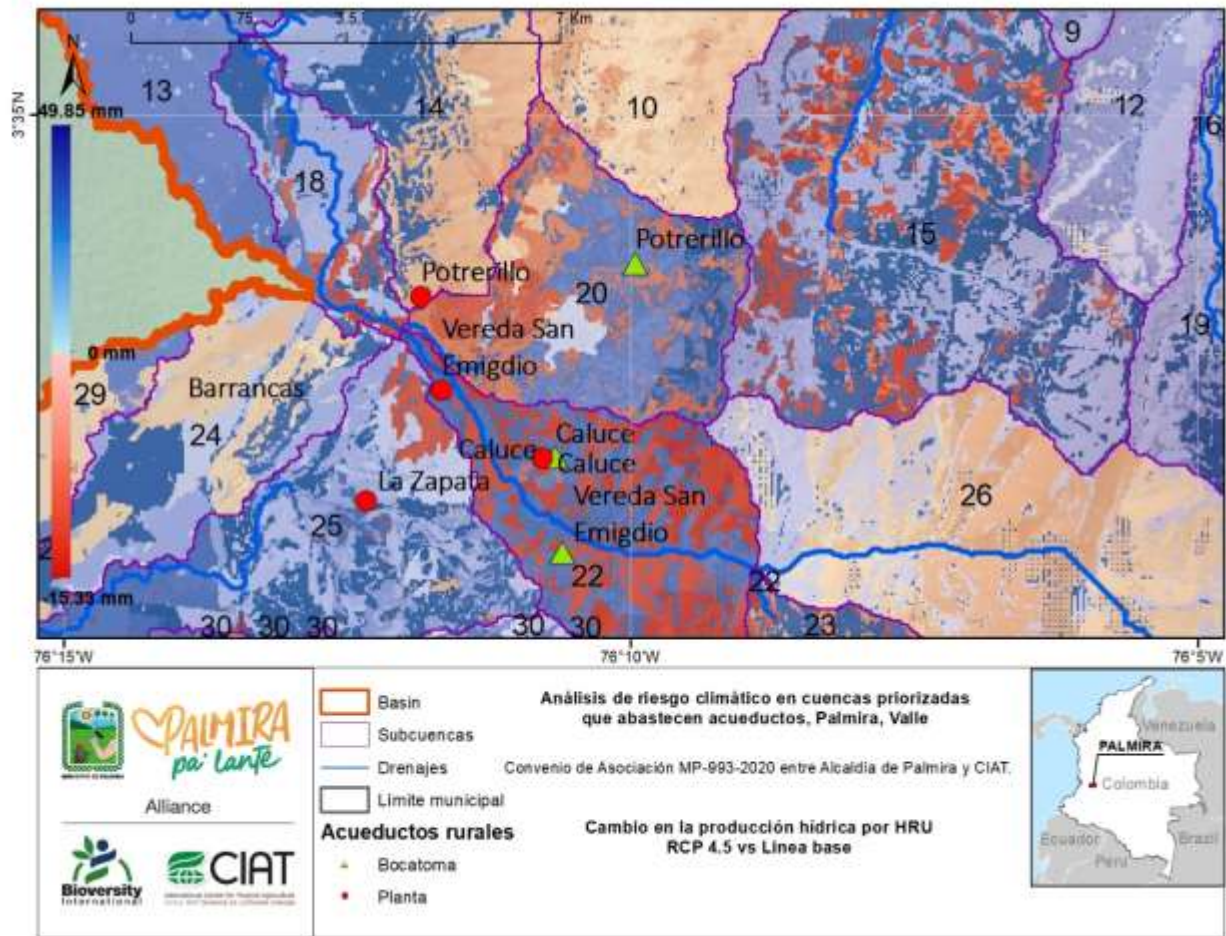
Mapa 14. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 24 y 25 (Barrancas y La Zapata, respectivamente).



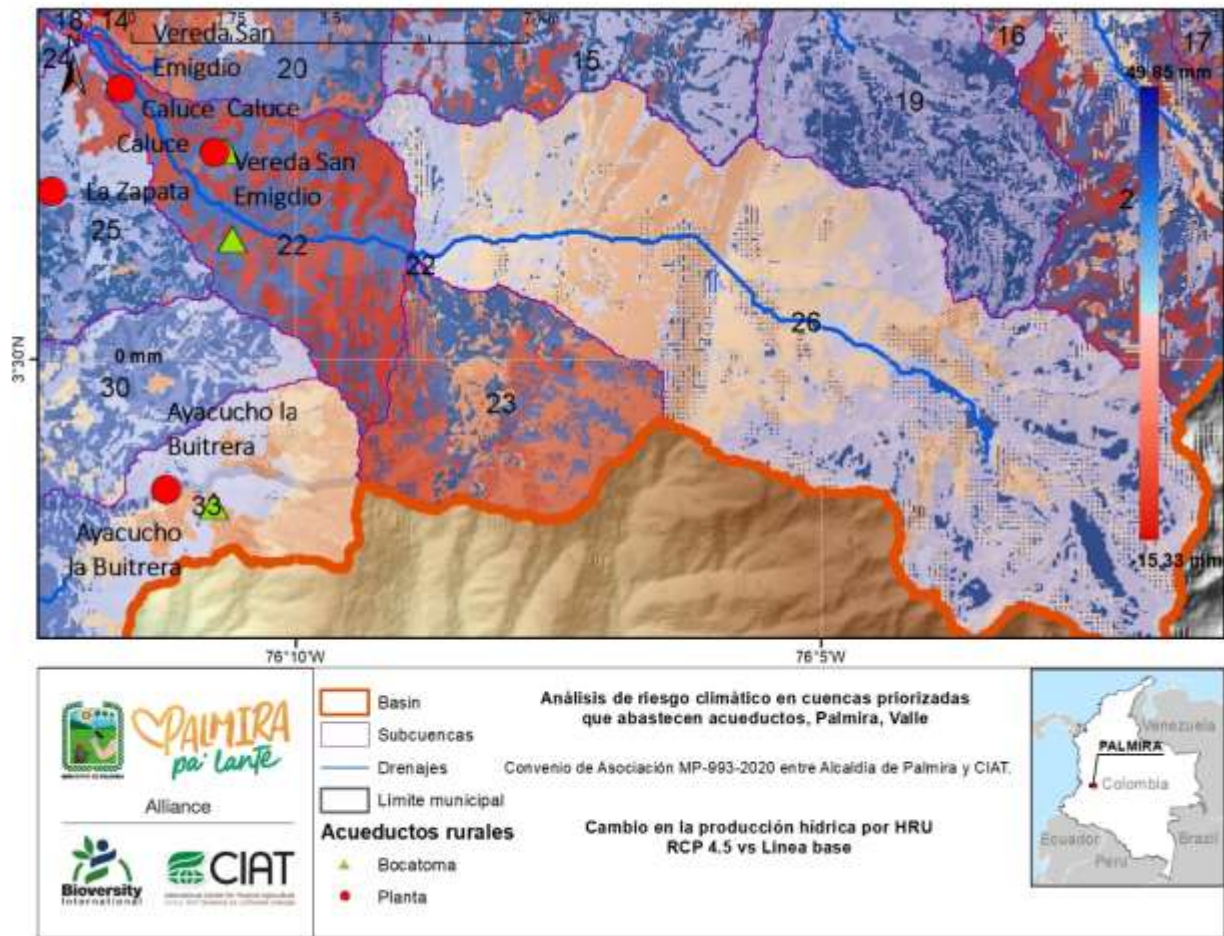
Mapa 15. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 3 y 6 (Combia y vereda teatino del corregimiento de Toche, respectivamente).



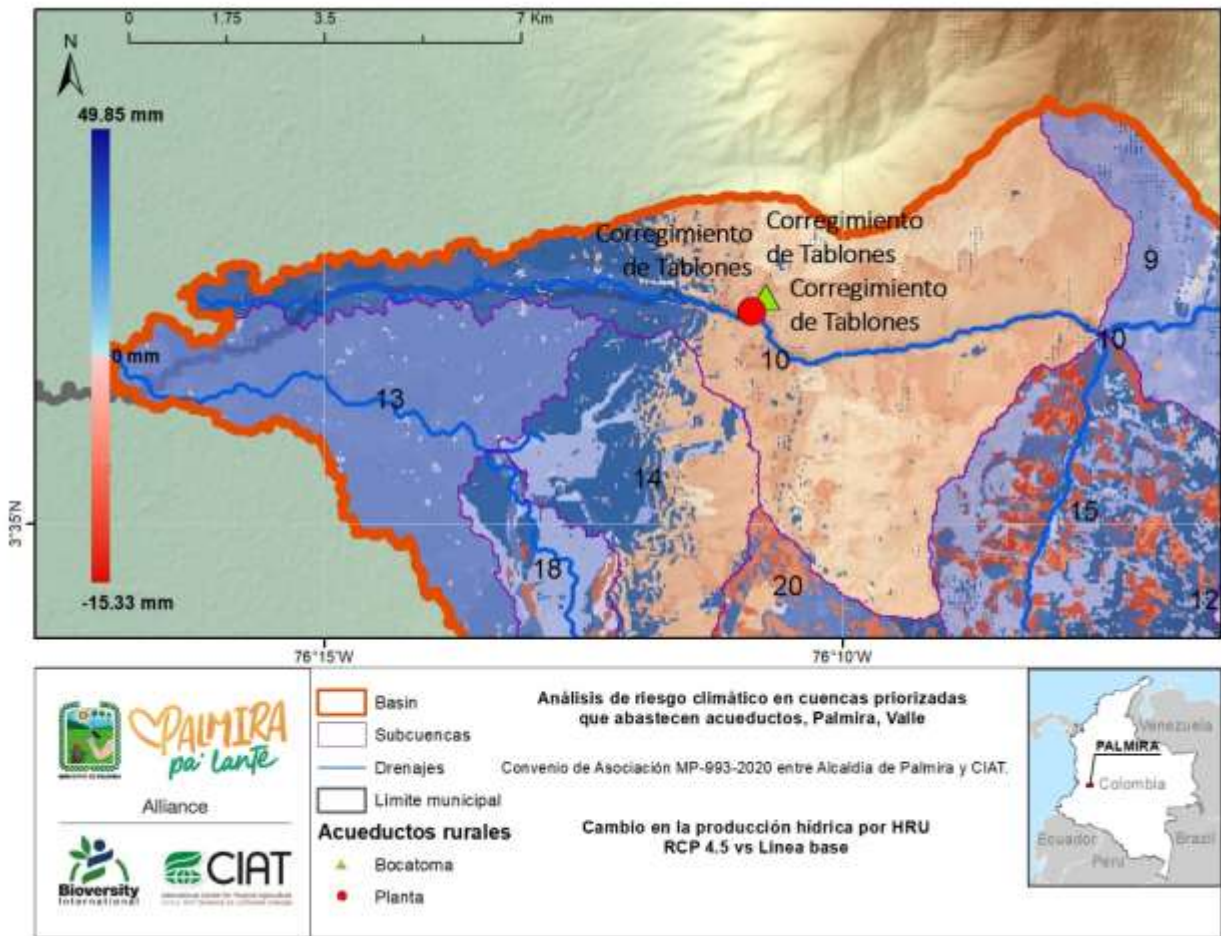
Mapa 16. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 25 (La Zapata).



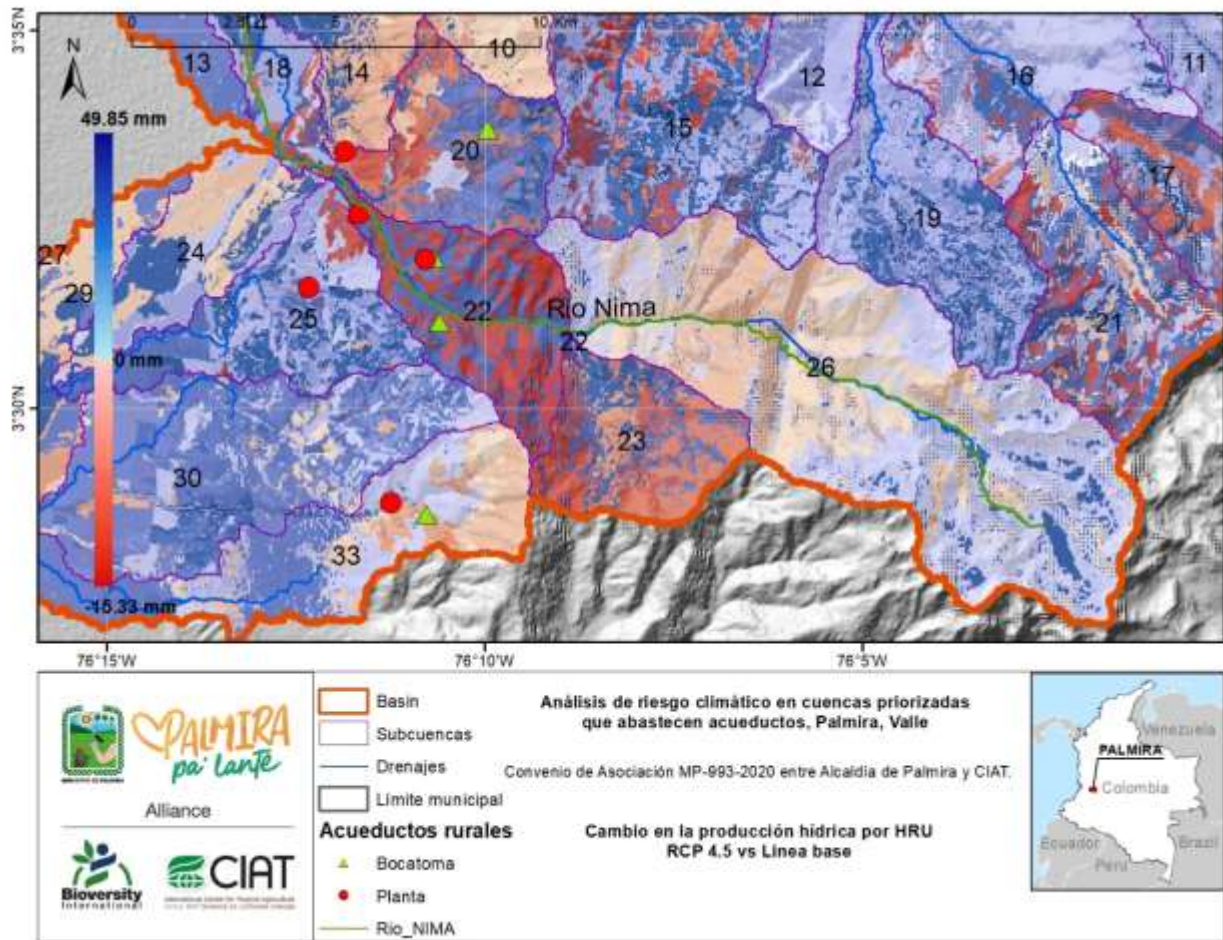
Mapa 17. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 20 (Potrerillo).



Mapa 18. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuencia 22 (San Emigdio y Calucé).



Mapa 19. Cambio en la producción hídrica por HRU en la subcuenca 10 (Tablones).



Mapa 20. Cambio en la producción hídrica por HRU en el área de drenaje del río Nima.