



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS.
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL.**

**“ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE FACTORES QUE INFLUYEN EN LA
OFERTA Y DEMANDA DE AGUA EN ESCENARIOS FUTUROS. CASO DE
ESTUDIO EN UNA CUENCA ANDINA REGULADA”.**

Trabajo de titulación previa
a la obtención del título de
Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Karina Fernanda Palacios Gárate.

C.I. 0105670194.

DIRECTOR:

Ing. Alex Manuel Avilés Añazco PhD

C.I. 0102247186.

CUENCA – ECUADOR
2017



RESUMEN

El crecimiento de la población, la actividad económica y la competencia por el agua entre los usuarios, están causando una alta demanda de los recursos hídricos, y esto sumado a la baja disponibilidad del agua por efecto de los cambios en el uso de las tierras y el clima, hacen prever periodos escasez que afectarán a los seres humanos y la salud de los ecosistemas. Se han realizado varios estudios sobre la hidrología y recursos hídricos con escenarios actuales en cuencas andinas, sin embargo pocos estudios se han realizado con escenarios futuros y menos aun analizando los factores integrales de cambio futuro que podría influir en la oferta y demanda de un sistema hídrico en una cuenca andina. Por esta razón, la importancia de esta investigación radica en el análisis de la sensibilidad de factores cambiantes que pueden estar influyendo en la oferta y demanda de agua en escenarios futuros. Mediante la construcción de escenarios con variación de los factores: población y demanda, clima y uso del suelo, el enfoque de este estudio se aplicó en la cuenca del río Machángara ubicada al sur del Ecuador, para lo cual se utilizó varias herramientas y modelos de evaluación de recursos hídricos y técnicas estadísticas para la creación de escenarios futuros. Los resultados obtenidos muestran que el cruce entre la oferta y demanda de agua futura presenta superávits de agua en la mayoría de escenarios, no obstante existen meses como enero y agosto que presentan déficits en varios escenarios. Además, la combinación de escenarios brindó una mejor visión de la importancia de cada uno de los factores en el balance hídrico del sistema de recursos hídricos de la cuenca. Estos resultados podrían ser de utilidad para formular medidas de gestión y planificación del agua con la finalidad de que se traduzcan en acciones concretas de toma de decisiones para precautelar la seguridad del agua para las generaciones actuales y futuras.

Palabras Clave: Recursos hídricos, cambio climático, cambio de uso del suelo, oferta y demanda de agua, cuencas andinas.



ABSTRACT

Population growth, economic activity and competition for water among users are causing a high demand for water resources, coupled with the low availability of water as a result of changes in land use and the climate, make predict shortage periods that will affect humans and the ecosystems health. A number of studies have been carried out on hydrology and water resources with current scenarios in andean basins, however few studies have been carried out with future scenarios and still less analyzing the integral factors of future change that could influence the supply and a water system demand of an andean basin.

For this reason, the importance of this research in the analysis of the sensitivity of changing factors that may be influencing the supply and water demand in future scenarios. Through the construction of scenarios with factors variation: population and demand, climate and land use, the focus of this study was applied in the Machangara river basin located to the south of Ecuador, for which several tools and evaluation models of water resources and statistical techniques for creation to future scenarios. The results obtained show that the crossing between supply and water demand on future presents water surpluses in most scenarios, however there are months like January and August that present deficits in several scenarios. In addition, the combination of scenarios provided a better insight into the importance of each factor in the water balance of the basin's water resources system. These results could be useful for formulating water management and planning measures with the aim of translating them into concrete decision-making actions to safeguard water security for current and future generations.

Key Words: Water resources, climate change, land use change, supply and demand of water, Andean basins.



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN 2

ABSTRACT 3

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES 15

 1.1 Introducción..... 15

 1.2 Justificación 16

 1.3 Objetivos 16

 1.3.1 Objetivo General 16

 1.3.2 Objetivos Específicos..... 16

CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... 16

 2.1 Disponibilidad del Agua..... 17

 2.2 Cambio climático..... 17

 2.2.1 Escenarios de Cambio Climático..... 17

 2.3 Revisión de Modelos hidrológicos 19

 2.4 Estudios realizados en Ecuador..... 21

 2.5 Estudios relacionados 22

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 23

 3.1 Descripción General..... 23

 3.2 Características topográficas..... 25

 3.3 Características Climatológicas 26

 3.4 Uso del Suelo..... 26

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA..... 27

 4.1 Recopilación y Preparación de los datos. 27

 4.2. Herramienta para la evaluación y planeación de sistemas de recursos hídricos (WEAP)..... 31

 4.2.1. Datos de entrada 32

 4.2.2. Series de Precipitación 34

 4.2.3 Series de Temperatura 37

 4.2.4. Modelo hidrológico..... 39

 4.2.5. Demanda de Agua 42

 4.3 Calibración 45

 4.3.1 Ingreso de datos de caudales 46

 4.3.2 Parámetros de Calibración. 47

 4.4. Validación. 49

 4.5. Creación de escenarios. 49



4.5.1 Escenarios de población y demanda:	50
4.5.2 Escenarios de cambio del uso del suelo	51
4.5.3 Escenarios climáticos	55
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
5.1 Resultados de la calibración	57
5.2 Resultados de la validación	64
5.3 Resultados de oferta y demanda de agua actual (escenario base)	68
5.4 Resultados del comportamiento de oferta y demana de agua de escenarios futuros.....	71
5.4.1 Escenario de población y demanda	71
5.4.1 Escenarios de cambio de uso del suelo.....	75
5.4.2 Escenarios de cambio climático.....	91
5.4.3 Escenarios de cambio de uso del suelo y cambio climático	98
5.4.4 Comparación de escenario base con los escenarios futuros.....	124
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
6.1 Conclusiones.....	129
6.2 Recomendaciones	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
ANEXOS	138

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Escenarios RCPs y su forzamiento radiativo.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3.1 Área y porcentaje del uso del suelo de la Cuenca del Río Machángara.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4.1. Estaciones hidrometeorológicas de la Cuenca del Río Machángara.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4.2 Información de Estaciones Meteorológicas.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4.3 Datos de volumen / elevación del embalse Chanlud.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4.4 Datos de volumen / elevación del embalse El Labrado.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4.5 Datos de los embalses de Chanlud y El labrado.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4.6 Régimen de la Precipitación Mensual.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4.7 Régimen de la Temperatura Mensual.</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4.8 Uso del suelo para cada microcuenca.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 4.9 Coeficiente de cultivo Kc.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4.10 Variación mensual de la precipitación.</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4.11 Porcentaje de consumo mensual</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4.12 Caudales del Machángara en Chanlud, periodo 1978 – 1999.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 4.13 Caudales del Machángara en El Labrado, periodo 1978 – 1999....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 4.14 Parámetros de Calibración</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 4.15 Información cartográfica sobre área de cultivos.</i>	<i>50</i>



Tabla 5.1 Parámetros usados para la calibración del modelo. 58

Tabla 5.2 Valores de los índices de eficiencia en el periodo de calibración..... 64

Tabla 5.3 Valores de los índices de eficiencia en el periodo de validación. 67

Tabla 5.4 Cálculo del Balance Hídrico de la Cuenca del Machángara. Escenario Base. 70

Tabla 5.5 Resultados de la Demanda de Riego. 74

Tabla 5.6 Caudales promedios mensuales, conversión es de Cultivos a Bosques. 76

Tabla 5.7 Cálculo del balance hídrico. Conversión de Cultivo a Bosque 80

Tabla 5.8 Caudales promedios mensuales, conversión es de Páramo y Bosque a Cultivos..... 81

Tabla 5.9 Cálculo del balance hídrico. Conversión de Páramo y Bosque a Cultivo. 85

Tabla 5.10 Caudales promedios mensuales, conversión es de Páramo y Bosque a Suelo descubierto..... 86

Tabla 5.11 Cálculo del balance hídrico. Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta. 90

Tabla 5.12 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 2.6 y RCP 8.5..... 95

Tabla 5.13 Cálculo del balance hídrico. Escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5..... 97

Tabla 5.14 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 2.6 y conversión de Cultivos a Bosque. 99

Tabla 5.15 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 8.5 y conversión Cultivos a Bosque. 99

Tabla 5.16 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivos. 100

Tabla 5.17 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivos. 100

Tabla 5.18 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta. 102

Tabla 5.19 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta. 102

Tabla 5.20 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión de Cultivos a Bosques..... 117

Tabla 5.21 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos. 118

Tabla 5.22 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta..... 120

Tabla 5.23 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión de Cultivos a Bosques..... 121

Tabla 5.24 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos. 122

Tabla 5.25 Cálculo del balance hídrico. Escenarios Climáticos RCP 8.5 y Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta..... 123

Tabla 5.26 Promedio mensual de la Oferta hídrica del escenario base y escenarios de cambio de uso del suelo. 125



Tabla 5.27 Promedio mensual de la Oferta hídrica del escenario base y escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5..... 126
Tabla 5.28 Promedio mensual de la Oferta hídrica del escenario base y escenario climático RCP 2.6 y cambio de uso del suelo. 126
Tabla 5.29 Promedio mensual de la Oferta hídrica del escenario base y escenario climático RCP 8.5 y cambio de uso del suelo. 128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Ubicación de la cuenca del Río Machángara. 23
Figura 3.2. Mapa de Microcuencas del Río Machángara. 24
Figura 3.3. Bandas de elevación de la cuenca del Río Machángara..... 25
Figura 3.4 Mapa de Uso del suelo de la cuenca del Río Machángara. 27
Figura 4.1 Mapa de Estaciones hidrometeorológicas de la cuenca del Río Machángara. 28
Figura 4.2. Curva de doble masa. 30
Figura 4.3 Esquema del sistema de recursos hídricos de la cuenca del Machángara. 32
Figura 4.4 Mapa de Isoyetas de Precipitación Anual. 35
Figura 4.5 Mapa de Isotermas de Temperatura anual. 37
Figura 4.6 Esquema Modelo Método Humedad del Suelo. 39
Figura 5.1 . Caudales Observados y Simulados de la Microcuenca Machángara Alto periodo de calibración. 58
Figura 5.2 Caudal observado y simulado total anual de la Microcuenca del Machángara Alto periodo de calibración. 59
Figura 5.3 Caudal observado y simulado promedio mensual de la Microcuenca del Machángara Alto periodo de calibración. 60
Figura 5.4 Caudales Observados y Simulados de la Microcuenca del Río Chulco periodo de calibración. 61
Figura 5.5 Caudal observado y simulado total anual de la Microcuenca del Río Chulco periodo de calibración. 62
Figura 5.6 Caudal observado y simulado promedio mensual de la Microcuenca de El Labrado periodo de calibración. 63
Figura 5.7 Caudales Observados y Simulados de la Microcuenca Machángara Alto periodo de validación. 64
Figura 5.8 Caudal observado y simulado total anual de la Microcuenca del Machángara Alto periodo de validación. 65
Figura 5.9 Caudales Observados y Simulados de la Microcuenca del Río Chulco periodo de validación. 66
Figura 5.10 Caudal observado y simulado total anual de la Microcuenca del Río Chulco periodo de validación. 66
Figura 5.11 Relación entre el caudal observado y simulado de la Microcuenca de Machángara Alto durante el periodo de calibración. 67
Figura 5.12 Relación entre el caudal observado y simulado de la Microcuenca Machángara Alto durante el periodo de validación..... 67
Figura 5.13 Relación entre el caudal observado y simulado de la Microcuenca del Río Chulco durante el periodo de calibración. 68



Figura 5.14 Relación entre el caudal observado y simulado de la Microcuenca del Río Chulco durante el periodo de validación. 68

Figura 5.15 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua actual (Escenario base). 69

Figura 5.16 Nivel de actividad anual que posiblemente presentaría la Planta de potabilización de Tixán. 72

Figura 5.17 Ecuación de la recta para la demanda de riego. 73

Figura 5.18 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 25% de Cultivos a Bosque. 77

Figura 5.19 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 50% de Cultivos a Bosque. 78

Figura 5.20 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 75% de Cultivos a Bosque. 78

Figura 5.21 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 100% de Cultivos a Bosque. 79

Figura 5.22 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 25% de Páramo y Bosque a Cultivos. 82

Figura 5.23 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 50% de Páramo y Bosque a Cultivos. 82

Figura 5.24. Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 75% de Páramo y Bosque a Cultivos. 83

Figura 5.25 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 100% de Páramo y Bosque a Cultivos. 83

Figura 5.26 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 25 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto..... 87

Figura 5.27 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 50 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto..... 88

Figura 5.28 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 75 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto..... 88

Figura 5.29 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 100 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto..... 89

Figura 5.30 Comparación del promedio mensual de temperatura del escenario base y escenario RCP 2.6. Estación Chanlud..... 91

Figura 5.31 Comparación del promedio mensual de temperatura del escenario base y escenario RCP 2.6. Estación El Labrado..... 92

Figura 5.32 Comparación del promedio mensual de temperatura del escenario base y escenario RCP 8.5. Estación Chanlud..... 92

Figura 5.33 Comparación del promedio mensual de temperatura del escenario base y escenario RCP 8.5. Estación El Labrado..... 93

Figura 5.34 Comparación del promedio mensual de Precipitación del escenario base y escenario RCP 2.6. Estación Chanlud..... 93

Figura 5.35 Comparación del promedio mensual de Precipitación del escenario base y escenario RCP 2.6. Estación El labrado..... 94

Figura 5.36 Comparación del promedio mensual de Precipitación del escenario base y escenario RCP 8.5. Estación Chanlud..... 94

Figura 5.37 Comparación del promedio mensual de Precipitación del escenario base y escenario RCP 8.5. Estación El labrado..... 95



Figura 5.38 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6..... 96

Figura 5.39 Promedio mensual de la oferta y demanda de agua escenario climático RCP 8.5..... 96

Figura 5.40 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 25% de Cultivos a Bosque. 103

Figura 5.41 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 50% de Cultivos a Bosque. 104

Figura 5.42 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 75% de Cultivos a Bosque. 104

Figura 5.43 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 100% de Cultivos a Bosque. 105

Figura 5.44 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 25% de Páramo y Bosque a Cultivos. 106

Figura 5.45 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 50% de Páramo y Bosque a Cultivos. 106

Figura 5.46 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 75% de Páramo y Bosque a Cultivos. 107

Figura 5.47 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 100% de Páramo y Bosque a Cultivos. 107

Figura 5.48 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 25% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. 108

Figura 5.49 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 50% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. 108

Figura 5.50 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 75% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. 109

Figura 5.51 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. 109

Figura 5.52 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 25% de Cultivos a Bosque. 110

Figura 5.53 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 50% de Cultivos a Bosque. 110

Figura 5.54 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 75% de Cultivos a Bosque. 111

Figura 5.55 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 100% de Cultivos a Bosque. 111

Figura 5.56 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 25% de Páramo y Bosque a Cultivos. 112

Figura 5.57 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 50% de Páramo y Bosque a Cultivos. 112

Figura 5.58 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 75% de Páramo y Bosque a Cultivos. 113



Figura 5.59 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 100% de Páramo y Bosque a Cultivos. 113

Figura 5.60 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 25% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. 114

Figura 5.61 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 50% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. 114

Figura 5.62 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 75% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. 115

Figura 5.63 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. 115

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Balance de masa del modelo hidrológico para el balde superior... 40

Ecuación 2 Balance de masa del modelo hidrológico para el balde inferior.... 40

Ecuación 3 Evapotranspiración Penman-Monteith 41

Ecuación 4 Optimización de Nash-Sutcliffe..... 45

Ecuación 5 Optimización de Nash-In (Logarítmico). 46

Ecuación 6 Optimización de Balance de masa (BIAS)..... 46

Ecuación 7 Downscaling estadístico. 56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Scripts de R sobre procesamiento de datos descargados en formato NetCDF 138

Anexo 2 Scripts de R del método de downscaling estadístico utilizando la corrección del sesgo. 144

Anexo 3 Meses que presentan Déficit de agua en toda la serie de tiempo futura. 148



Universidad de Cuenca

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Karina Fernanda Palacios Gárate en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE FACTORES QUE INFLUYEN EN LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA EN ESCENARIOS FUTUROS. CASO DE ESTUDIO EN UNA CUENCA ANDINA REGULADA”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, Noviembre de 2017.

Karina Fernanda Palacios Gárate

C.I: 0105670194



Universidad de Cuenca
Cláusula de Propiedad Intelectual

Karina Fernanda Palacios Gárate, autora del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE FACTORES QUE INFLUYEN EN LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA EN ESCENARIOS FUTUROS. CASO DE ESTUDIO EN UNA CUENCA ANDINA REGULADA”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, Noviembre de 2017.

Karina Fernanda Palacios Gárate

C.I: 0105670194



AGRADECIMIENTOS

De manera especial agradezco a Dios por acompañarme en esta trayectoria de mi vida y darme la oportunidad de lograr una meta importante, a mis padres Jorge y Carmita por todo el apoyo y compromiso a lo largo de la vida universitaria y a mis hermanos Geovanny, Jenny y Tatiana.

Agradezco infinitamente a mi tutor de Tesis Ing. Alex Avilés Añazco, PhD por haber dirigido mi proyecto, compartiendo sus conocimientos y experiencias para llegar a culminar con éxito y poder obtener el título universitario.

De igual manera agradezco a todas las entidades que me aportaron de la información para el desarrollo del estudio como son ETAPA EP, ELECAUSTRO, INAHMI, al Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca.



DEDICATORIA

A Dios por su apoyo y guía a lo largo de toda mi vida.

A mis padres Jorge y Carmita, en especial a mi madre por su apoyo y fortaleza para culminar esta carrera profesional, y a mis hermanos Geovanny, Jenny y Tatiana, a mi amigo fiel Niko, los cuales son mi soporte para mantenerme en pie y seguir luchando por mis sueños.

A mis sobrinos, Sebastián, Kevin, Heidi y Joel, que son los seres más grandes que llegaron a mi vida, y gracias a su amor puro y su sonrisa que transmiten alegría.

A todos mis amigos quienes en algún momento me tendieron la mano para poder culminar con éxito esta carrera que tanto amo.



CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

Una de las mayores preocupaciones que se tiene en la actualidad es la sensibilidad de la disponibilidad de agua ante factores como el crecimiento poblacional, el cambio de uso del suelo y principalmente ante el cambio climático.

Los efectos del cambio climático implican variaciones en la temperatura, cambios en la precipitación, lo cual puede ocasionar mayor frecuencia de sequía, influyendo en la disponibilidad del agua (Chavez-Jimenez et al., 2013).

Debido a que el agua es un elemento esencial para los seres vivos y además de cumplir la función de mantener la integridad del entorno natural, se considera un recurso hídrico indispensable de incalculable valor tanto económico y ecológico, representando un reto para el desarrollo socio-económico a nivel mundial.

Su disponibilidad al enfrentarse a una oferta que disminuye frente a una demanda creciente doméstica e industrial, se ve afectada por factores como los cambios demográficos, uso del suelo y cambios en el clima, que inciden en la cantidad de agua disponible en el futuro. Estos factores perjudican la cantidad y calidad de agua en una cuenca hidrográfica, siendo el cambio climático el fenómeno de mayor importancia en las instituciones encargadas de la gestión del agua.

Existe una preocupación por los efectos mundiales en los recursos hídricos por la variabilidad climática y el cambio climático lo cual demandará una mejor gestión del agua para enfrentar las inundaciones y sequías. Además, el cambio climático repercutirá significativamente en la disponibilidad de los recursos hídricos, condicionando el uso del agua para las generaciones futuras.

Otro factor que afectará la disponibilidad de agua futura será el cambio del uso del suelo. El reemplazo de páramos y bosques por zonas agrícolas y ganaderas, están provocando cambios en el funcionamiento hidrológico (Hofstede et al., 2014), provocando más sequías en épocas de verano y más inundaciones en épocas de invierno. La afectación de estos ecosistemas conduce a efectos negativos en la regulación natural de caudales y el rendimiento hídrico en cuencas de montaña (Hofstede et al., 2014). Estos cambios podrían afectar a los residentes de las tierras bajas que se benefician de los bienes y servicios de estas cuencas.

Se han realizado varios estudios sobre la hidrología y recursos hídricos con escenarios actuales en cuencas andinas, sin embargo, pocos estudios se han realizado con escenarios futuros y menos aun analizando los factores integrales de cambio futuro que podría influir en la oferta y demanda de un sistema hídrico en una cuenca andina.



Es por esto que el propósito de este estudio pretende aumentar el conocimiento en la rama de recursos hídricos analizando la sensibilidad de la oferta y demanda de agua con respecto a escenarios futuros de cambio climático, cambio del uso del suelo y cambios demográficos en la población. Además, evaluar el comportamiento de la disponibilidad de agua futura, comparar el escenario base (actual) con los escenarios futuros y recomendar alternativas de gestión y planificación del agua en la actualidad y en el futuro.

1.2 Justificación

Los impactos socioeconómicos de los cambios futuros sobre los recursos hídricos están generando preocupación en la comunidad de gestores de agua en una cuenca, debido a la importancia del agua como recurso esencial para la vida y materia prima de procesos productivos en una región. Por esta razón, la importancia de esta investigación radica en el análisis de la sensibilidad de factores que pueden estar influyendo en la oferta y demanda de agua en escenarios futuros.

Este estudio podría servir para la toma de decisiones con respecto a la planificación y gestión del agua en la actualidad y en el futuro. Además podría ser un instrumento para formular políticas y medidas para aumentar la oferta y disminuir la demanda, para un uso sustentable del agua en la actualidad y en el futuro.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la sensibilidad de factores que influyen en la oferta y demanda de agua en escenarios futuros de una cuenca andina regulada.

1.3.2 Objetivos Específicos

Construir escenarios futuros con variación de los factores: población y demanda, clima y uso del suelo.

Evaluar el comportamiento de la oferta y demanda de agua futura.

Analizar la sensibilidad de la disponibilidad del agua con respecto a la variación de los factores (población y demanda, clima y uso del suelo).

Comparar los escenarios actuales con los escenarios futuros y recomendar alternativas de gestión y planificación del agua en la actualidad y en el futuro.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



2.1 Disponibilidad del Agua

La tierra está conformada por un 70% de agua, pero la mayor parte se encuentran en los océanos y solo el 3% es agua dulce, la cual se encuentra en los glaciales, casquetes polares y apenas el 1% están en los lagos y ríos, por lo que es un recurso hídrico fácilmente accesible para su consumo (Agudelo, 2005).

El uso de agua para la agricultura, industria y consumo doméstico, crearán competencias que se verán reflejadas a futuro, esto es debido al alto crecimiento demográfico, falta de educación y conciencia para el manejo de las cuencas hidrográficas y el uso adecuado del agua (Agudelo, 2005).

La disponibilidad de agua en cada región del planeta se proyecta como un problema, puesto que parte del Oriente Medio y el norte de África sufren de escasez de agua (Nieto, 2011).

América Latina y el Caribe consideran el agua dulce como una de sus mayores riquezas, pues poseen cuatro de los 25 ríos más grandes del mundo, los cuales son el Amazonas en Brasil, el Paraná en Argentina, el Orinoco en Venezuela y el Magdalena en Colombia, sin embargo, América Latina se enfrenta también a la escasez de agua especialmente en áreas rurales e indígenas. Esto es debido al alto crecimiento poblacional, a la falta de educación sobre el cuidado del agua, a la industrialización regulada, al cambio climático y a las prácticas agrícolas deficientes (Nieto, 2011).

2.2 Cambio climático

Los cambios que se dan en el clima incluyen: el aumento de la temperatura, cambio en la precipitación, elevación del nivel del mar y frecuencia de fenómenos climáticos los cuales producen mayor variabilidad climática (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014).

El cambio climático afecta a la biodiversidad en general, teniendo influencia en la disponibilidad del agua, alterando la flora y fauna, lo cual provoca un desequilibrio ecológico (García, 2011).

El impacto del cambio climático en los sistemas hidrológicos tiene mayor preocupación en los últimos tiempos debido a sus efectos en los recursos hídricos, ocasionando sequías e inundaciones (Mora, Campozano, Cisneros, Wyseure, & Willems, 2014).

La precipitación y la evapotranspiración son entradas importantes del sistema hidrológico, puesto que al haber un cambio en la precipitación se da un cambio en la escorrentía y en la disponibilidad del agua. Además, la evapotranspiración se ve relacionada con la temperatura, humedad y presión atmosférica (Mora et al., 2014).

2.2.1 Escenarios de Cambio Climático

En el año 2013, en el quinto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), se definen cuatro nuevos escenarios



de emisión, llamados Trayectorias de Concentración Representativas conocidos como RCP, por sus siglas en inglés. Se caracterizan por su forzamiento radiativo total para el año 2100 que va entre 2.6 a 8.5 W/m² (Tan, Ibrahim, Yusop, Chua, & Chan, 2017).

Se reconocen cuatro escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero, (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2013) estos son:

El RCP 2.6 se considera un escenario con un nivel de forzamiento muy bajo, el RCP 4.5 y RCP 6.0 se consideran escenarios de estabilización y el RCP 8.5 es un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (CIIFEN, 2014).

El escenario RCP 2.6, su objetivo es limitar el calentamiento global a menos de 2°C a finales del siglo, esto se puede lograr si el forzamiento radiativo hacia el año 2100 alcanza valores menores a 3W/m², por tal razón para este RCP 2.6 se ha supuesto que, inicialmente el forzamiento radiativo crezca hasta alcanzar un pico de 3.1 W/m² a mediados de siglo, luego empieza a reducirse hasta que hacia el final del siglo alcance un valor de 2.6 W/m² (Tan et al., 2017).

El escenario RCP 4.5, es un escenario de estabilización, el cual consiste que para el año 2100, el forzamiento radiativo es de 4.5 W/m². En este escenario, se considera que la población mundial llega a nueve mil millones en 2065 y se reduce a 8.7 mil millones en 2100. Las emisiones de GEI llegan a su máximo alrededor del año 2040, luego comienza a bajar hasta el año 2080, cuando se estabiliza (CIIFEN, 2014).

El escenario RCP 6.0, las emisiones de GEI y los cambios de uso de suelo se traducen en un forzamiento radiativo de 6 W/m² al año 2100. Lo cual requiere disminuciones de emisiones a partir del año 2060 que se pueden lograr a través de imposición de políticas climáticas. La población crece hasta 9.8 billones al año 2100 (CIIFEN, 2014).

Finalmente, el escenario RCP 8.5, es un forzamiento muy alto de gases de efecto invernadero, con una trayectoria de forzamiento radiativo ascendente hasta 8.5 W/m² en el año 2100 (Tan et al., 2017) en este escenario las emisiones y concentraciones de GEI son muy altas, se tiene un alto crecimiento poblacional (CIIFEN, 2014). En la tabla 2.1 se tiene las tendencias del forzamiento radiativo y las concentraciones del CO₂ en el año 2100.

Tabla 2.1 Escenarios RCPs y su forzamiento radiativo.

	Forzamiento Radiativo (FR)	Tendencia del FR	[CO₂] en 2100
RCP 2.6	2.6 W/m ²	decreciente en 2100	421 ppm
RCP 4.5	4.5 W/m ²	estable en 2100	538 ppm
RCP 6.0	6.0 W/m ²	creciente	670 ppm
RCP 8.5	8.5 W/m ²	creciente	936 ppm

Tendencias de forzamiento radiativo. Fuente: Tomado de la guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC.WGI. (Cambio Climático: Bases Físicas, 2013)

Estos escenarios RCPs se diferencian de los escenarios SRES del cuarto informe del IPCC, porque los RCPs indican las concentraciones de emisión de los gases de efecto invernadero (GEI), mientras que los SRES solo proporciona



información de las emisiones de GEI a futuro. El nuevo escenario RCP 2.6 tiene concentraciones mucho más bajas que cualquiera de los escenarios SRES que se utilizan en el cuarto informe del IPCC, y el escenario RCP 8.5 llega a finales de siglo con concentraciones de CO₂ más altas que cualquiera de los escenarios utilizados en el cuarto informe del IPCC (CIIFEN, 2014).

2.3 Revisión de Modelos hidrológicos

Modelo VHM (Veralgemeend conceptueel Hydrologisch Model por sus siglas en Holandés)

Es un modelo conceptual y semidistribuido de lluvia escurrentía su calibración se basa en un proceso iterativo realizado por el usuario. Simula los procesos de lluvia escurrentía que se da en la cuenca hidrográfica de estudio. Sus componentes de trabajo son: el flujo base, el interflujo y el flujo superficial de la serie de caudales observados (Willems, Mora, Vansteenkiste, Taye, & Van Steenberg, 2014).

Consta de cuatro submodelos: el submodelo de almacenamiento, el submodelo de flujo terrestre, el submodelo de interflujo y los modelos de enrutamiento. Se necesitan datos de precipitación, caudal y evapotranspiración a una escala horaria. Se presente problema en la limitación de datos (Willems et al., 2014).

Modelo MIKE SHE

Es un modelo determinístico, continuo y distribuido, ayuda a la simulación de flujos, calidad del agua, transporte de sedimentos y procesos morfológicos de erosión y sedimentación (Liang, Chunguang, Hongfeng, & Sheng, 2016).

La compleja construcción del modelo y la función de MIKE SHE generan problemas. Usar MIKE SHE para modelar cuencas requiere de un equipo multidisciplinario integrado por personas con habilidades en hidrogeología, ciencias del suelo, agronomía e hidráulica computacional, por lo tanto es muy complejo su uso y su implementación. Además, no es de libre acceso (Liang et al., 2016).

Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

SWAT fue diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en conjunto con la Universidad de Texas, es un modelo que permite predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la generación de agua, sedimentos y producción de sustancias agrícolas y químicas, es un modelo aplicable a nivel de cuencas hidrográficas, permite simular la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea (Oestreicher, 2008).

Es un modelo accesible se puede conseguir de forma gratuita, es usado para la predicción de caudales y sedimentos en una cuenca hidrográfica. Requiere de variables climáticas como la precipitación, la temperatura del aire, la radiación



solar, la velocidad del viento y la humedad relativa. Utiliza serie de datos diarios (Galván, Olías, Fernández, & Santos, 2007). Para el uso del suelo requiere datos de: textura, profundidad, materia orgánica y contenido de carbono (Oestreicher, 2008).

Modelo HBV – light (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning)

Fue desarrollado por Swedish Meteorological and Hydrological Institute en Suecia, utilizado para simulaciones de escorrentía (Seibert, 2005). Es un modelo semidistribuido, conceptual y continuo, ha sido usado en varios países para zonas montañosas, sin embargo, no se registran estudios realizados aplicando este modelo en zonas andinas (Montalván, 2017).

El modelo HBV-light consta de cuatro módulos principales: un módulo de acumulación de nieve, un módulo de humedad del suelo y precipitación efectiva, un módulo de evapotranspiración y un módulo de estimación de escorrentía (Jódar, Cabrera, & Martos, 2015).

Necesita datos diarios de precipitación, temperatura, caudal y datos de evapotranspiración de referencia media mensual (Seibert, 2005).

Modelo WEAP (Water Evaluation And Planning System)

Es una herramienta de modelación para la planificación integrada de recursos hídricos, fue desarrollado por el Stockholm Environment Institute en 1988. Es de libre acceso. El modelo WEAP puede ser aplicado en diversas escalas desde pequeñas zonas de captación hasta cuencas grandes (Stockholm Environment Institute, 2009).

Contiene un modelo hidrológico para evaluar el régimen hidrológico en el futuro por cambios en el clima y el uso del suelo, donde se puede estimar cambios en la oferta y demanda de agua. Además, la aplicación del modelo permite la comparación de escenarios futuros por la variación climática y variación en las condiciones hidrológicas en la cuenca (Stockholm Environment Institute, 2009).

Es de gran utilidad para la planificación de recursos hídricos, con WEAP se puede realizar un balance de la oferta de agua con la demanda de agua. A diferencia de otros modelos hidrológicos basados en modelación hidrológica externa, WEAP es un modelo forzado por variables climáticas, por otro lado, WEAP incluye rutinas diseñadas para distribuir el agua entre diversos tipos de consumidores desde una perspectiva humana y ecosistémica, por estas características WEAP se convierte en un modelo ideal para cambios en la precipitación, estima cambios en la oferta y demanda de agua (Guía de Modelación WEAP, 2009).

Este estudio se inclinó por el modelo WEAP debido a su libre acceso, su integración con los procesos de simulación de escenarios futuros y su facilidad de implementación. Además, el modelo WEAP toma en cuenta la demanda y



oferta hídrica, realizando balances y obteniendo resultados que sirven para la planificación y gestión del agua.

2.4 Estudios realizados en Ecuador

Los cambios climáticos de los extremos hidrometeorológicos e hidrológicos en la cuenca del Paute, Ecuador, Andes: Este estudio tuvo lugar en la cuenca del Río Paute, las subcuencas de análisis fueron la de Tomebamba en Monay y Matadero en Sayausí, el objetivo fue estimar proyecciones de escenarios futuros para la temperatura y la lluvia dentro de la cuenca del río Paute para 2045 a 2065. Las proyecciones se realizaron con el modelo hidrológico VHM para modelar los caudales futuros y el uso de escenarios de cambio climático B1, A1B y A2 del cuarto informe del IPCC. La reducción de escala global a regional se llevó a cabo mediante un enfoque delta. Los resultados obtenidos indican un incremento de la temperatura de hasta 2°C. La intensidad de la precipitación se incrementa y posiblemente producirá pico en los valores de escorrentía (Mora et al., 2014).

Impacto del cambio climático en los caudales de una cuenca de páramo. Primera aproximación: Este estudio se llevó a cabo en la cuenca Huagrahuma, ubicada al noroeste de la ciudad de Cuenca a 4120 m.s.n.m, el objetivo del estudio fue analizar el impacto que el ecosistema de páramo podría influenciar en los caudales de dicha cuenca. Se realizó con el uso del modelo conceptual VHM (Veralgemeend conceptueel Hydrologisch Model por sus siglas en Holandés) para la modelación de caudales con series futuras de precipitación y evapotranspiración en tres escenarios de cambio climático B1, A1B y A2. Se usó datos en una escala horaria de precipitación, caudal y evapotranspiración. Los resultados indican que los caudales pico podrían variar proporcionalmente a las emisiones y los caudales mínimos presentan relación inversamente proporcional con las emisiones de CO₂ (Farfán, 2016).

Evaluación del desempeño del modelo hidrológico HBV-light en una microcuenca de páramo: El estudio se realizó en el Observatorio Ecohidrológico de Zhurucay ubicado al suroeste del Ecuador, en la parte central de la provincia del Azuay. El objetivo del estudio fue evaluar el desempeño del modelo hidrológico HBV-light en la microcuenca del río Zhurucay. Los resultados obtenidos indicaron que el modelo HBV-light es aplicable a ecosistemas de páramo por sus condiciones de adaptabilidad de estructuras que presenta la cuenca de estudio (Montalván, 2017).

Simulación hidrológica de la cuenca del río Alambi en Nanegal frente al cambio de uso del suelo y su impacto en el recurso hídrico: este estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Alambi que está ubicada al norte del Ecuador en Quito. El objetivo fue evaluar la incidencia del cambio de uso del suelo en el régimen hidrológico de la cuenca de estudio. Se consideraron cuatro escenarios: uno de situación actual de la cuenca (escenario base), áreas a deforestar por parte de los involucrados de la cuenca, otro de proyección poblacional de las parroquias dentro de la cuenca y un último de proyección poblacional y áreas a deforestar.



Para lo cual se utilizó el modelo hidrológico SWAT. Como resultados se obtuvo que los caudales incrementan en periodos de lluvia y en periodos secos disminuyen con respecto al escenario base (Sánchez, 2015).

2.5 Estudios relacionados

Existen algunos estudios similares que se han realizado anteriormente, los cuales se detallan a continuación:

Modelación hidrológica y planificación de recursos hídricos de la cuenca alta del río Paute: implementación del modelo WEAP: Este estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Paute, con el objetivo de introducir esta herramienta Water Evaluation And Planning System (WEAP) en la planificación de recursos hídricos de la cuenca alta del río Paute tratando de mejorar la capacidad de adaptación en respuesta a los riesgos del cambio climático en la gestión de recursos hídricos. Se realizaron las simulaciones del cambio climático mediante el modelo WEAP y se utilizó el modelo de circulación general regional denominado Providing Regional Climates for Impacts Studies (PRECIS, por sus siglas en inglés) (Vintimilla & Vizñay, 2009). Como resultados se muestran que las proyecciones para la temperatura tendrán un aumento de alrededor de 3 a 5 °C, la precipitación un aumento en los registros anuales con un rango de entre 115 y 530 mm, la población de la ciudad de Cuenca para el año 2098 alcanza una cifra de 1250000 habitantes, consecuencia de este crecimiento la demanda de agua se elevará, por lo cual se requiere un caudal promedio mensual estimado de 3.2 m³/s para satisfacer la demanda (Vintimilla & Vizñay, 2009). La diferencia con el presente estudio es el uso del downscaling para generar proyecciones climáticas y la generación de escenarios de cambio en el uso de suelo, que en el presente estudio se presentan varias alternativas, mientras que el estudio de (Vintimilla & Vizñay, 2009), solo considera un tipo de uso de suelo en todos los análisis, además Vintimilla y Vizñay utilizaron los escenarios climáticos SRES A2 y B2 los cuales solo proporcionan información de las emisiones de los gases de efecto invernadero a futuro, en lugar de los escenarios climáticos RCPs que brindan información sobre las concentraciones de emisión de los gases de efecto invernadero.

Impactos del cambio climático sobre la operación del sistema hídrico de la laguna Laja: Este estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Laja que está ubicada en el centro Sur de Chile, con el objetivo de estimar los cambios que una variación climática puede producir en el régimen hidrológico y la operación del sistema hídrico de la laguna Laja, la cual posee intensos usos agrícolas e hidroeléctricos. Se realizaron las proyecciones de precipitación y temperatura de 12 modelos climáticos globales, en tres escenarios de emisión de GEI, escenarios SRES A2, A1B y B1 para el periodo de 2011-2098, para la simulación de los caudales se utilizó el modelo hidrológico WEAP, (Ayala, 2011). Como resultados de este estudio se muestra un aumento de temperatura en la estación base desde los 0.8°C en los primeros años, hasta los 2°C en los últimos 30 años del siglo XXI. Por otro lado, la precipitación disminuye entre un 4.4% a 17.1% en los mismos periodos, estos cambios de precipitación y temperatura provocan modificaciones



en el ciclo hidrológico, disminuyendo los caudales de los cauces y la disponibilidad del recurso hídrico para el sector agrícola e hidroeléctrico (Ayala, 2011). Se diferencia del presente estudio en la creación de los escenarios climáticos, la consideración de la demanda poblacional y la demanda de riego, y el método de downscaling para la proyección de las variables climáticas.

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 Descripción General

El enfoque de este estudio se aplica en la cuenca del río Machángara ubicada al sur del Ecuador. Esta cuenca tiene un área de 325 km², representa un soporte vital para la población cuencana debido a los servicios que genera a partir del recurso hídrico. Está conformada por tres microcuencas: Río Machángara Alto con una superficie de 13238 ha, Río Chulco que tiene una superficie de 6623 ha, y Río Machángara Bajo con superficie de 12684 ha. Su delimitación se realizó utilizando el software ArcGIS versión 10.3 (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2013).

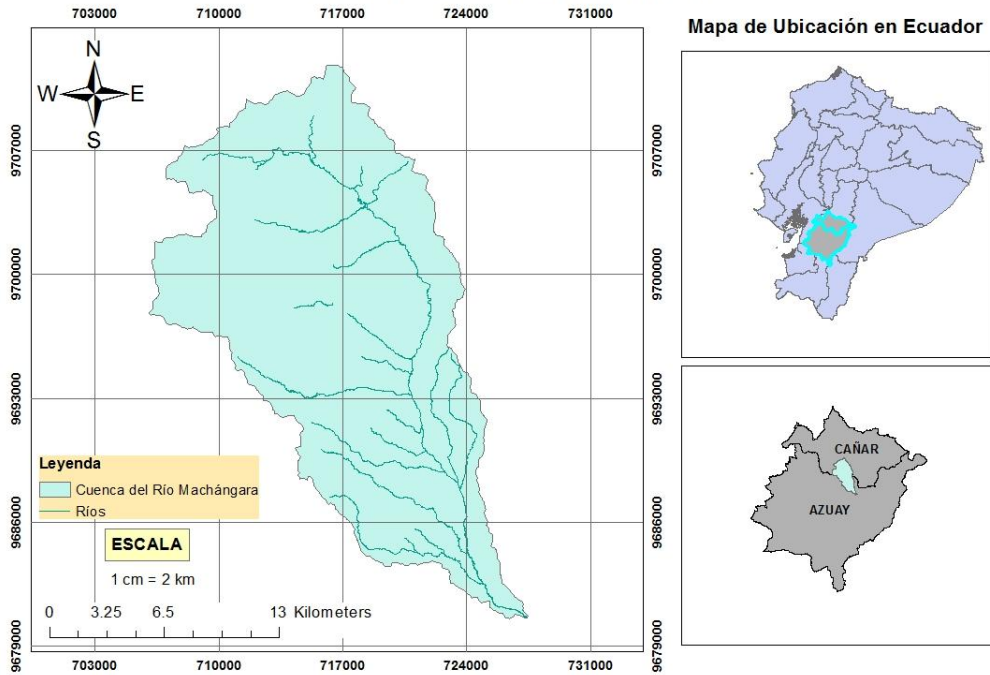
En su parte alta se encuentran dos embalses Chanlud y El Labrado las cuales tienen una capacidad de 16.25 y 6.25 Hm³ respectivamente y brindan un suministro de agua para generación hidroeléctrica, a través de las centrales de Saucay y Saymirin. Además, brinda agua a más de la mitad de la población de la ciudad de Cuenca, también el agua es utilizada para riego y actividades industriales en la parte baja de la cuenca. Es una cuenca con gran biodiversidad por la presencia de bosques en donde habitan varias especies de flora y fauna (Consejo de la Cuenca del Machángara, 2008).

En la figura 3.1 se muestra el mapa de ubicación de la cuenca del río Machángara.

En la figura 3.2 se muestra el mapa la cuenca del río Machángara, con sus respectivas microcuencas.

Figura 3.1. Ubicación de la cuenca del Río Machángara.

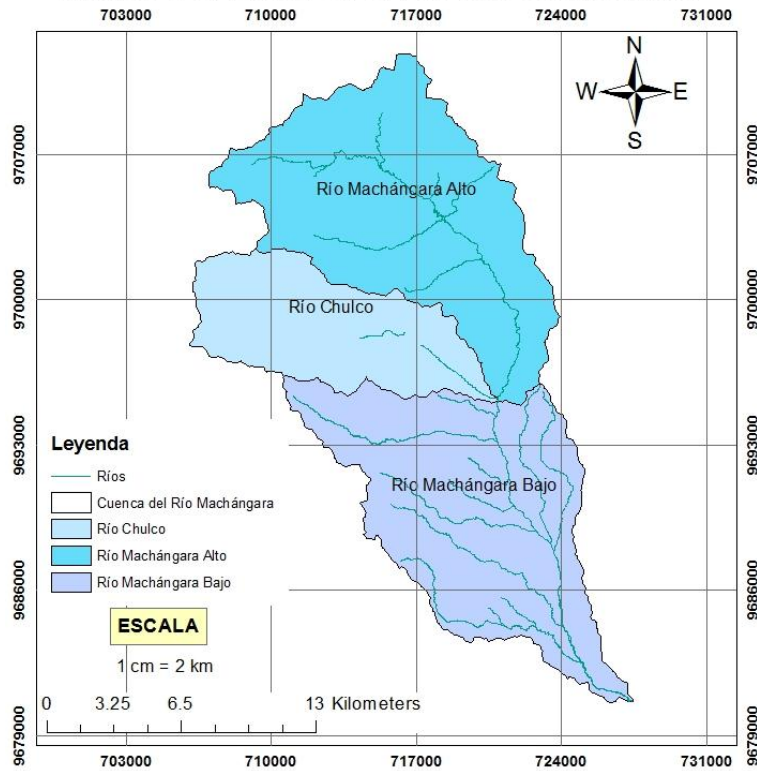
CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA



Elaborado por: Palacios K. 2017
 Fuente: (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2013).

Figura 3.2. Mapa de Microcuencas del Río Machángara.

MICROCUENCAS DEL RÍO MACHÁNGARA



Elaborado por: Palacios K. 2017
 Fuente: (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2013).

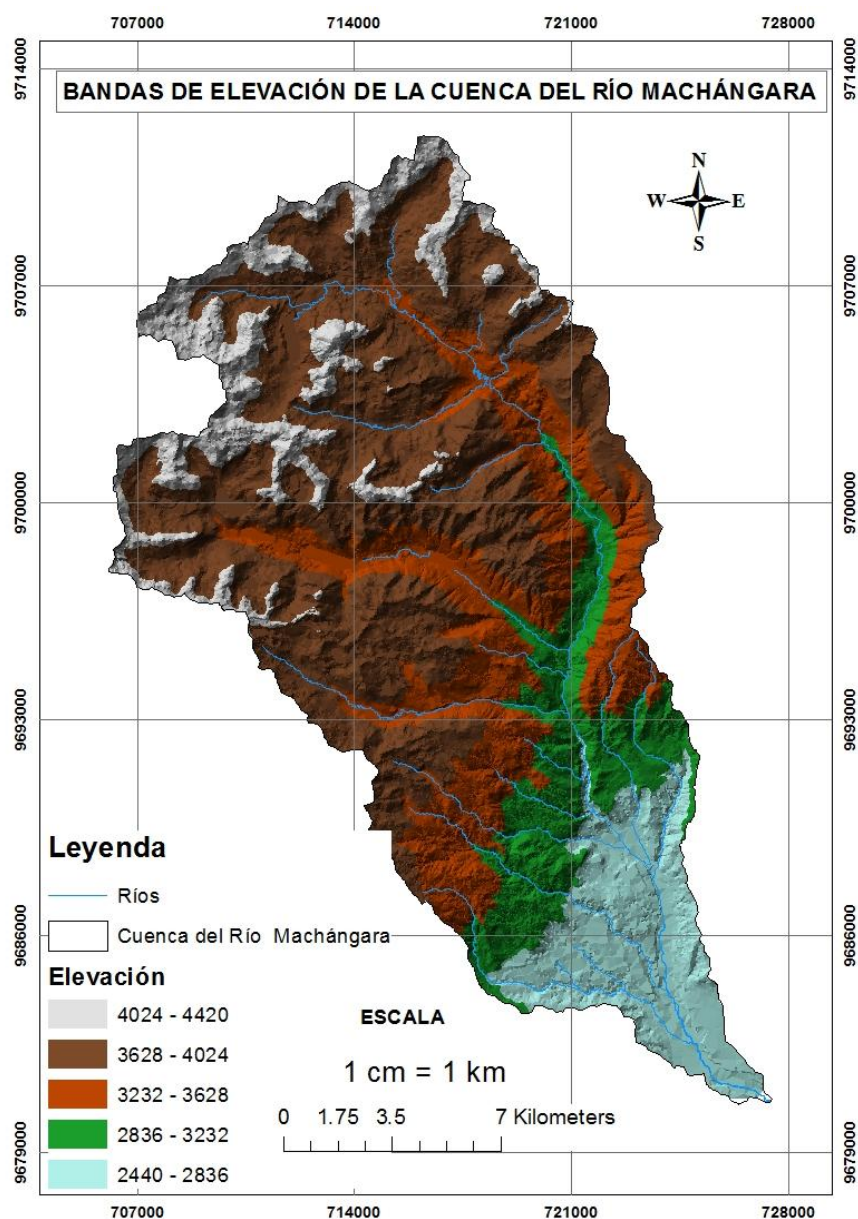
3.2 Características topográficas

La cuenca del río Machángara presenta un relieve que es determinante para procesos meteorológicos que incluyen la precipitación y la temperatura. La altitud de la cuenca se clasifica en tres grupos (Carchi, 2015) :

- Cuenca alta de: 3500 a 4500 m.s.n.m.
- Cuenca media de: 2600 a 3500 m.s.n.m.
- Cuenca baja de: 2500 a 2600 m.s.n.m.

En la figura 3.3 se presenta un mapa con las bandas de elevación que tiene la cuenca del río Machángara.

Figura 3.3. Bandas de elevación de la cuenca del Río Machángara.



WGS84 ZONA 17 SUR

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2013).

3.3 Características Climatológicas

La cuenca del Río Machángara presenta diferentes características climáticas, en la parte alta el clima es frío y en la parte media y baja es templado. Su temperatura media varía entre 8,1°C y 14°C, la humedad relativa está entre el 76% y 88% y su precipitación media entre 856mm y 1309mm (Consejo de la Cuenca del Machángara, 2008).

La superficie total de la cuenca es de 325 km² (32500 ha), de los cuales 252.25 km² (25225 ha) se encuentran categorizados por el Ministerio del Ambiente como Bosque Protegido Machángara – Tomebamba desde el año 1985 (Consejo de la Cuenca del Machángara, 2008).

3.4 Uso del Suelo

La cuenca del Río Machángara está conformada principalmente por zonas de páramo con un área de 221.41 km² representando más del 50% de su cuenca, en dónde está delimitada zonas de conservación y protección.

Además, en su cuenca alta también se encuentra bosque natural con un área de 18.83 km², vegetación arbustiva con 4.98 km² y cuerpos de agua natural con 1.32 km² de área (IGM, 2013).

La agricultura y ganadería tiene influencia en sus suelos en la parte baja siendo los cultivos de maíz con mayor área de 46.22 km² representando un 14.20% del total de la cuenca, el pasto cultivado con un área de 28.81 km² y un 2.36 km² correspondiente a zona urbana (IGM, 2013).

En la tabla 3.1 se indica el uso del suelo, su área y porcentaje correspondiente, y en la figura 3.4 se indica el uso del suelo de la Cuenca del Río Machángara.

Tabla 3.1 Área y porcentaje del uso del suelo de la cuenca del Río Machángara.

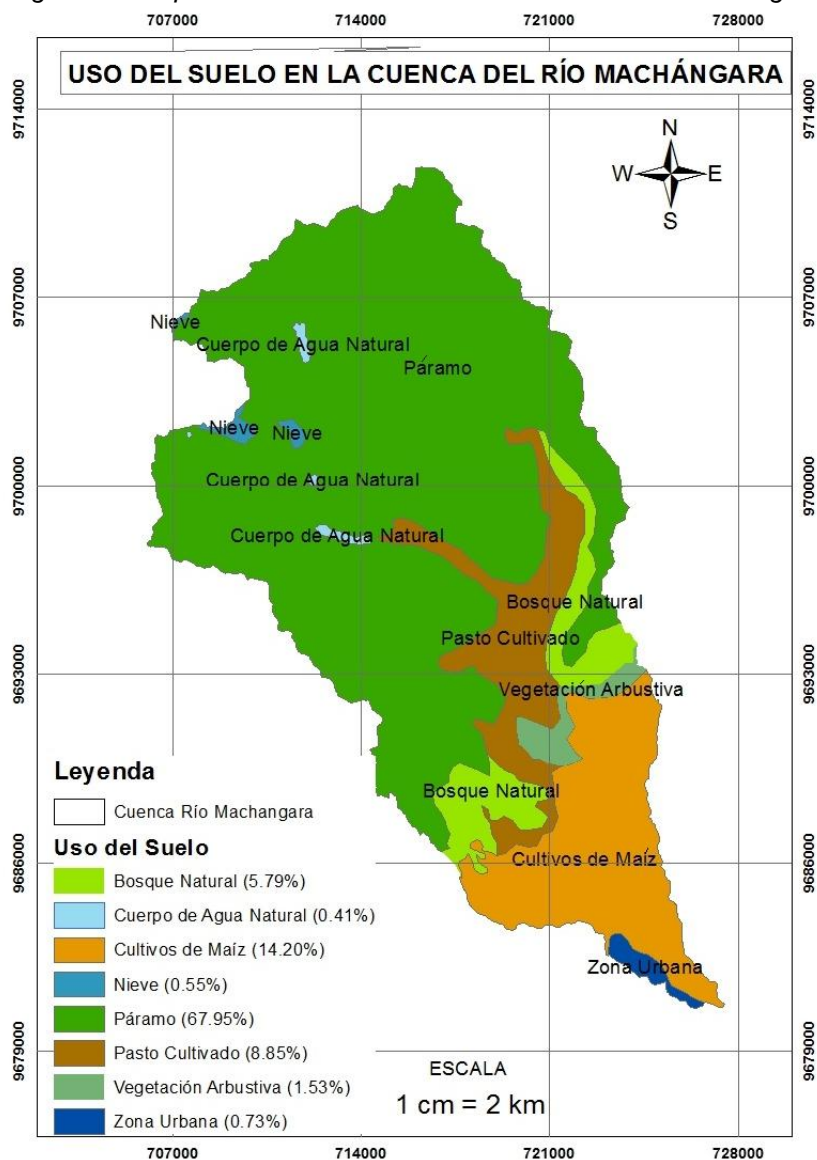
Uso de Suelo	Área km ²	%
Páramo	221.14	67.95
Cultivos de maíz	46.22	14.20
Pasto Cultivado	28.81	8.85
Bosque Natural	18.83	5.79
Vegetación Arbustiva	4.98	1.53
Zona Urbana	2.36	0.73
Nieve	1.79	0.55
Cuerpo de Agua Natural	1.32	0.41
Total	325.45	100

WGS84 ZONA 17 SUR

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013).

Figura 3.4 Mapa de Uso del suelo de la cuenca del Río Machángara.



CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

4.1 Recopilación y Preparación de los datos.

Se recopiló información disponible de la cuenca del río Machángara de empresas como ETAPA EP e INAMHI que cuentan con datos de estaciones hidrometeorológicas. De los datos obtenidos se consideraron importantes para el estudio las series de tiempo de las siguientes variables:

- Precipitación media mensual 1978 – 2008.
- Temperatura media mensual 1978 – 2008.

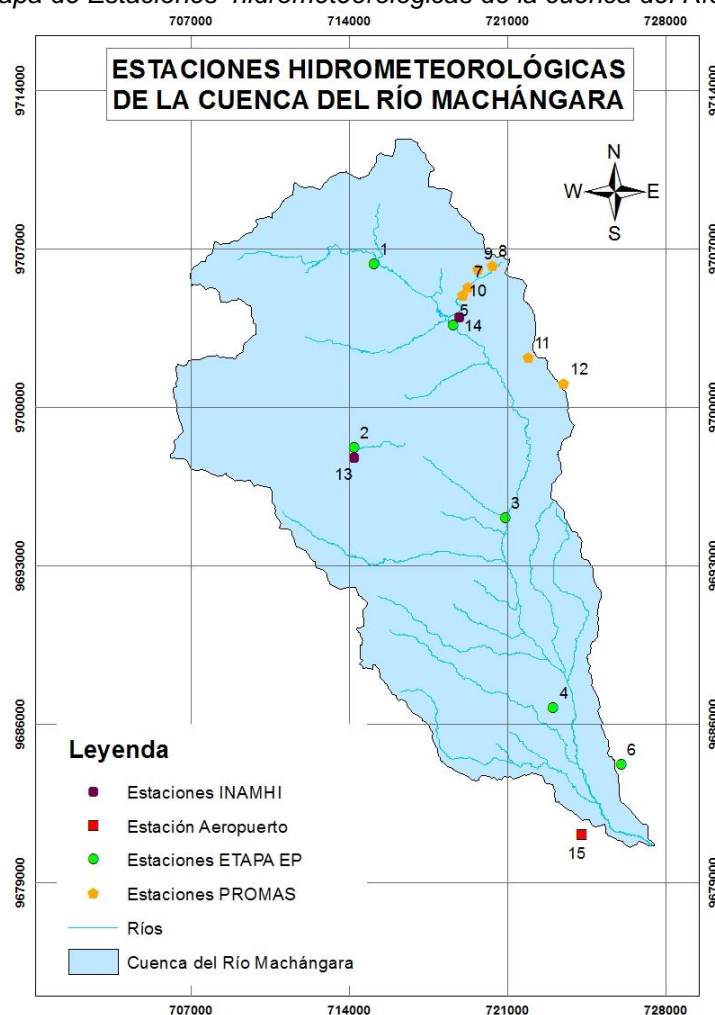
- Caudal medio mensual 1978 – 2008.
- Humedad media mensual 1978 – 2008.
- Velocidad del viento 1978 – 2008.

Para el estudio se optó por un periodo de datos desde enero de 1978 hasta diciembre de 2008, lo cual corresponde a un total de 31 años de tiempo de modelación, debido a que en ese periodo existieron la mayoría de las variables utilizadas en este estudio.

Se visitó las empresas ETAPA EP, Elecaastro y la unidad de investigación PROMAS, con el objetivo de recopilar información sobre las estaciones meteorológicas y pluviométricas que cada una monitorea en la cuenca del río Machángara.

En la figura 4.1 se tiene el mapa de las estaciones hidrometeorológicas de la cuenca del río Machángara y en la tabla 4.1 se indica las coordenadas de las estaciones y su fecha de monitoreo.

Figura 4.1 Mapa de Estaciones hidrometeorológicas de la cuenca del Río Machángara.



Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013).



Tabla 4.1. Estaciones hidrometeorológicas de la cuenca del Río Machángara.

ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS - CUENCA MACHÁNGARA								
	Tipo Estación	Número	Nombre	Ubicación			Fecha de monitoreo	
				UTM X	UTM Y	UTM Z	Inicio	Fin
ETAPA EP	Meteorológicas	1	Chanlud ETAPA	715089	9706315	3851	2015	Actual
		2	El Labrado ETAPA	714224	9698186	3434	2016	Actual
		3	Saucay	720890	9695100	2979	2015	Actual
		4	Tixán en la PTAP	723026	9686691	2708	2015	Actual
	Pluviométricas	5	Chanlud Empresa Eléctrica	718613	9703587	3485	2015	Actual
		6	Ricaurte	726027	9684215	2600	2015	Actual
PROMAS	Meteorológicas	7	Chanlud	719274	9705277	3659	2002	2004
	Pluviométricas	8	Huagrahuma alto	720333	9706219	3525	2001	2015
		9	Huagrahuma medio	719716	9706079	3590	2001	Actual
		10	Huagrahuma Bajo	719028	9704926	3645	2001	2005
							2015	Actual
		11	Soroche alto	721955	9702160	3678	2001	2007
		12	Soroche bajo	723497	9701005	3590	2002	2005
INAMHI	Meteorológicas	13	El Labrado INAMHI	714219	9697772	3335	1964	Actual
		14	Chanlud INAMHI	718864	9703952	3485	1964	Actual
Aeropureto	Meteorológicas	15	Aeropuerto	724168	9680735	2531	1964	Actual

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: (INAMHI, 2014), (ETAPA EP, 2017), (PROMAS, 2017).

Como se puede observar en la tabla 4.1 la mayoría de las estaciones son nuevas, por tal razón no cuentan con una serie de datos histórica, es por eso que para la realización de este estudio se utilizaron datos de las tres estaciones meteorológicas: Chanlud ETAPA, El Labrado INAMHI y Aeropuerto. En la figura 4.1 se presenta la ubicación las estaciones meteorológicas.

Las características de las tres estaciones meteorológicas, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Información de Estaciones Meteorológicas.

Estación	Altura (m.s.n.m.)	UTMx	UTMy	Información
Chanlud	3485	718864	9703952	1978 - 2008
El Labrado	3335	714219	9697772	1978 - 2008
Aeropuerto	2545	724168	9680735	1978 - 2008

Elaborado por: Palacios K. 2017.

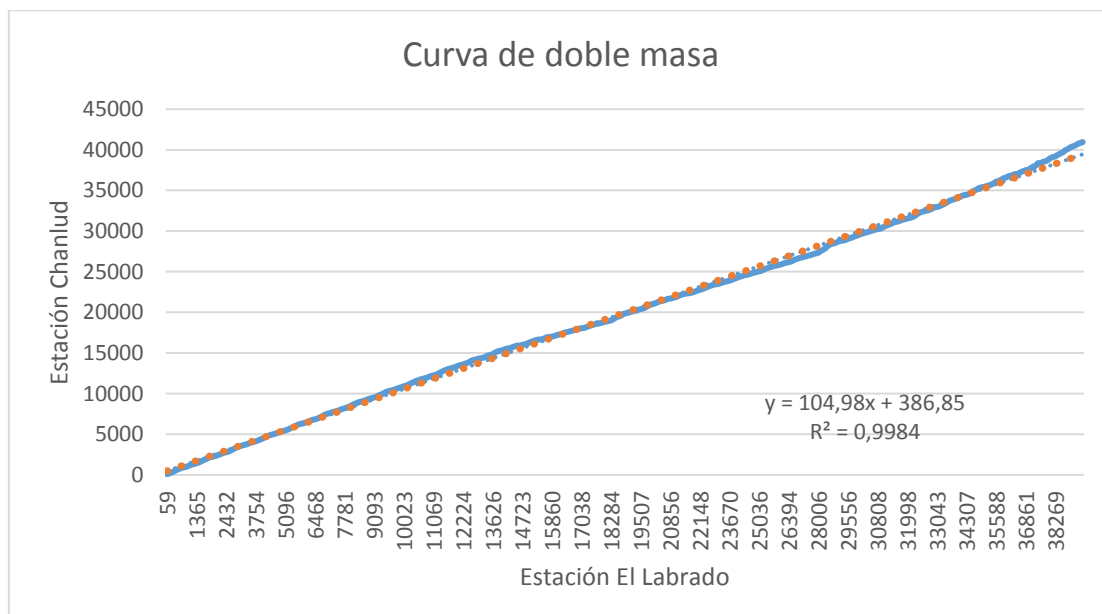
Fuente: (INAMHI, 2014).

Análisis de Homogeneidad

Para el análisis de homogeneidad se utilizó la curva de doble masa, la cual consiste en la curva acumulada de precipitación en el tiempo. En dónde, se compara la serie de estudio en este caso Chanlud con una serie patrón El Labrado (Castro & Carvajal Escobar, 2010).

En la cual, si la curva es una línea recta la serie es homogénea, si no es una línea recta la serie es no homogénea (Castro & Carvajal Escobar, 2010). En la figura 4.2 se presenta la curva de doble masa.

Figura 4.2. Curva de doble masa.



Elaborado por: Palacios K. 2017.



Relleno de información:

El relleno de información se realizó por el análisis de regresión lineal, este método sirve para cualquier variable y necesita al menos de una estación confiable para su relleno, para la cual se utilizó la estación de El Labrado, este método es útil para la estimación de datos mensuales y anuales (Romero & Casimiro, 2015).

4.2. Herramienta para la evaluación y planeación de sistemas de recursos hídricos (WEAP)

La herramienta WEAP (Water Evaluation And Planning System) es una herramienta de modelación para la planificación integrada de recursos hídricos, fue desarrollado por el Stockholm Environment Institute en 1988. El modelo WEAP puede ser aplicado en diversas escalas desde pequeñas zonas de captación hasta cuencas grandes (Stockholm Environment Institute, 2009).

Este modelo contiene un modelo hidrológico para evaluar el régimen hidrológico en el futuro por cambios en el clima y el uso del suelo, donde se puede estimar cambios en la oferta y demanda de agua. Además la aplicación del modelo permite la comparación de escenarios futuros por la variación climática y variación en las condiciones hidrológicas en la cuenca (Stockholm Environment Institute, 2009).

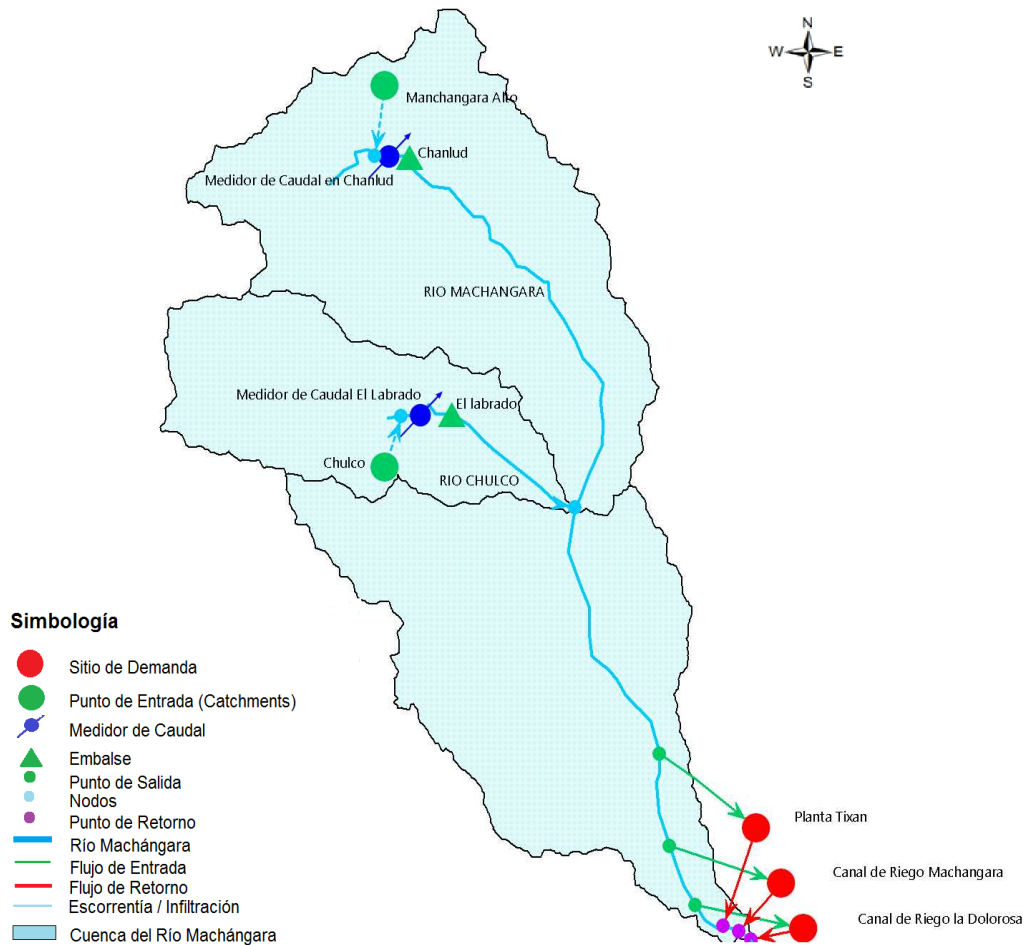
Para su aplicación emplea una paleta de diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores de recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible (Stockholm Environment Institute, 2009).

Se realiza una delimitación temporal tomando en cuenta los datos climatológicos e hidrológicos disponibles de las estaciones de la zona de estudio, mediante el traslape de esta información se obtendrá un periodo de mayor coincidencia de datos, el cual representa el Periodo de Simulación, que sirve para establecer y calibrar el modelo hidrológico de la cuenca del Río Machángara.

WEAP define nodos de influencia denominados “catchments”. Estos son zonas de captación las cuales representan un área geográfica y agrupa información hidrometeorológica del modelo y las propiedades del suelo que son específicas para cada cuenca (Stockholm Environment Institute, 2009). La figura 4.2 presenta un esquema del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río Machángara.

Figura 4.3 Esquema del sistema de recursos hídricos de la cuenca del Machángara.

ESQUEMA DE LA CUENCA DEL MACHÁNGARA EN EL MODELO WEAP



WGS84 ZONA 17 SUR

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013).

4.2.1. Datos de entrada

Los datos de entrada para la modelación con WEAP, consta de un horizonte de tiempo de 1978 a 2008, es decir un periodo de 31 años. Las $\frac{3}{4}$ partes de este periodo, es decir, desde el año 1979-1999 son para la calibración y la $\frac{1}{4}$ parte es para la validación del modelo, es decir, los datos correspondientes desde el 2000 – 2008. El año base se considera 1978. Esta división para la calibración y validación fue considerada en base a la bibliografía revisada.

La cuenca del Machángara cuenta con dos embalses Chanlud y El Labrado, los cuales se consideran fundamentales para el proceso de modelación.

Los datos que se ingresaron en los embalses son:

Embalse Chanlud:

Datos físicos:

- Capacidad de almacenamiento = $16.25 \text{ Hm}^3 = 16250000 \text{ m}^3$



- Volumen inicial 50 % = 8500000 m³
- Curva de volumen / elevación:

Tabla 4.3 Datos de volumen / elevación del embalse Chanlud.

Volumen (m ³)	Elevación (m)
0.95	1.35
747362.2	5
2161053.7	10
3996019.6	15
6219856.4	20
8800160.3	25
11704527.7	30
14900555.1	35
16253372.37	37

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: (Consejo de la Cuenca del Río Machangara, ACOTECNIC Cía. Ltda., 2014).

- Evaporación = 0 se asume el valor que da por efecto el WEAP (Debido a que no se obtuvo datos de evaporación, y este dato no es relevante para la modelación).
- Pérdidas de agua subterránea = 0 se asume el valor que da por efecto el WEAP (Se asume ese valor debido por lo que no se tiene serie de datos de pérdidas de agua subterránea y este dato no es relevante para la modelación).

Datos de operación:

- Máximo Nivel de conservación¹ = 12 750 000 m³
- Máximo nivel de seguridad² = 8 500 000 m³
- Máximo nivel inactivo³ = 4 250 000 m³

EL LABRADO

Datos físicos:

- Capacidad de almacenamiento = 6.25 Hm³ = 6 250 000 m³
- Volumen inicial 50 % = 3 125 000 m³
- Curva de volumen / elevación:

¹ Es el volumen máximo del agua de un embalse (permitiendo un margen para control de inundaciones) (Stockholm Environment Institute, 2009).

² Por debajo de este nivel, las descargas del embalse son restringidas (Stockholm Environment Institute, 2009).

³ Volumen de agua en un embalse no disponible para la asignación (Stockholm Environment Institute, 2009).

Tabla 4.4 Datos de volumen / elevación del embalse El Labrado.

Volumen (m³)	Elevación (m)
69555.7	0
624008.2	2
1409032.1	4
2372276.3	6
3461390.1	8
4624022.1	10
5807821.6	12
6217464.1	12.7
6252325.9	12.76

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: (Consejo de la Cuenca del Río Machangara, ACOTECNIC Cía. Ltda., 2014).

- Evaporación = 0 se asume el valor que da por efecto el WEAP.
- Pérdidas de agua subterránea = 0 se asume el valor que da por efecto el WEAP.

Datos de operación:

- Máximo Nivel de conservación = 4 687 500 m³
- Máximo nivel de seguridad = 3 125 000 m³
- Máximo nivel inactivo = 1 562 500 m³

En la tabla 4.4 se puede apreciar en resumen los datos de los embalses que fueron ingresados al modelo hidrológico WEAP.

Tabla 4.5 Datos de los embalses de Chanlud y El labrado.

		UNIDAD	CHANLUD	EL LABRADO
Datos físicos	Capacidad de almacenamiento	m ³	16250000	6250000
	Volumen inicial (50%)	m ³	8500000	3125000
	Curva de volumen /elevación	---	Datos Tabla 4. 2.	Datos Tabla 4.3.
	Evaporación	mm	0	0
	Pérdidas de agua subterránea	m ³	0	0
Datos de operación	Máximo Nivel de conservación	m ³	12750000	4687500
	Máximo Nivel de seguridad	m ³	8500000	3125000
	Máximo Nivel inactivo	m ³	4250000	1562500

Elaborado por: Palacios K. 2017

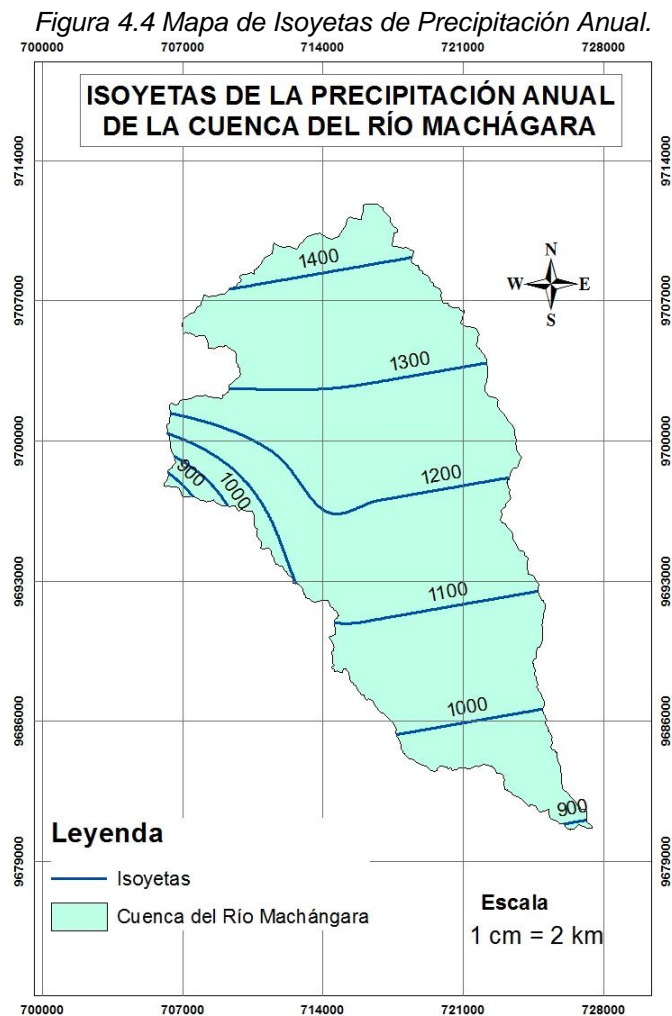
Fuente: (Consejo de la Cuenca del Río Machangara, ACOTECNIC Cía. Ltda., 2014).

4.2.2. Series de Precipitación

Los datos de precipitación fueron procesados para lograr series de datos continuos para el periodo de modelación. Para la modelación hidrológica se necesita la creación de las isoyetas de precipitación, para este fin se utilizó el método de interpolación IDW, el cual es un método de estimación espacial el cual interpola una superficie de ráster a partir de puntos (Andrade & Moreano,

2013). Utilizando las estaciones de Chanlud, El Labrado y el Aeropuerto se obtienen las isoyetas anuales ponderadas.

En la figura 4.3 se presenta el mapa de isoyetas de precipitación anual y en la tabla 4.5 se muestra el régimen de la precipitación promedio mensual desde el año 1978 al año 2008.



Elaborado por: Palacios K. 2017
Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013).

*Tabla 4.6 Régimen de la Precipitación Mensual.*

Estación	Altura	Precipitación Mensual Promedio (mm)												Suma
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
El Labrado	3335	92.1	117.6	140.9	156.8	123.9	94.5	92.1	69.2	80.8	103.9	103.4	106.6	1282.0
Chanlud	3485	86.1	102.1	143.3	148.0	140.4	131.0	97.4	80.8	80.3	105.8	115.1	90.7	1320.9
Aeropuerto	2545	56.0	86.9	114.7	123.8	84.8	43.6	26.7	21.6	52.6	93.9	87.1	86.4	878.1

Elaborado por: Palacios K. 2017

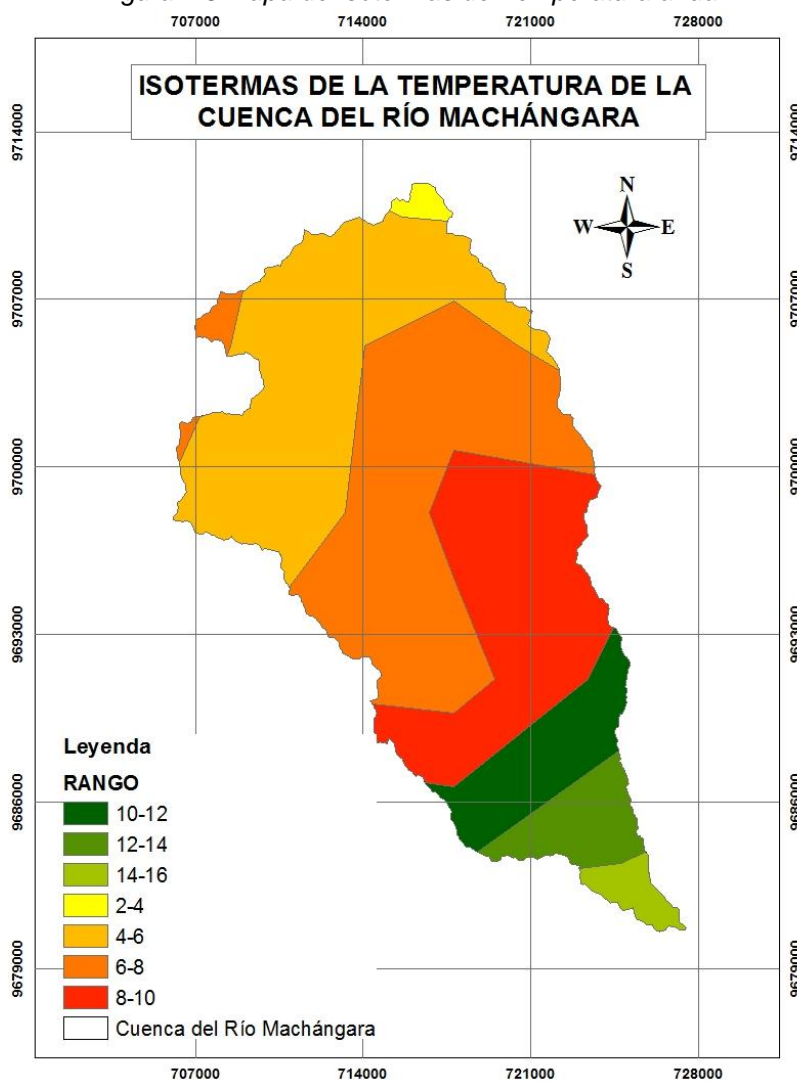
Fuente: INAMHI (1978 – 2008)

4.2.3 Series de Temperatura

El mapa de isotermas se obtuvo mediante el método de interpolación IDW, el cual es un método de estimación espacial el cual interpola una superficie de ráster a partir de puntos (Andrade & Moreano, 2013). Utilizando las estaciones de Chanlud, El Labrado y el Aeropuerto se obtienen las isotermas anuales ponderadas.

En la figura 4.4 se presenta el mapa de isotermas de temperatura anual y en la tabla 4.6 se muestra el régimen de la temperatura promedio mensual desde 1978 a 2008.

Figura 4.5 Mapa de Isotermas de Temperatura anual.



WGS84 ZONA 17 SUR

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2002).

*Tabla 4.7 Régimen de la Temperatura Mensual.*

Estación	Altura	Temperatura Mensual Promedio °C											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Labrado	3335	9.2	9.0	9.0	9.0	8.8	7.8	7.0	7.2	8.0	8.9	9.4	9.3
Chanlud	3485	8.7	8.5	8.4	8.3	8.1	7.4	7.6	7.2	7.8	8.8	9.0	8.9
Aeropuerto	2545	17.0	16.7	16.6	16.4	16.3	15.6	14.9	15.2	16.0	16.5	16.7	17.0

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: INAMHI (1978 – 2008)

4.2.4. Modelo hidrológico

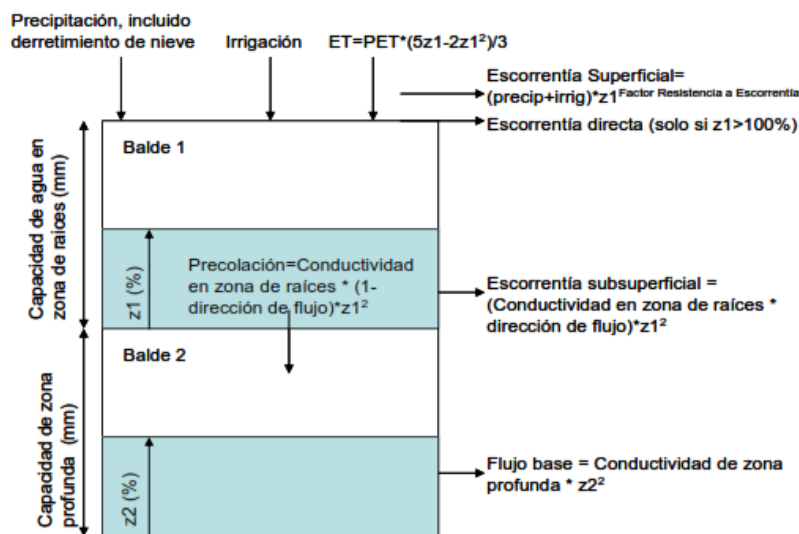
Un elemento catchment⁴ sirve para simular el balance hídrico tanto en un área de recarga de agua de un río como en un cultivo («Requerimiento de datos en WEAP», 2015).

Para el cálculo del balance hídrico con los diferentes catchments primero definimos como método para la captación el de “Precipitación escorrentía (modelo de la humedad del suelo)” (Rainfall Runoff (soil moisture model)) («Requerimiento de datos en WEAP», 2015).

Este método es el más complejo, representa el balance hídrico en dos capas en el suelo. En la capa de arriba se simula la Evapotranspiración⁵ (ET) considerando la lluvia y el riego, la escorrentía⁶ superficial, escorrentía sub-superficial y la percolación⁷ profunda. En la capa de abajo se simula el paso del flujo base y también los cambios en el contenido de agua del suelo («Requerimiento de datos en WEAP», 2015).

Es importante indicar que esta aproximación permite caracterizar tanto el uso del suelo como el impacto de éste en las posteriores modelaciones hídricas («Requerimiento de datos en WEAP», 2015). En la figura 4.5 se tiene el esquema del modelo del método humedad del suelo.

Figura 4.6 Esquema Modelo Método Humedad del Suelo.



Fuente: (Guía de Modelación WEAP, 2009).

El modelo WEAP se basa en un modelo hidrológico semi distribuido, en dónde desde un enfoque de modelación hidrológica, una cuenca puede ser dividida en

⁴ Son zonas de captación las cuales representan un área geográfica y agrupa información hidrometeorológica del modelo y las propiedades del suelo que son específicas para cada cuenca (Stockholm Environment Institute, 2009).

⁵ Proceso por el cual, el agua contenida en una porción de suelo (con vegetación) pasa a la atmósfera en forma de vapor (FAO 56, 2006).

⁶ Se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación (Vintimilla & Vizñay, 2009).

⁷ Movimiento de un líquido a través de un medio poroso (Vintimilla & Vizñay, 2009).



N fracciones de área cada una de las cuales puede representar diferentes tipos o usos de suelo, realizándose un balance hídrico para cada una de las fracciones j de N . En dónde se basa en las siguientes ecuaciones (Guía de Modelación WEAP, 2009):

Ecuación 1 Balance de masa del modelo hidrológico para el balde superior.

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t)\left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3}\right) - P_e(t)z_{1,j}^2 - f_j k_s z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_s z_{1,j}^2$$

Dónde:

$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt}$: Cambio en humedad del suelo

$P_e(t)$: Precipitación efectiva (incluye riego y derretimiento de nieves).

$PET(t)k_{c,j}(t)\left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3}\right)$: Evapotranspiración.

$P_e(t)z_{1,j}^2$: Escorrentía superficial.

$f_j k_s z_{1,j}^2$: Flujo intermedio.

$(1 - f_j)k_s z_{1,j}^2$: Percolación.

Ecuación 2 Balance de masa del modelo hidrológico para el balde inferior

$$Dw_j \frac{dz_{2,j}}{dt} = -k_d z_{1,j}^2 + (1 - f_j)k_s z_{2,j}^2$$

Donde:

$-k_d z_{1,j}^2$: Flujo base.

$(1 - f_j)k_s z_{2,j}^2$: Percolación.

Al aplicar este método se usa estas ecuaciones para poder obtener los caudales simulados.

Un método que usa WEAP para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o) es la fórmula de Penman-Monteith modificada para un cultivo estandarizado de referencia de pasto, altura asumida de 0.12m y con una resistencia superficial fija de 70 s/m. (FAO 56, 2006).

Se asemeja la evapotranspiración a una extensa superficie de pasto verde, de altura uniforme y con un crecimiento activo y suficiente aporte de agua y la



resistencia superficial fija de 70 s/m implica un suelo moderadamente seco que recibe riego aproximadamente con una frecuencia semanal (FAO 56, 2006).

En el valor de la ETo, únicamente influyen parámetros climáticos que se miden en cada lugar, y es corregida mediante el coeficiente de cultivo (FAO 56, 2006).

Ecuación 3 Evapotranspiración Penman-Moenteith

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

- ETo = evapotranspiración de referencia (mm/día)
- Rn= radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²*día)
- Ra= radiación extraterrestre (mm/día)
- G = flujo del calor de suelo (MJ/m²*día)
- T = temperatura media del aire a 2m de altura (°C)
- u2= velocidad del viento a 2m de altura (m/s)
- es= presión de vapor de saturación (kPa)
- ea= presión real de vapor (kPa)
- es-ea = déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ= pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/ °C)
- γ = constante psicométrica (kPa/ °C)

El área de uso del suelo para cada microcuenca se obtuvo según software ArcGIS versión 10.3. En el siguiente cuadro se presenta el área de uso de suelo, su porcentaje y su porción.

Tabla 4.8 Uso del suelo para cada microcuenca.

	Uso de Suelo	Área en ha	%	Porción
Machángara alto	Bosque Natural	410.90	3.10	0.03
	Páramo	11963.15	90.37	0.90
	Pasto Cultivado	766.53	5.79	0.06
	Nieve	43.51	0.33	0.00
	Cuerpo de Agua Natural	53.54	0.40	0.00
	TOTAL	13238	100	1
Río Chulco.	Páramo	5936.35	89.63	0.90
	Pasto Cultivado	473.03	7.14	0.07
	Cuerpo de Agua Natural	78.03	1.18	0.01
	Nieve	135.41	2.04	0.02
	TOTAL	6623	100	1
Machángara Bajo	Uso de Suelo	Área en ha	%	Porción
	Bosque Natural	1472.27	11.61	0.12
	Cultivos de Maíz	4621.86	36.44	0.36
	Páramo	4214.58	33.23	0.33
	Pasto Cultivado	1641.52	12.94	0.13
	Vegetación Arbustiva	497.76	3.92	0.04
	Zona Urbana	236.18	1.86	0.02
	TOTAL	12684	100	1

*Elaborado por: Palacios K. 2017
Fuente: (SENPLADES, 2002).*



Coefficiente de cultivo: Es relativo al cultivo referencial, para un tipo de tierra (Guía de Modelación WEAP, 2009), los valores para el coeficiente de cultivo Kc se obtuvo según la FAO, en la siguiente tabla se puede apreciar el Kc para los diferentes suelos (FAO 56, 2006).

Tabla 4.9 Coeficiente de cultivo Kc.

Suelo	Coefficiente de cultivo (Kc)
Páramo	0.97
Cultivos de Maíz	1.2
Pasto Cultivado	1.05
Bosque Natural	1
Vegetación Arbustiva	1
Cuerpo de agua natural	0
Nieve	0
Zona Urbana	1

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: (FAO 56, 2006).

4.2.5. Demanda de Agua

La cuenca del Machángara proporciona agua tanto para consumo humano, generación hidroeléctrica, industrial y el riego, por lo cual es fundamental ingresar esta información en el modelo.

El principal uso del agua que se obtiene de la cuenca del Machángara es para la producción de agua potable en la planta de Tixán, quien proporciona agua para más de la mitad de la población de Cuenca.

La obtención de información de demanda de agua para consumo humano se basa en los censos realizados y en estudios previos, los datos ingresados para el año base (1978) son:

- *Número de usuarios para el año 1978* = 120769 hab. este dato se obtuvo según la tasa de crecimiento poblacional que presenta el INEC para este año de 1978 (INEC, 2010).
- *Consumo per cápita área urbana* = 220 litros/persona/día = 0.22 m³/persona/día = 80.3 m³/persona al año.
- *Variación Mensual* = 8.33 Es el porcentaje de variación mensual con respecto a un año, se consideró un valor constante para todos los meses debido a que el consumo humano mensual se lo puede estimar como un valor constante a lo largo del año.
- *Porcentaje de retorno* = 15% Es el porcentaje de caudal que se pierde en el sistema, por diferentes usos en el sitio de demanda. Para este caso se consideró un 15% del caudal utilizado, se consideró este valor basándose en estudios anteriores.



Además, la cuenca del Machángara cuenta con dos sistemas de riego: Canal Machángara y Canal la Dolorosa, los cuales se consideraron como una segunda prioridad en la repartición del agua. Para estos canales se ingresaron los siguientes datos:

Agua para riego según ETAPA EP se tiene que:

Total de Usuarios = 2853 habitantes

Área= 1300 ha

Mediante un análisis de la cantidad suministrada de agua, las áreas de riego y el número de regantes se obtuvo la siguiente información:

DEMANDAS:

Canal Machángara = 1.8749Hm^3 al mes = $22.4988 \text{Hm}^3/\text{año}$ = $22498800 \text{m}^3/\text{año}$ (Consejo de la Cuenca del Río Machangara, ACOTECNIC Cía. Ltda., 2014).

- *Usuarios* = 2145 ocupan un área = 977.4 ha (Consejo de la Cuenca del Río Machangara, ACOTECNIC Cía. Ltda., 2014).
- *Tasa Anual de uso del agua* = $22498800 \text{m}^3/\text{año} / 977.4 \text{ha} = 23019.03 \text{m}^3/\text{ha}$ al año
- *Variación mensual* = se analizó según la precipitación, en donde, meses con poca lluvia significa que se necesitará más riego por eso se obtuvo mediante porcentaje, como se indica en la Tabla 4.9. Este mismo criterio se usó para ambos canales de riego.
- *Consumo* = 80%. Es el porcentaje del caudal afluente consumido.

Canal la dolorosa = 0.5156Hm^3 al mes = $6.1872 \text{Hm}^3/\text{año}$ = $6187200 \text{m}^3/\text{año}$ (Consejo de la Cuenca del Río Machangara, ACOTECNIC Cía. Ltda., 2014).

- *Usuarios* = 708 usuarios ocupan de área = 322.6 ha.
- *Tasa Anual de uso del agua* = $6187200 \text{m}^3/\text{año} / 322.6 \text{ha} = 19179.17 \text{m}^3/\text{ha}$ al año.
- *Consumo* = 80%. Es el porcentaje del caudal afluente consumido.



Tabla 4.10 Variación mensual de la precipitación.

Precipitación						
Mes	Chanlud (mm/mes)	El labrado (mm/mes)	Suma (mm/mes)	Porcentaje (%)	Observación	
ENERO	89.81	59	148.81	5.55		
FEBRERO	98.30	58.9	157.20	5.86		
MARZO	144.46	165.7	310.16	11.56	Mas lluvia	Menos consumo
ABRIL	151.53	187.5	339.03	12.64	Mas lluvia	Menos consumo
MAYO	146.38	129.9	276.28	10.30	Mas lluvia	Menos consumo
JUNIO	136.33	139.6	275.93	10.29	Mas lluvia	Menos consumo
JULIO	99.20	105.4	204.60	7.63		
AGOSTO	83.22	78.7	161.92	6.04		
SEPTIEMBRE	81.81	143.4	225.21	8.40	Mas lluvia	Menos consumo
OCTUBRE	107.70	63.5	171.20	6.38		
NOVIEMBRE	118.46	53.9	172.36	6.43		
DICIEMBRE	93.90	145.9	239.80	8.94	Mas lluvia	Menos consumo
			2682.49	100.000		

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: INAMHI (1978 – 2008)

En la siguiente tabla 4.10 se observa el porcentaje de consumo correspondiente a cada mes para la variación mensual de ambos canales de riego.

Tabla 4.11 Porcentaje de consumo mensual

Mes	Porcentaje de consumo (%)
ENERO	12.64
FEBRERO	11.56
MARZO	5.86
ABRIL	5.55
MAYO	6.04
JUNIO	6.38
JULIO	8.40
AGOSTO	10.30
SEPTIEMBRE	7.63
OCTUBRE	10.29
NOVIEMBRE	8.94
DICIEMBRE	6.43

Elaborado por: Palacios K. 2017



Análisis: meses en los cuales la precipitación es alta, se tiene menos consumo de agua para riego, meses que menos llueva se tiene más consumo de agua para riego, por lo tanto se fue repartiendo los valores de manera que cuando más llueva menor consumo para riego.

Tomar en cuenta que para la demanda de agua no se considera la central hidroeléctrica debido a que es un uso no consuntivo⁸ y toda el agua que ingresa a la central va al río y de ahí se capta para el resto de demandas.

4.3 Calibración

El proceso de calibración se realizó de forma manual aplicando el método prueba y error el cual consiste en la variación de los parámetros del modelo hidrológico hasta alcanzar valores óptimos de los criterios de eficiencia (Nash-Sutcliffe, Nash- In y BIAS), de forma que los caudales simulados con el modelo se ajusten a los caudales observados.

El periodo de calibración fue desde enero de 1978 a diciembre de 1999. Con el fin de cuantificar el ajuste del modelo y evaluar la capacidad predictiva del modelo, se analizaron los siguientes criterios de eficiencia:

Optimización de Nash-Sutcliffe: Es el factor de eficiencia más empleado en hidrología. Los parámetros calibrados y validados en función de este índice tienden a representar los picos altos (caudales elevados) mientras que los bajos tiende a subestimarlos (Cabrera, 2011).

Si la simulación es perfecta, Nash Sutcliffe = 1; mientras que Nash Sutcliffe = 0 cuando los resultados de la modelación se corresponden con la media de los valores observados (Cabrera, 2011). Se basa en la siguiente ecuación:

Ecuación 4 Optimización de Nash-Sutcliffe.

$$\text{Nash Sutcliffe} = 1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum(Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

En donde, Q_{obs} = es el caudal observado, Q_{sim} = es el caudal simulado y $\overline{Q_{obs}}$ es el caudal observado promedio (Cabrera, 2011).

Optimización de Nash- In (Logarítmico): es empleado cuando los valores son demasiado grandes, por lo que toma importancia cuando mayor es la cantidad de caudales bajos, se usa el mismo criterio del Nash Sutcliffe para la valoración del ajuste (Cabrera, 2011). Se emplea la siguiente ecuación:

⁸ No consume agua de su fuente de origen, el agua es solo usada no consumida.



Ecuación 5 Optimización de Nash-In (Logarítmico).

$$Nash - In = 1 - \frac{\sum(InQ_{obs} - InQ_{sim})^2}{\sum(InQ_{obs} - In\overline{Q_{obs}})^2}$$

En donde, InQ_{obs} = es el logaritmo del caudal observado, InQ_{sim} = es el logaritmo del caudal simulado y $In\overline{Q_{obs}}$ es el logaritmo del caudal observado promedio (Cabrera, 2011).

Optimización de Balance de masa (BIAS): Es adecuada para análisis mensuales y anuales, expresa cuantitativamente la relación entre el volumen del hidrograma observado y el simulado. Se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 6 Optimización de Balance de masa (BIAS).

$$m = 100 * \frac{\sum(Q_{sim} - Q_{obs})}{\sum Q_{obs}}$$

Donde, m es un porcentaje, Q_{sim} es el caudal simulado y Q_{obs} es el caudal observado (Cabrera, 2011). Si el ajuste es perfecto, $m = 0$. En el proceso de calibración, se debe buscar alcanzar el valor más bajo de m (Cabrera, 2011).

4.3.1 Ingreso de datos de caudales

Se utilizaron series de tiempo de caudales desde 1978 a 1999, de las entradas a los embalses de Chanlud y El Labrado.

En las siguientes tablas 4.11 y 4.12, se puede apreciar los caudales mensuales promedio, mínimo y máximo que fueron ingresados, para el periodo de calibración de 1978 – 1999.

Tabla 4.12 Caudales del Machángara en Chanlud, periodo 1978 – 1999.

Mes	CAUDAL (m ³ /s)		
	Promedio	Mínimo	Máximo
ENERO	1.839	0.464	4.670
FEBRERO	3.003	0.674	6.620
MARZO	3.701	0.298	7.473
ABRIL	4.731	1.383	7.873
MAYO	3.577	1.380	7.094
JUNIO	2.744	1.181	6.027
JULIO	2.272	1.230	4.020
AGOSTO	1.517	0.728	3.600
SEPTIEMBRE	1.601	0.389	6.060
OCTUBRE	1.994	0.301	5.750
NOVIEMBRE	2.299	0.274	5.290
DICIEMBRE	2.209	0.193	5.732

Elaborado por: Palacios K. 2017



Tabla 4.13 Caudales del Machángara en El Labrado, periodo 1978 – 1999.

Mes	CAUDAL (m ³ /s)		
	Promedio	Mínimo	Máximo
ENERO	0.885	0.200	2.263
FEBRERO	1.460	0.313	3.259
MARZO	1.806	0.135	3.660
ABRIL	2.294	0.648	3.820
MAYO	1.703	0.681	3.444
JUNIO	1.291	0.544	2.937
JULIO	1.078	0.568	1.916
AGOSTO	0.710	0.328	1.714
SEPTIEMBRE	0.767	0.174	2.997
OCTUBRE	0.973	0.129	2.833
NOVIEMBRE	1.119	0.107	2.635
DICIEMBRE	1.066	0.076	2.861

Elaborado por: Palacios K. 2017

4.3.2 Parámetros de Calibración.

Los parámetros de calibración son los siguientes, se basa en estudios anteriores de cuencas andinas.

Tabla 4.14 Parámetros de Calibración

Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (Sw)	de	Hace referencia al agua efectiva manteniendo la capacidad de la capa superficial de suelo, se expresa en (mm).
Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (Dw)	de	Agua efectiva manteniendo la capacidad de la capa profunda del suelo. Es un valor singular para el catchment y no varía según el tipo de uso. Es ignorado si el sitio de demanda tiene un vínculo de caudal hacia un nudo de agua subterránea.
Factor de resistencia a la escorrentía (RRF)		Usado para controlar la respuesta del escurrimiento superficial. Tiende a decrecer con altos valores de este índice (rango 0.1 a 10). Varía entre el tipo de uso.
Conductividad de zona de raíces (Ks)		Tasa de conductividad en la zona de raíz a la saturación (cuando hay un almacenaje relativo $Z1=1$), que será repartida, de acuerdo con la preferencia de la dirección del flujo, entre el caudal poco profundo y caudal hacia la capa profunda de suelo. Varía entre el tipo de uso.
Conductividad de zona profunda (Kd)	de	La tasa de conductividad (longitud/tiempo) de la capa profunda saturada (cuando hay un almacenaje relativo, $Z2 = 1$), que controla la transformación del caudal base. Es un valor singular para el catchment y no varía según el tipo de uso. El caudal base se incrementa si el parámetro incrementa.
Dirección preferencial de flujo (f)	de	Usado para la partición del caudal de salida de la capa de la zona de raíces, entre el interflujo y caudal de la capa más baja del suelo (rango de 0 a 1).
Z1 inicial		El valor inicial $Z1$, es el almacenaje relativo dado como porcentaje del almacenamiento total efectivo de la capacidad de agua en la zona de raíz.
Z2 inicial		Es el almacenaje relativo dado como porcentaje del almacenamiento total efectivo de la capacidad de agua profunda. Este parámetro es ignorado si el sitio de la demanda tiene un vínculo de escurrimiento/infiltración al nudo de agua subterránea.

Fuente: (*Guía de Modelación WEAP, 2009*).

Los datos ingresados para la calibración del modelo fueron estimados de información de estudios previos realizados en zonas de páramo, debido a que no existían datos específicos para la zona de estudio.

- Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (Sw):
Machángara Alto: Páramo= 5400 mm, Pasto = 3000 mm,
Bosque = 8500mm
Río Chulco: Páramo = 15500 mm, Pasto = 8500 mm.
- Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda, Dw:
Machángara Alto = 12500mm.



Río Chulco = 20000mm.

- Factor de resistencia a la escorrentía, RRF (es un valor adimensional):
Machángara Alto: Páramo = 20, Pasto = 30, Bosque = 200
Río Chulco: Páramo = 200, Pasto= 310
- Conductividad de zona de raíces, Ks:
Machángara Alto: Páramo = 130 mm/mes, Pasto = 10 mm/mes,
Bosque = 70mm/mes.
Río Chulco: Páramo = 20 mm/mes, Pasto = 25 mm/mes.
- Conductividad de zona profunda, Kd:
Machángara Alto = 0.1 mm/mes.
Río Chulco = 0.1 mm/mes.
- Dirección preferencial de flujo, f (es un valor adimensional):
Machángara Alto: Páramo = 0.1, Pasto = 0.6, Bosque = 0
Río Chulco: Páramo = 0.1, Pasto = 0.6

4.4. Validación.

La validación del modelo se realiza para apreciar la confianza de los resultados y así ver el rendimiento del modelo, por lo general el modelo se valida dentro de un periodo diferente al utilizado en calibración, por lo tanto el tiempo de validación fue desde el año 2000 al 2008, de igual manera que en la calibración aquí se analizaron criterios de eficiencia con el fin de cuantificar el ajuste del modelo.

4.5. Creación de escenarios.

Se construyó escenarios futuros con variación de los factores: población y demanda, clima y uso del suelo, el periodo de simulación es de 42 años desde enero del 2009 hasta diciembre del 2050.

La construcción de escenarios se llevó a cabo mediante el software WEAP, herramientas como el downscaling estadístico y R-studio, además el uso de un método estadístico regresión lineal para simular la demanda de agua para la agricultura.

Se tomó en consideración varios parámetros como: tasas de crecimiento de la población, número de habitantes, consumo per cápita, precipitación, temperatura, caudales de las estaciones de monitoreo, cobertura vegetal y uso del suelo.

Finalmente, con los escenarios obtenidos se realizó tres tipos de análisis. Uno de cambio de uso del suelo, otro de cambio climático y un tercero de cambio climático – uso del suelo. La proyección de la demanda se realizó en los tres análisis.



4.5.1 Escenarios de población y demanda:

La creación de los escenarios de población y demanda, se realizaron de la siguiente manera:

La demanda poblacional: se realizó con el uso de la función “GrowthFrom” del software WEAP para expresar el crecimiento poblacional basándose en el último censo realizado (Guía de Modelación WEAP, 2009).

GrowthFrom (2.12%, 2010, 350631)

En donde:

- ✓ 2.12 % Tasa de crecimiento poblacional (INEC, 2010).
- ✓ 2010 Año del último censo.
- ✓ Habitantes 350631 (INEC, 2010).

La demanda agrícola (riego): Se calculó mediante la regresión lineal la cual es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables. Se adapta a una amplia variedad de situaciones, en la investigación social, el análisis de regresión es utilizada para predecir un amplio rango de fenómenos (Brown et al., 2010).

En el ArcGIS al cargar información cartográfica del IGM sobre el uso del suelo de la cuenca del río Machángara de los años: 1991 - 2001 - 2002, se obtuvo una determinada área para cultivos y con eso se consiguió la ecuación de la recta de regresión para proyectar la demanda de riego.

En la siguiente tabla 4.14 se indica los resultados de la información cartográfica utilizada de los diferentes años.

Tabla 4.15 Información cartográfica sobre área de cultivos.

Año	Área de cultivos (ha)
1991	4914.1
2001	7314.1
2002	7502.9

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013).

Una vez obtenida la ecuación de la recta ($y=237.23x - 467413$), se aplicó la regresión lineal considerando a “x” el año, “y” los cultivos (ha), y ese resultado “y”, representa el total de cultivos que hay en la cuenca del río Machángara en el año “x”, este resultado se dividió para los dos sistemas de riego, tanto para el canal de Machángara como para el canal La Dolorosa, la división se realizó mediante una relación basada en el consumo (Hm^3 al mes):

Riego Machángara = $1.8749 Hm^3/mes$

Riego Dolorosa = $0.5156 Hm^3/mes$

Relación = Riego Machángara / Riego Dolorosa = 3.6



Con esta relación se obtuvo la cantidad de cultivos que se riega con cada uno de los canales de riego.

4.5.2 Escenarios de cambio del uso del suelo

La creación de los escenarios de cambio del uso del suelo se ejecutó con el software WEAP, solo se cambió el uso del suelo en la cuenca alta por ser aporte de agua a los dos embalses de Chanlud y El Labrado.

La temperatura y precipitación se consideraron constantes, se tomó en cuenta el cambio de uso del suelo, en donde actualmente se tiene en Machángara alto 90.37% de páramos de pajonal, 3.1% bosque nativo, 5.79% pasto cultivado, 0.33% nieve y 0.40% de cuerpos de agua natural, y en el Río Chulco se tiene 89.63% de páramos de pajonal, 7.14% pasto cultivado, 2.04% nieve y 1.18% de cuerpos de agua natural. Los escenarios que se consideraron son:

1. *Conversión de Cultivos a Bosque.*

En la microcuenca Machángara alto se modificó las áreas del uso de suelo que tienen pasto cultivado reemplazando con bosques, es decir reforestando.

Machángara alto:

Reemplazo del 25%

Páramo = 90.37 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $5.79 * 0.25 = 1.44$ por lo tanto: $5.79 - 1.44 = 4.35$ porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = $3.10 + 1.44 = 4.54$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 50%

Páramo = 90.37 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $5.79 * 0.5 = 2.895$ por lo tanto: $5.79 - 2.895 = 2.895$ porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = $3.10 + 2.895 = 5.995$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 75%

Páramo = 90.37 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $5.79 * 0.75 = 4.34$ por lo tanto: $5.79 - 4.34 = 1.44$ porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = $3.10 + 4.34 = 7.44$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 100%



Páramo = 90.37 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 0 porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = 3.10 + 5.79 = 8.89 porcentaje de porción de hectárea

Río Chulco

Reemplazo del 25%

Páramo = 89.63 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 7.14 porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 50%

Páramo = 89.63 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 7.14 porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 75%

Páramo = 89.63 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 7.14 porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 100%

Páramo = 89.63 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 7.14 porcentaje de porción de hectárea

2. Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos.

Machángara alto:

Reemplazo del 25%

Páramo= $90.37 * 0.25 = 22.59$ por lo tanto: $90.37 - 22.59 = 67.78$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $5.79 + 22.59 + 0.775 = 29.155$ porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural= $3.10 * 0.25 = 0.775$ por lo tanto: $3.10 - 0.775 = 2.325$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 50%

Páramo = $90.37 * 0.50 = 45.19$ por lo tanto: $90.37 - 45.19 = 45.19$ porcentaje de porción de hectárea



Pasto Cultivado = $5.79 + 45.19 + 1.55 = 52.53$ porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = $3.10 * 0.50 = 1.55$ por lo tanto: $3.10 - 1.55 = 1.55$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 75%

Páramo = $90.37 * 0.75 = 67.78$ por lo tanto: $90.37 - 67.78 = 22.59$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $5.79 + 67.78 + 2.325 = 75.895$ porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = $3.10 * 0.75 = 2.325$ por lo tanto: $3.10 - 2.325 = 0.775$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 100%

Páramo= 0 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $5.79 + 90.37 + 3.10 = 99.26$ porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = 0 porcentaje de porción de hectárea

Río Chulco

Reemplazo del 25%

Páramo= $89.63 * 0.25 = 22.41$ por lo tanto: $89.63 - 22.41 = 67.22$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $7.14 + 22.41 = 29.55$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 50%

Páramo= $89.63 * 0.50 = 44.82$ por lo tanto: $89.63 - 44.82 = 44.82$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $7.14 + 44.82 = 51.96$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 75%

Páramo= $89.63 * 0.75 =$ por lo tanto: $89.63 - 67.22 = 22.41$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = $7.14 + 67.22 = 74.36$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 100%



Páramo= 0 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 96.77 porcentaje de porción de hectárea

3. *Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta (podría ser por incendios forestales):*

Se da la conversión de páramo y bosque a suelo descubierta, para lo cual en el WEAP se agregó un uso del suelo que se denomina suelo descubierta.

Machángara alto:

Reemplazo del 25%

Páramo= $90.37 * 0.25 = 22.59$ por lo tanto: $90.37 - 22.59 = 67.78$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 5.79 porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = $3.10 * 0.25 = 0.775$ por lo tanto: $3.10 - 0.775 = 2.325$ porcentaje de porción de hectárea

Suelo descubierta = $22.59 + 0.775 = 23.365$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 50%

Páramo = $90.37 * 0.50 = 45.19$ por lo tanto: $90.37 - 45.19 = 45.19$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 5.79 porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = $3.10 * 0.50 = 1.55$ por lo tanto: $3.10 - 1.55 = 1.55$ porcentaje de porción de hectárea

Suelo descubierta = $45.19 + 1.55 = 46.74$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 75%

Páramo = $90.37 * 0.75 = 67.78$ por lo tanto: $90.37 - 67.78 = 22.59$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 5.79 porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = $3.10 * 0.75 = 2.325$ por lo tanto: $3.10 - 2.325 = 0.775$ porcentaje de porción de hectárea

Suelo descubierta = $67.78 + 2.325 = 70.105$ porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 100%



Páramo = 0 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 5.79 porcentaje de porción de hectárea

Bosque Natural = 0 porcentaje de porción de hectárea

Suelo descubierto = $90.37 + 3.10 = 93.47$ porcentaje de porción de hectárea

Río Chulco

Reemplazo del 25%

Páramo = $89.63 * 0.25 = 22.41$ por lo tanto: $89.63 - 22.41 = 67.22$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 7.14 porcentaje de porción de hectárea

Suelo Descubierta = 22.41 porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 50%

Páramo = $89.63 * 0.50 = 44.82$ por lo tanto: $89.63 - 44.82 = 44.82$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 7.14 porcentaje de porción de hectárea

Suelo Descubierta = 44.82 porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 75%

Páramo = $89.63 * 0.75 =$ por lo tanto: $89.63 - 67.22 = 22.41$ porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 7.14 porcentaje de porción de hectárea

Suelo Descubierta = 67.22 porcentaje de porción de hectárea

Reemplazo del 100%

Páramo= 0 porcentaje de porción de hectárea

Pasto Cultivado = 7.14 porcentaje de porción de hectárea

Suelo Descubierta = 89.63 porcentaje de porción de hectárea

4.5.3 Escenarios climáticos

Los escenarios climáticos son solo situaciones posibles que pueden ocurrir a futuro y para realizar estos escenarios se utilizan los modelos globales. Se consideraron dos escenarios climáticos el RCP 2.6 el cual es un escenario con



un nivel de forzamiento muy bajo y el RCP 8.5 que es un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (CIIFEN, 2014).

Los escenarios climáticos se crearon para un periodo de 42 años desde enero de 2009 hasta diciembre de 2050. Para la creación de estos escenarios se utilizó la técnica de downscaling estadístico y R-studio.

El downscaling estadístico se basa en el desarrollo de relaciones cuantitativas de variables locales de superficie (predictandos) y variables atmosféricas a gran escala (predictores). Se representa mediante:

Ecuación 7 Downscaling estadístico.

$$R = F(X)$$

Dónde, R = predictando (Precipitación, temperatura); F= función determinista que relaciona a predictando y predictor; X= Predictor (presión atmosférica a nivel del mar, humedad específica) (Quito, 2015).

R-Studio es un software de manipulación y análisis estadístico basado en el lenguaje estadístico S desarrollado por AT&T, con la diferencia de que R es un programa de código abierto, lo cual es usado para realizar operaciones estadísticas puesto que brinda un lenguaje de programación que es útil para crear nuevas funciones, creación de gráficos y la posibilidad de trabajar desde estadísticas simples hasta más avanzadas (Araya, 2012).

Los datos de proyecciones de cambio climático se obtienen de modelos climáticos globales, los cuales son simuladores del sistema climático a gran escala con una baja resolución, por tal razón es recomendable aumentar la resolución para poder evaluar impactos a escala regional.

Para bajar la escala de los datos de salida de modelos climáticos globales a una escala regional, se utiliza el downscaling estadístico de corrección del sesgo (Madrigal, Flores, Solera, & Andreu, 2017).

Para este estudio la información de precipitación y temperatura futura se obtiene del modelo climático global GISS-E2-R, que es de la NASA, y se consideran dos escenarios de cambio climático RCP 2.6 y RCP 8.5.

Los datos del modelo climático global para cada escenario fueron descargados de la página web: <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5/> con una serie de tiempo desde enero de 2009 hasta diciembre de 2050, por último se descargó datos históricos obtenidos de la misma página con una serie de tiempo de 1978 a 2005.

Luego de realizar la descarga de esta información de precipitación y temperatura que viene en formato NetCDF (.nc), se procede a utilizar programación en R-studio para el procesamiento de los datos. En el ANEXO 1 se expone el script de R.

El método de downscaling estadístico utilizado fue la Corrección del sesgo, la cual se lleva a cabo agregando primero la rejilla de Temperatura y Precipitación a la escala de la cuadrícula del modelo climático global (MCG) que normalmente



tiene una resolución de aproximadamente 200 km (Alan Hamlet, Eric Salathé & Pablo Carrasco, 2010).

El procedimiento se basó primero en la lectura de los datos históricos, observados y de los escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5 en R para cada una de las estaciones.

Se procedió a realizar la división de los datos observados de las estaciones para los datos históricos de los modelos globales.

Para la precipitación y temperatura:

$$P_{\text{fac}} = P_{\text{obs}} / P_{\text{his}}$$

$$T_{\text{fac}} = T_{\text{obs}} / T_{\text{his}}$$

Con esta división se obtuvo un factor para cada mes, el cual fue multiplicado por los datos de los escenarios futuros RCP 2.6 y RCP 8.5 (Alan Hamlet, Eric Salathé & Pablo Carrasco, 2010).

Para la precipitación se tiene para cada estación:

$$P_{\text{new}} = P_{\text{RCP2.6}} * P_{\text{fac}}$$

$$P_{\text{new}} = P_{\text{RCP8.5}} * P_{\text{fac}}$$

Para la temperatura se tiene para cada estación:

$$T_{\text{new}} = T_{\text{RCP2.6}} * T_{\text{fac}}$$

$$T_{\text{new}} = T_{\text{RCP8.5}} * T_{\text{fac}}$$

En el ANEXO 2 se muestra el script de R de este procedimiento (Alan Hamlet, Eric Salathé & Pablo Carrasco, 2010).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados de la calibración

La calibración se llevó a cabo con la variación de los parámetros del modelo, con el fin de que el caudal observado obtenido de la estación fluviométrica sea similar al caudal simulado.

El periodo de calibración fue de 1978 a 1999, se inició con información de estudios previos realizados en zonas de páramo de cuencas andinas puesto que no existían datos específicos para la zona de estudio. En la siguiente tabla se presenta los valores utilizados.

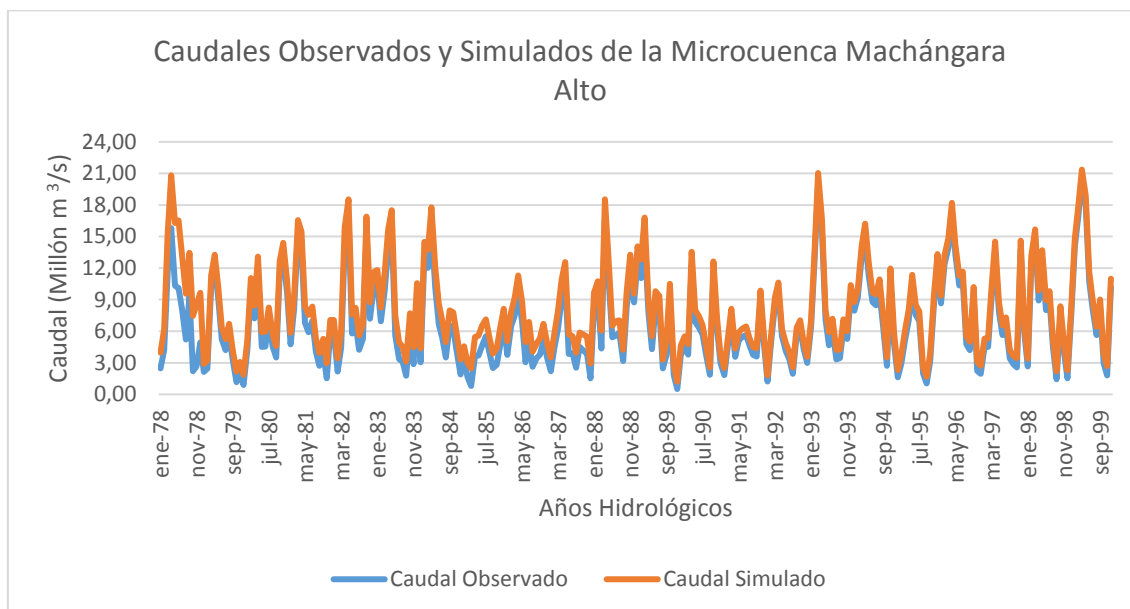
Tabla 5.1 Parámetros usados para la calibración del modelo.

Parámetro del Modelo	Unidad	Rango de Valores
Coefficiente de cultivo (Kc)	Adimensional	0.97 – 1.20
Factor de resistencia a la escorrentía (RRF)	Adimensional	2 – 9
Dirección preferida del flujo (f)	Adimensional	0.15 – 0.6
Capacidad de agua del suelo (Sw)	mm	1000 – 17500
Conductividad de Zona de Raíces (Ks)	mm/mes	20 – 110
Capacidad en zona profunda (Dw)	mm	4250 – 17500
Conductividad de zona profunda (Kd)	mm/mes	0.1 - 20

Elaborado por: Palacios K. 2017.

A continuación se presentan hidrogramas y curvas de los caudales observados y simulados de la microcuenca Machángara Alto.

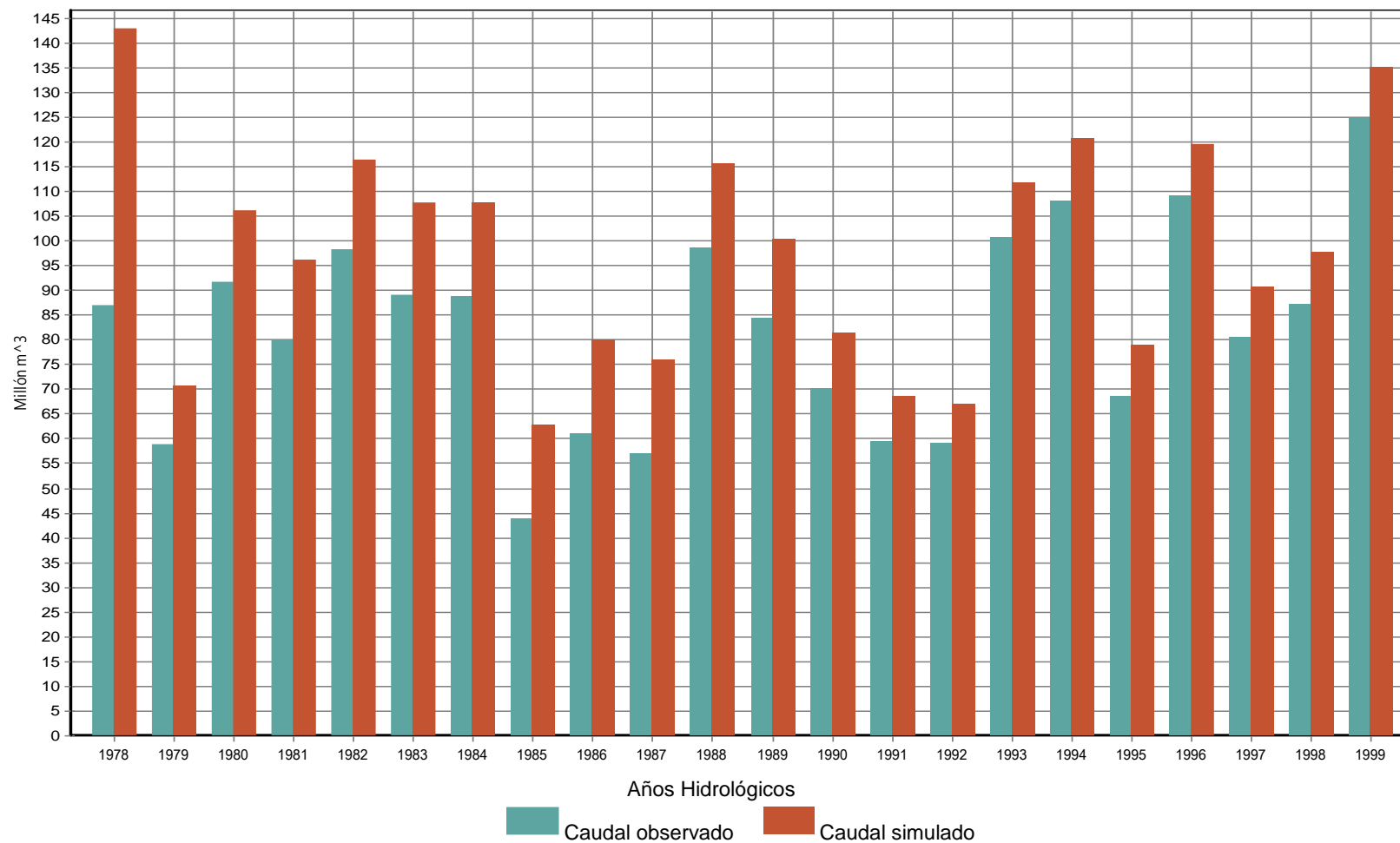
Figura 5.1 . Caudales Observados y Simulados de la Microcuenca Machángara Alto periodo de calibración.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

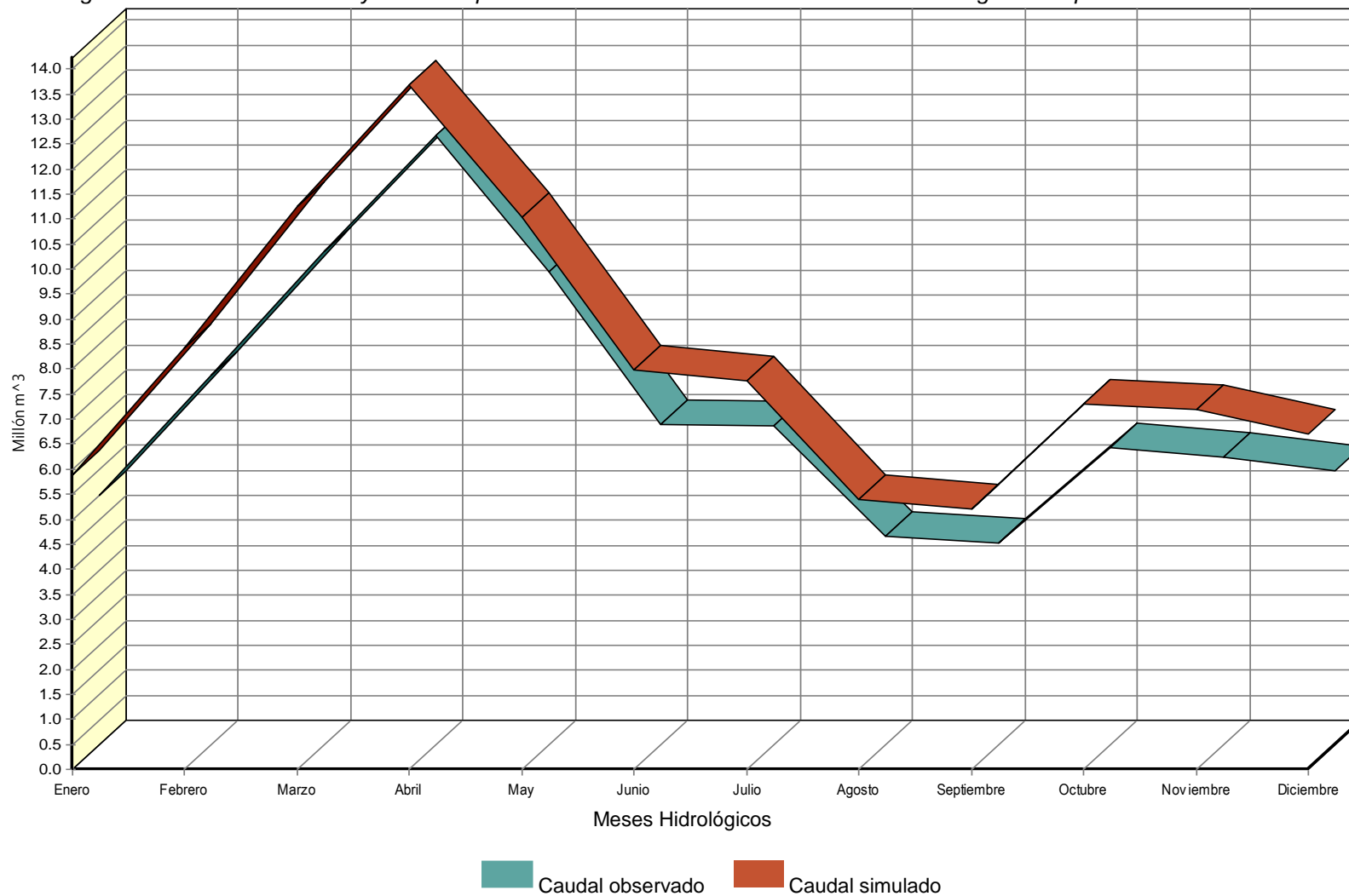
En la figura 5.1 se puede observar la similitud que presenta el caudal simulado con el observado durante el periodo de calibración.

Figura 5.2 Caudal observado y simulado total anual de la Microcuenca del Machángara Alto periodo de calibración.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.3 Caudal observado y simulado promedio mensual de la Microcuenca del Machángara Alto periodo de calibración.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

La figura 5.2 presenta el caudal observado y simulado total anual de la microcuenca del Machángara Alto en el periodo de calibración, en la cual se puede observar que en la mayoría de años existe una similitud entre los caudales observados con los simulados.

En la figura 5.3 se presenta el caudal observado y simulado promedio mensual de la microcuenca del Machángara Alto resultante del periodo de calibración, en la cual se observa que en los meses enero, febrero, marzo, abril y septiembre el caudal simulado es 12% mayor que el caudal observado.

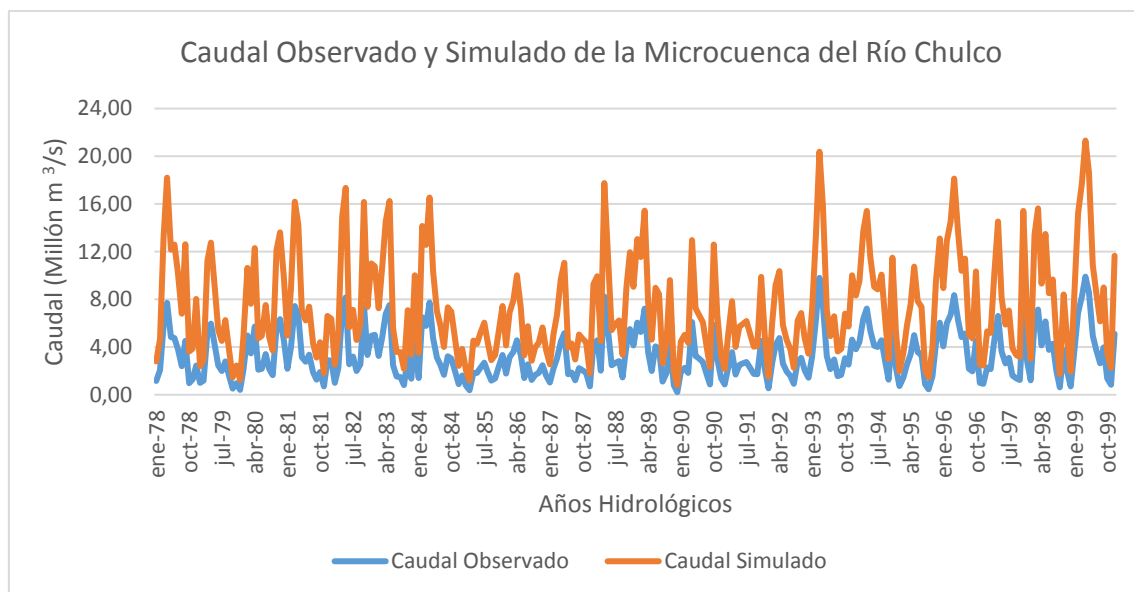
En las siguientes figuras se presentan los resultados de caudales observados y simulados de la microcuenca del río Chulco, en el periodo de calibración.

En la figura 5.4 se presenta los caudales observados y simulados de la microcuenca del río Chulco en el periodo de calibración, en la cual se puede observar que el caudal simulado en algunos meses no se ajusta de una forma adecuada a la curva de los caudales observados. Se observa que el caudal observado es menor que el caudal simulado.

En la figura 5.5 se presenta el caudal observado y simulado total anual de la microcuenca del río Chulco en el periodo de calibración, en la cual se puede observar que en la mayoría de los años existe una similitud entre los caudales observados con los simulados.

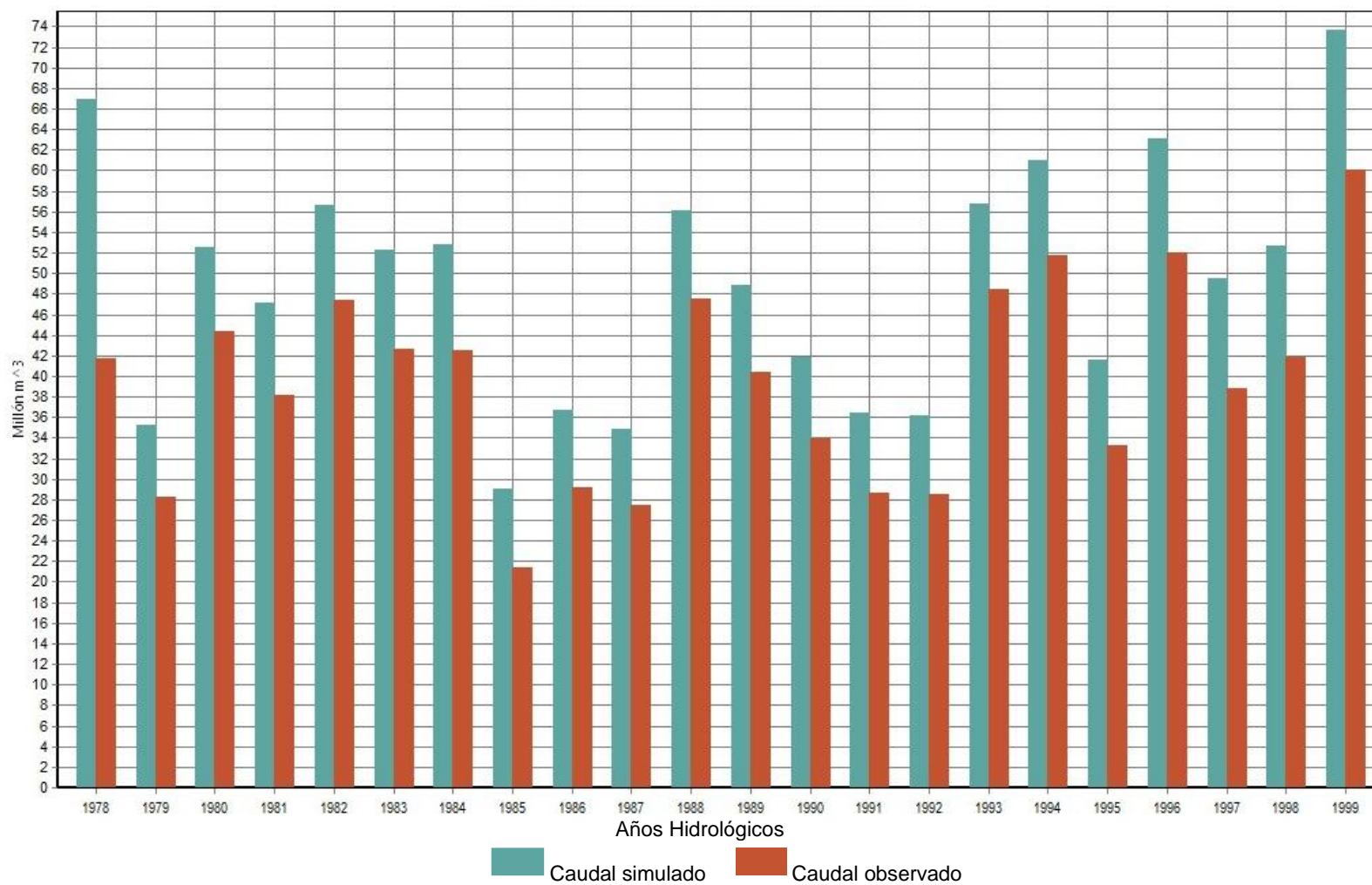
En la figura 5.6 se presenta el caudal observado y simulado promedio mensual de la microcuenca del río Chulco resultante del periodo de calibración, en la cual se observa que el caudal simulado de los meses febrero, marzo, abril, mayo, junio, es mayor entre un 18% al 26% con respecto al caudal observado, y en los meses restantes el caudal simulado es mayor entre un 27% al 40% con respecto al caudal observado.

Figura 5.4 Caudales Observados y Simulados de la Microcuenca del Río Chulco periodo de calibración.



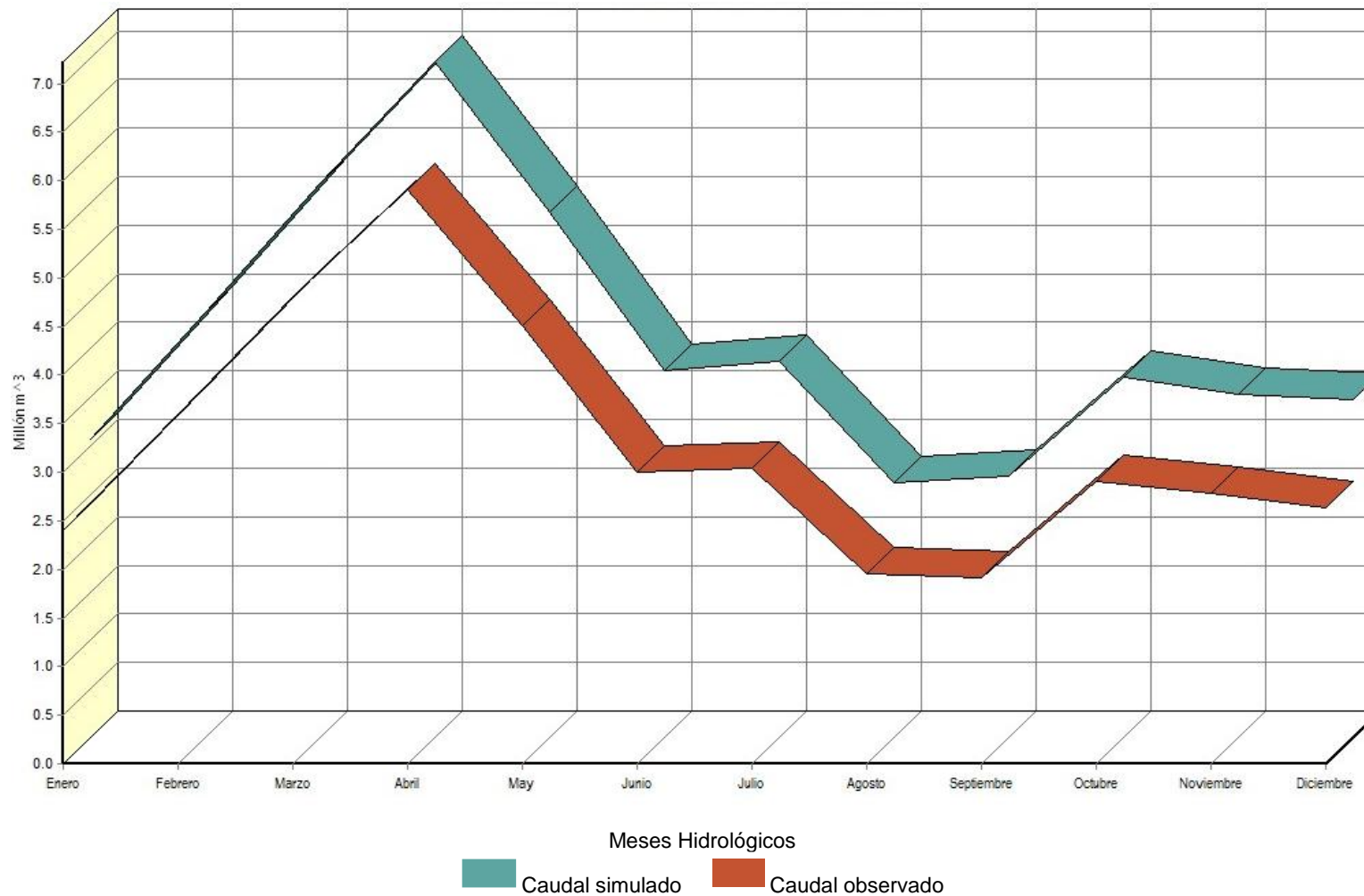
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.5 Caudal observado y simulado total anual de la Microcuenca del Río Chulco periodo de calibración.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.6 Caudal observado y simulado promedio mensual de la Microcuenca de El Labrado periodo de calibración.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la tabla 5.2 se muestra los resultados de los índices de eficiencia de la calibración para las microcuencas de Machángara Alto y del río Chulco. Haciendo un análisis de los índices, se puede decir que la calibración del modelo es aceptable considerando las limitaciones de los datos en la zona de estudio.

Tabla 5.2 Valores de los índices de eficiencia en el periodo de calibración

MICROCUENCA	ÍNDICES DE EFICIENCIA		
	Nash - Sutcliffe	Nash - In	Bias
Machángara Alto	0.86	0.81	19.13
Río Chulco	0.80	0.80	24.62

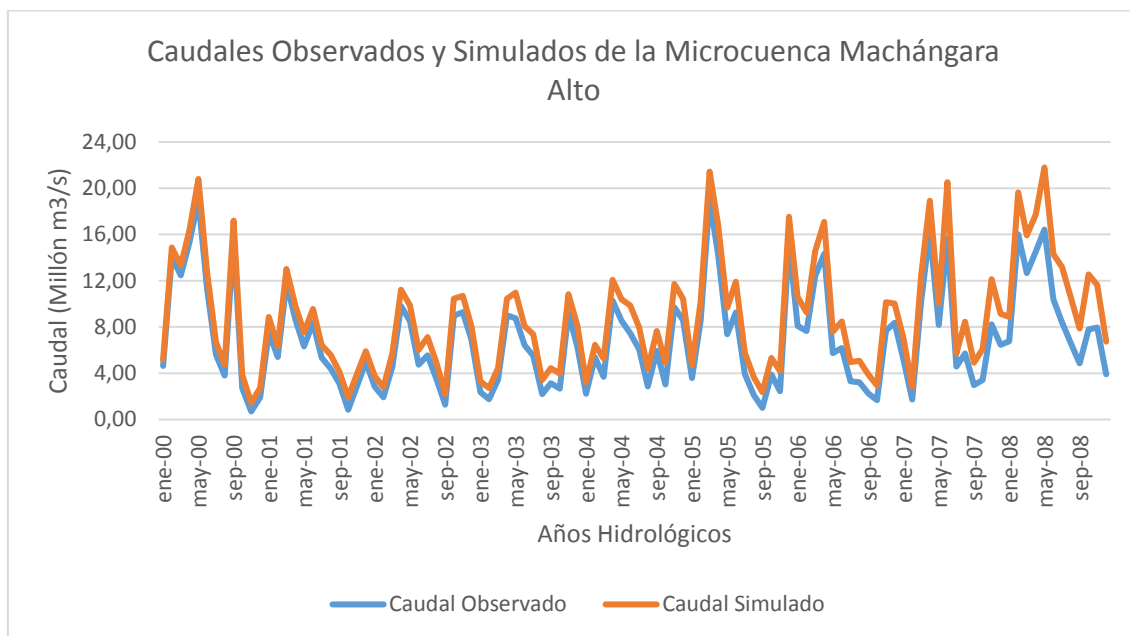
Elaborado por: Palacios K. 2017.

5.2 Resultados de la validación

La validación del modelo se realizó para el periodo 2000 – 2008, en donde existen varios eventos húmedos y secos.

En la figura 5.7 se presenta los caudales observados y simulados de la microcuenca Machángara Alto del periodo de validación, en la cual se observa que los caudales simulados se asemejan a los caudales observados en la mayor parte de tiempo, no obstante se presentan pocos eventos donde las dos curvas son diferentes, por ejemplo en los meses de enero y mayo del 2008.

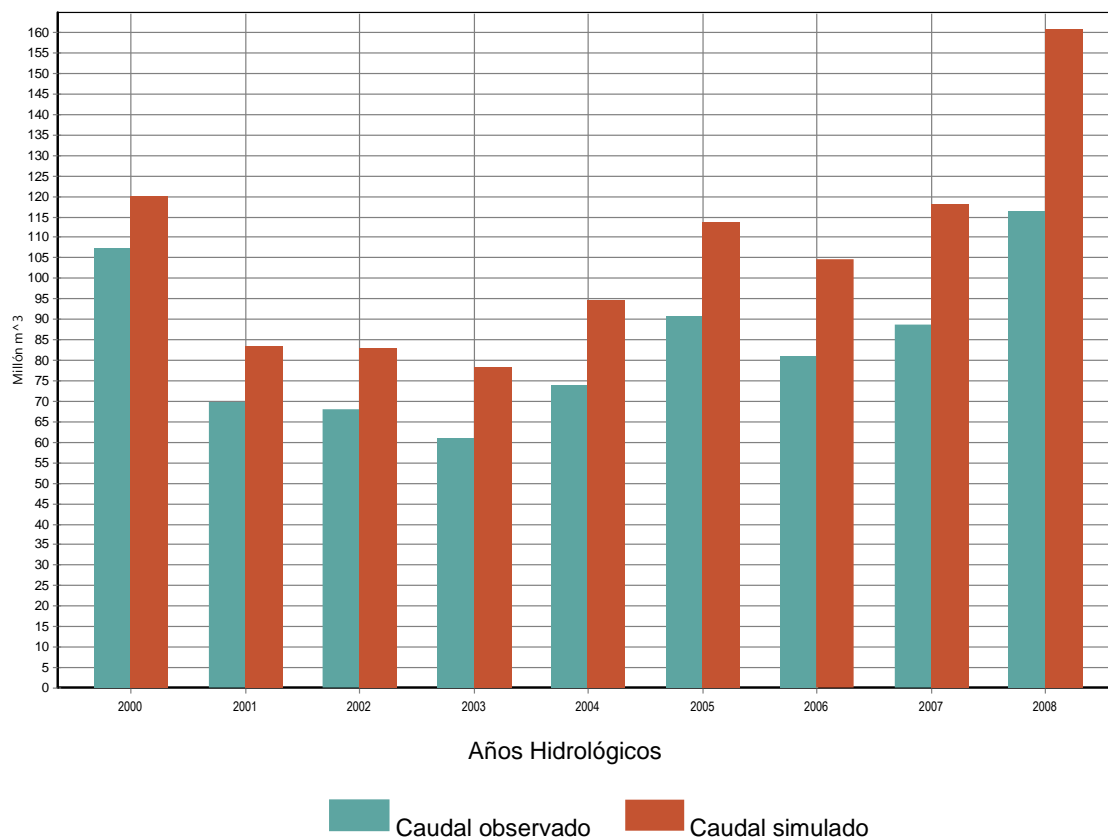
Figura 5.7 Caudales Observados y Simulados de la Microcuenca Machángara Alto periodo de validación.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.8 se puede apreciar el caudal observado y simulado total anual en el periodo de validación del modelo, en donde se observa una similitud en la mayoría de los años, no obstante existen años como el año de 2008 en el cual el caudal simulado es mayor en un 26% del caudal observado.

Figura 5.8 Caudal observado y simulado total anual de la Microcuenca del Machángara Alto periodo de validación.

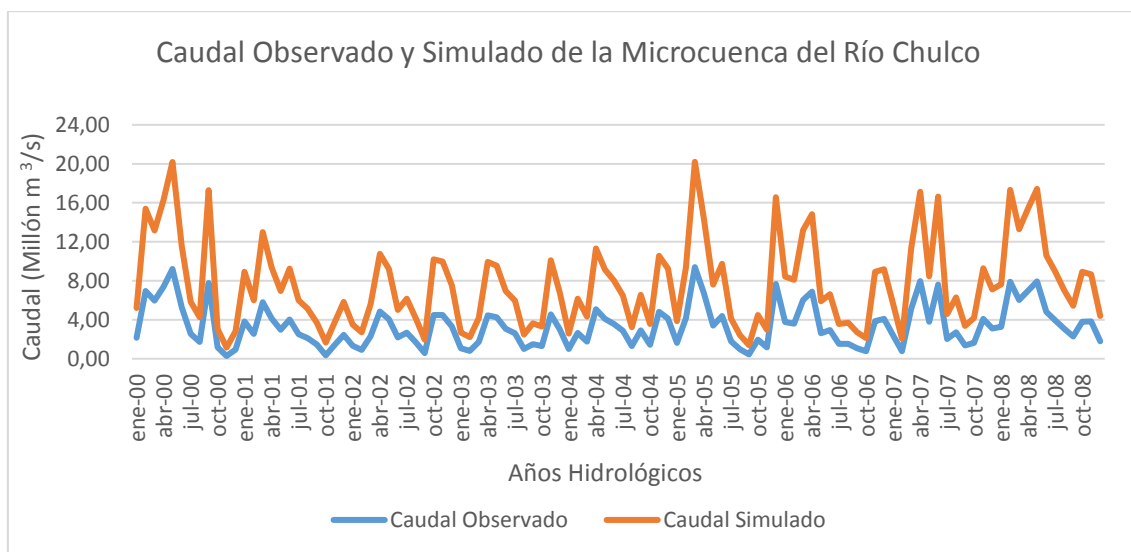


Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.9 se presenta los caudales observados y simulados de la microcuenca del río Chulco en el periodo de validación, en la cual se puede observar que en algunos meses los valores de los caudales simulados y observados no se ajustan adecuadamente.

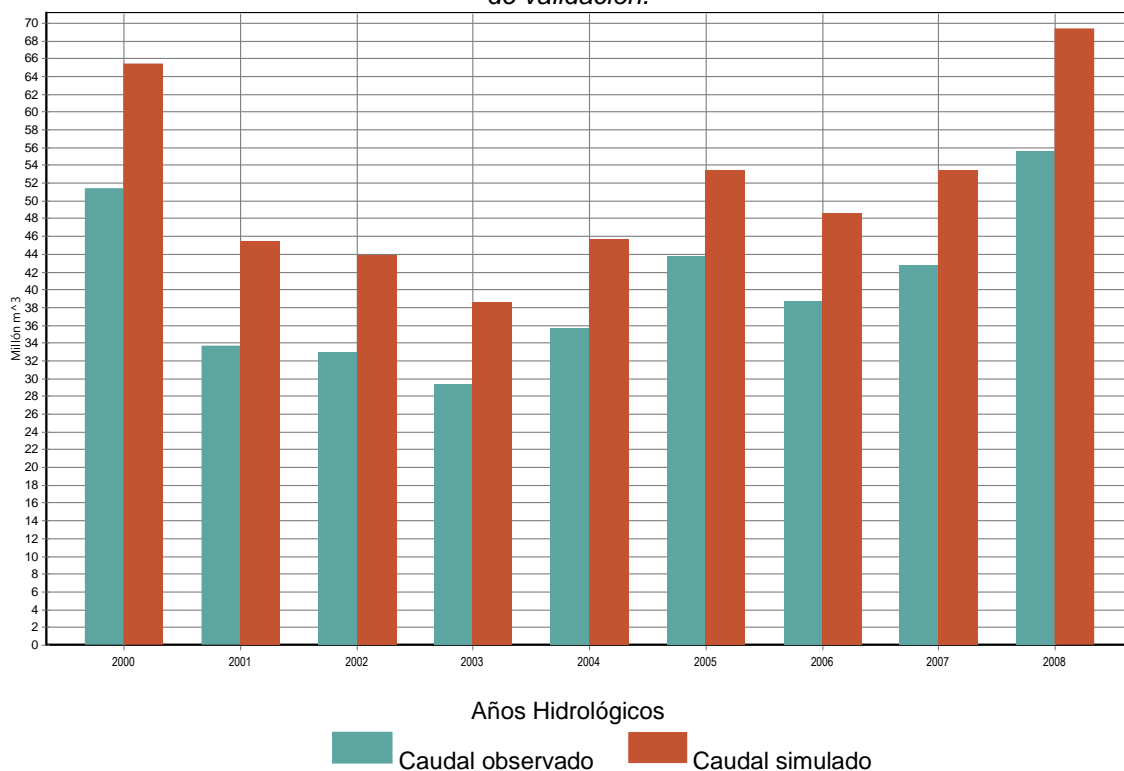
En la figura 5.10 se presenta el caudal observado y simulado total anual de la microcuenca del río Chulco en el periodo de validación, en donde se puede observar medianas variaciones entre los caudales observados con los simulados.

Figura 5.9 Caudales Observados y Simulados de la Microcuenca del Río Chulco periodo de validación.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.10 Caudal observado y simulado total anual de la Microcuenca del Río Chulco periodo de validación.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la tabla 5.3 se muestra los resultados de los índices de eficiencia en el periodo de validación para las microcuencas de Machángara Alto y del río Chulco. Se puede observar que los valores resultantes podrían considerarse aceptables dada la limitación de información de entrada.

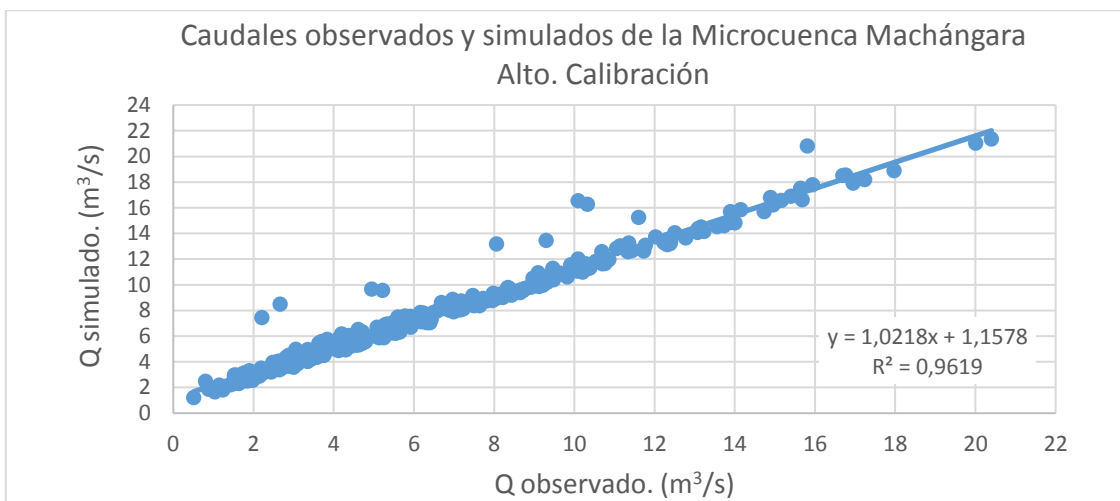
Tabla 5.3 Valores de los índices de eficiencia en el periodo de validación.

MICROCUEENCA	ÍNDICES DE EFICIENCIA		
	Nash - Sutcliffe	Nash - ln	Bias
Machángara Alto	0.79	0.78	26.62
Río Chulco	0.77	0.67	27.50

Elaborado por: Palacios K. 2017.

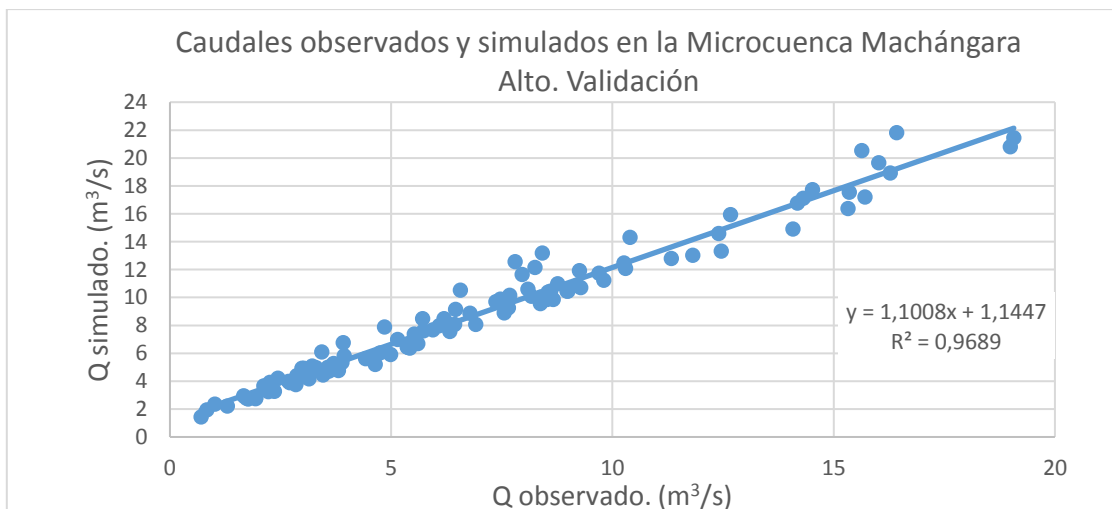
En las siguientes gráficas de dispersión se muestra la comparación de los caudales simulados y observados de la microcuenca del Machángara Alto y de la microcuenca del río Chulco. Se puede observar una buena correlación entre los caudales simulados y los observados, tanto en los periodos de calibración y validación.

Figura 5.11 Relación entre el caudal observado y simulado de la Microcuenca de Machángara Alto durante el periodo de calibración.



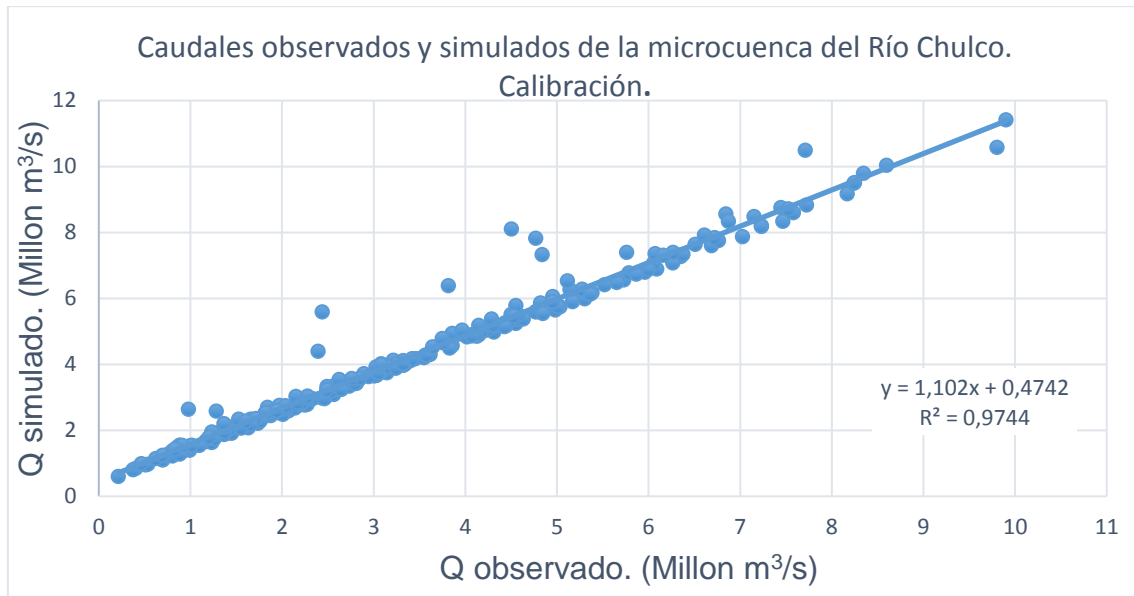
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.12 Relación entre el caudal observado y simulado de la Microcuenca Machángara Alto durante el periodo de validación.



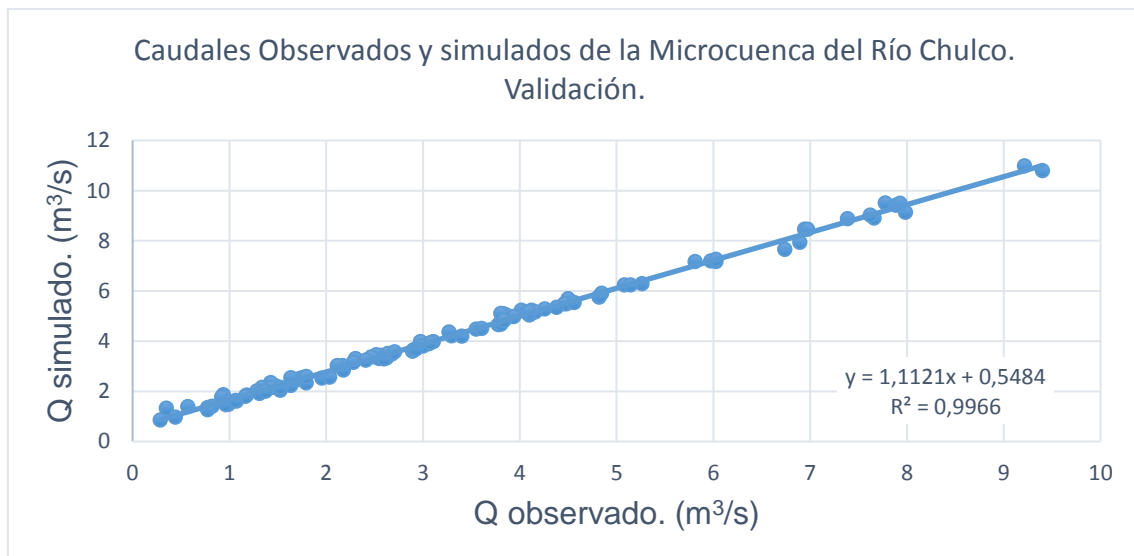
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.13 Relación entre el caudal observado y simulado de la Microcuenca del Río Chulco durante el periodo de calibración.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.14 Relación entre el caudal observado y simulado de la Microcuenca del Río Chulco durante el periodo de validación.



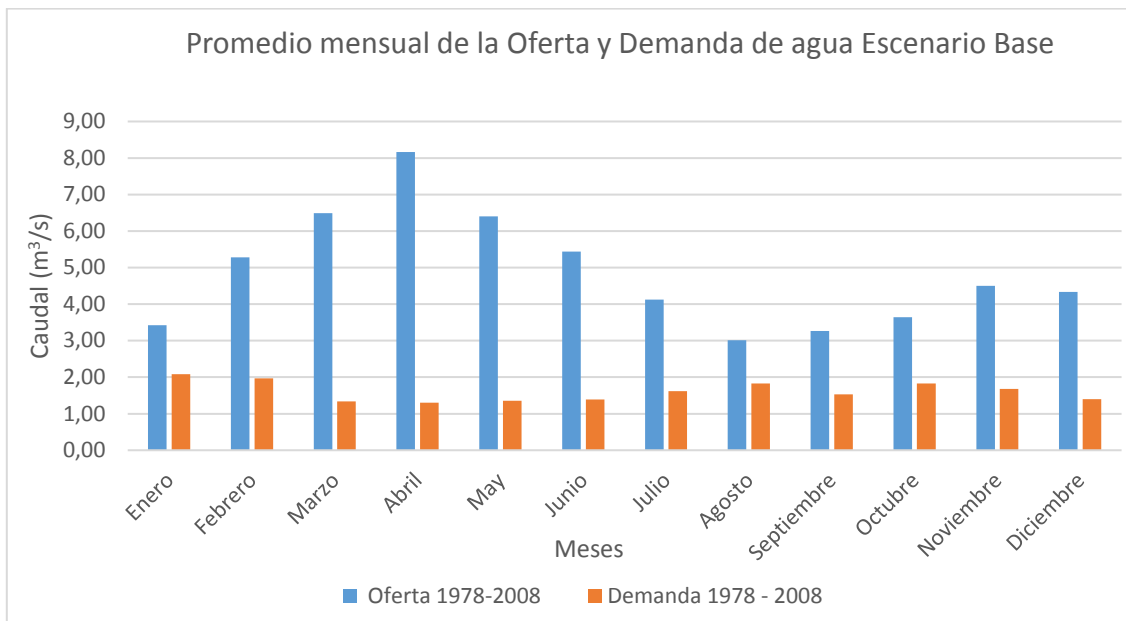
Elaborado por: Palacios K. 2017.

5.3 Resultados de oferta y demanda de agua actual (escenario base)

El escenario base es considerado desde enero de 1978 hasta diciembre de 2008.

En la figura 5.15 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua actual (escenario base), en dónde se puede observar que la oferta de agua sobrepasa a la demanda en todos los meses, por lo cual la demanda se satisface en un 100%.

Figura 5.15 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua actual (Escenario base).



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la tabla 5.4 se muestra un promedio mensual del balance hídrico de la cuenca del río Machángara, correspondiente al escenario base (1978-2008). En donde se puede observar que en todos los meses se presenta superávit de agua. Los meses que presentan mayor superávit de agua son abril con el 84%, en marzo con el 79% y en mayo con el 79%.



Tabla 5.4 Cálculo del Balance Hídrico de la Cuenca del Machángara. Escenario Base.

Componente	Variable	Caudal de Agua Mensual (m ³ /s)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	3.42	5.28	6.49	8.16	6.40	5.43	4.13	3.01	3.26	3.64	4.50	4.33	58.06
Demanda Hídrica	Consumo Humano	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	8.24
	Riego	1.40	1.28	0.65	0.61	0.67	0.71	0.93	1.14	0.84	1.14	0.99	0.71	11.07
	Total	2.09	1.97	1.34	1.30	1.35	1.39	1.62	1.83	1.53	1.83	1.68	1.40	19.31
Balance Hídrico	Superávit (+)	1.33	3.31	5.15	6.86	5.04	4.04	2.51	1.19	1.73	1.81	2.82	2.94	38.75
		39%	63%	79%	84%	79%	74%	61%	39%	53%	50%	63%	68%	67%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.



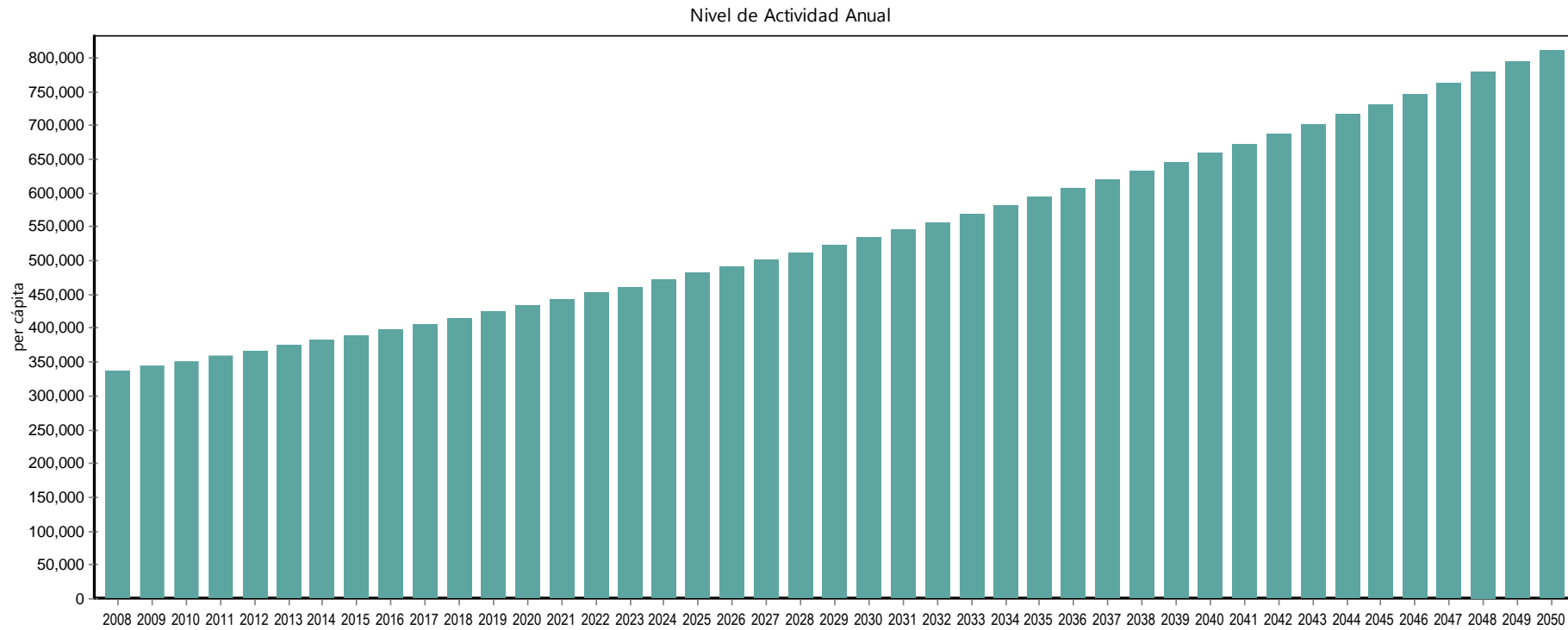
5.4 Resultados del comportamiento de oferta y demana de agua de escenarios futuros

Los escenarios futuros se consideraron desde enero de 2009 hasta diciembre de 2050.

5.4.1 Escenario de población y demanda

La demanda poblacional: Para proyectar la población se utilizó el método de regresión lineal. Los resultados obtenidos muestran que para el año 2050, 811332 habitantes consumirían agua de la planta de potabilización de Tixán. En la figura 5.16 se indica el nivel de actividad anual que posiblemente presentaría la Planta de Tixán.

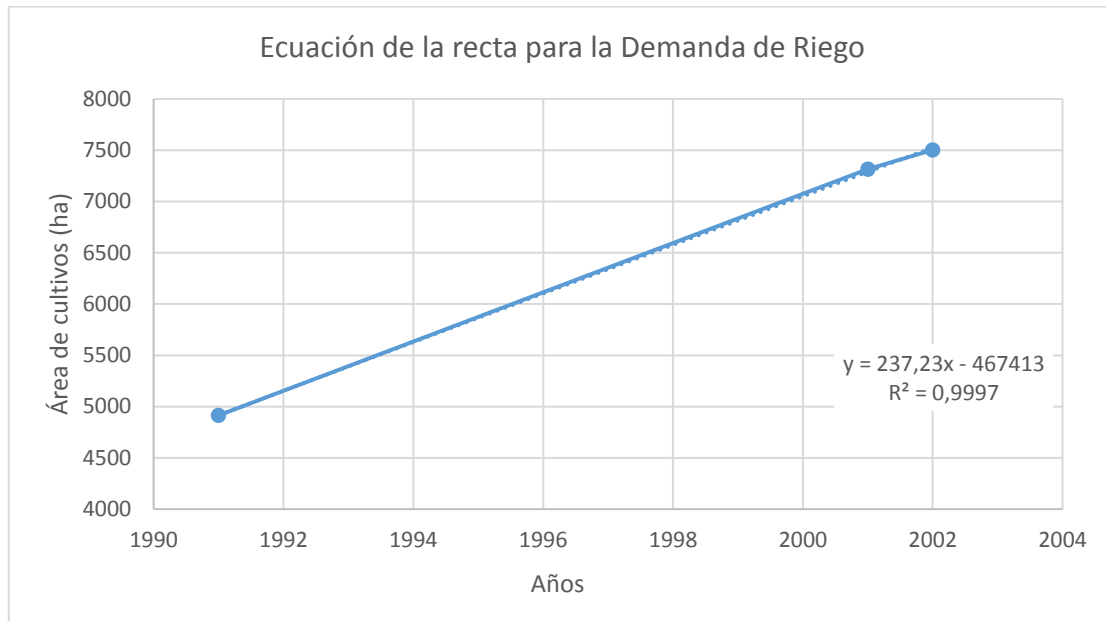
Figura 5.16 Nivel de actividad anual que posiblemente presentaría la Planta de potabilización de Tixán.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

La demanda agrícola (riego): Se calculó mediante el método de regresión lineal, para lo cual se utilizó información cartográfica del área de cultivos de los años 1991, 2001 y 2002. Con estos tres puntos se obtuvo la ecuación de la recta de regresión. En la figura 5.17 se puede apreciar, la recta y ecuación de regresión de la demanda de riego.

Figura 5.17 Ecuación de la recta para la demanda de riego.



Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013)

En la tabla 5.5 se muestra los resultados de la demanda de riego proyectada utilizando la regresión lineal. La tasa de uso de agua anual se consideró que es constante, asumiendo que la cantidad de agua que se necesita para regar una hectárea de cultivo no tiene variación en el tiempo y asumiendo que los patrones de cultivos no tendrán una variación en el futuro. No obstante este tema podríamos considerar como futuros retos investigativos en próximos trabajos.



Tabla 5.5 Resultados de la Demanda de Riego.

Año	Nivel de actividad Anual (ha)		Tasa anual de uso de agua m ³ /ha al año	
	Canal de Riego Machángara	Canal de Riego Dolorosa	Riego Machángara	Riego Dolorosa
2008	7000.3	1944.5	3214.0	3181.8
2009	7186.0	1996.1	3214.0	3181.8
2010	7371.6	2047.7	3214.0	3181.8
2011	7557.3	2099.2	3214.0	3181.8
2012	7742.9	2150.8	3214.0	3181.8
2013	7928.6	2202.4	3214.0	3181.8
2014	8114.3	2254.0	3214.0	3181.8
2015	8299.9	2305.5	3214.0	3181.8
2016	8485.6	2357.1	3214.0	3181.8
2017	8671.2	2408.7	3214.0	3181.8
2018	8856.9	2460.2	3214.0	3181.8
2019	9042.6	2511.8	3214.0	3181.8
2020	9228.2	2563.4	3214.0	3181.8
2021	9413.9	2615.0	3214.0	3181.8
2022	9599.5	2666.5	3214.0	3181.8
2023	9785.2	2718.1	3214.0	3181.8
2024	9970.8	2769.7	3214.0	3181.8
2025	10156.5	2821.3	3214.0	3181.8
2026	10342.2	2872.8	3214.0	3181.8
2027	10527.8	2924.4	3214.0	3181.8
2028	10713.5	2976.0	3214.0	3181.8
2029	10899.1	3027.5	3214.0	3181.8
2030	11084.8	3079.1	3214.0	3181.8
2031	11270.4	3130.7	3214.0	3181.8
2032	11456.1	3182.3	3214.0	3181.8
2033	11641.8	3233.8	3214.0	3181.8
2034	11827.4	3285.4	3214.0	3181.8
2035	12013.1	3337.0	3214.0	3181.8
2036	12198.7	3388.5	3214.0	3181.8
2037	12384.4	3440.1	3214.0	3181.8
2038	12570.1	3491.7	3214.0	3181.8
2039	12755.7	3543.3	3214.0	3181.8
2040	12941.4	3594.8	3214.0	3181.8
2041	13127.0	3646.4	3214.0	3181.8
2042	13312.7	3698.0	3214.0	3181.8
2043	13498.3	3749.5	3214.0	3181.8
2044	13684.0	3801.1	3214.0	3181.8
2045	13869.7	3852.7	3214.0	3181.8
2046	14055.3	3904.3	3214.0	3181.8
2047	14241.0	3955.8	3214.0	3181.8
2048	14426.6	4007.4	3214.0	3181.8
2049	14612.3	4059.0	3214.0	3181.8
2050	14798.0	4110.5	3214.0	3181.8

Elaborado por: Palacios K. 2017

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013).



5.4.1 Escenarios de cambio de uso del suelo

Si consideramos los procesos del ciclo hidrológico, no toda el agua que precipita llega al suelo y solo una parte del agua que logra llegar al suelo se convierte en caudales, por lo tanto, un cambio en el uso y la cobertura del suelo afectaría a la hidrología de una cuenca y los caudales de los ríos.

La intercepción y la evapotranspiración son procesos hidrológicos que dependen del tipo y densidad de vegetación, por ejemplo los bosques y páramos tienen una mayor intercepción que los cultivos, de igual manera una mayor evapotranspiración.

Los cultivos tienen un menor consumo de agua y una menor evapotranspiración, por lo tanto se podría tener mayor cantidad de agua precipitable que se convierta en escorrentía de los ríos.

Todos estos procesos dependen del uso y cobertura del suelo, es así que en este estudio se pretende simular situaciones futuras de los cambios que pueden existir en el uso del suelo, contestando la pregunta que pasa con los caudales de los ríos si se produce algún cambio en el uso del suelo.

Para la proyección del uso del suelo en el futuro se asumieron tres escenarios posibles, según la realidad actual de la zona de estudio: conversión de cultivos por bosque, es decir una reforestación; conversión de bosque y páramo a cultivos y conversión de páramo y bosque a suelo descubierto.

Se unieron los caudales de los dos ríos, del río Machángara y del río Chulco y posteriormente se obtuvo el caudal promedio mensual.

Conversión de cultivos a bosque

En la tabla 5.6, se presenta el caudal promedio mensual cuando la conversión es del 25%, 50%, 75% y 100% de Cultivos a Bosque. Se puede observar que al reforestar se tiene menor caudal que llega al río, esto se debe a la existencia de mayor evapotranspiración por la presencia de más árboles.



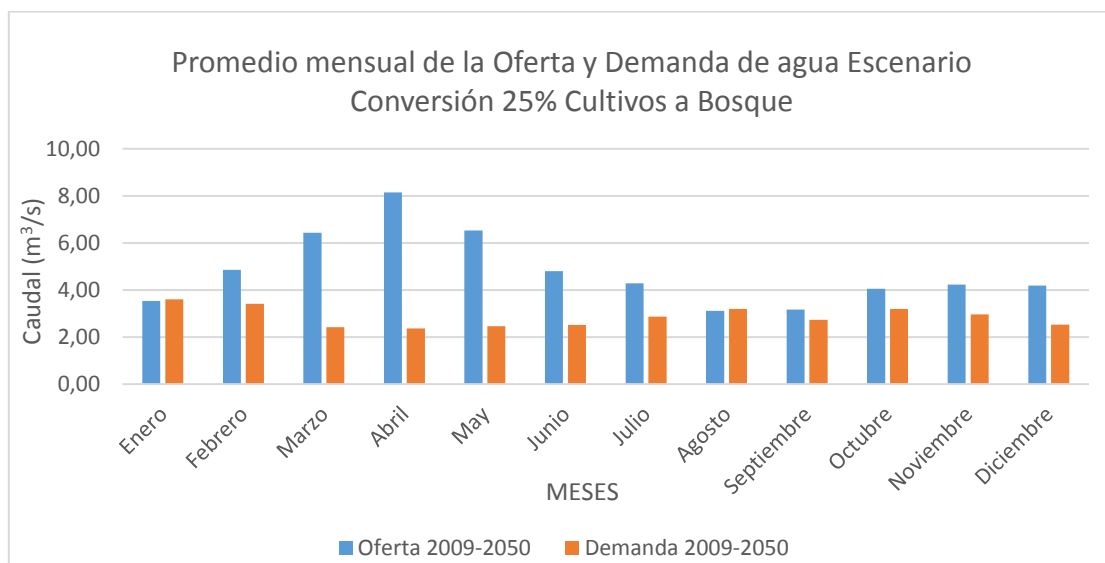
Tabla 5.6 Caudales promedios mensuales, conversión es de Cultivos a Bosques.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m^3/s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Conversión de Cultivos a Bosque	25%	3.54	4.85	6.43	8.15	6.53	4.80	4.29	3.11	3.16	4.05	4.23	4.19
	50%	3.53	4.84	6.42	8.14	6.52	4.79	4.27	3.09	3.15	4.04	4.22	4.18
	75%	3.52	4.83	6.41	8.13	6.50	4.77	4.26	3.08	3.13	4.03	4.21	4.17
	100%	3.51	4.82	6.40	8.12	6.49	4.76	4.24	3.07	3.12	4.02	4.19	4.16

Fuente: Palacios K. 2017.

En la figura 5.18 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 25% de Cultivos a Bosque, en el cual se puede observar que en el mes de enero se tiene una oferta de 3.54 m³/s y la demanda de ese mes es de 3.60 m³/s, y en agosto la oferta es de 3.11 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s, es decir en estos meses de enero y agosto la oferta no satisface a la demanda en un 2% y 3% respectivamente, en el resto de los meses la demanda es cubierta al 100%.

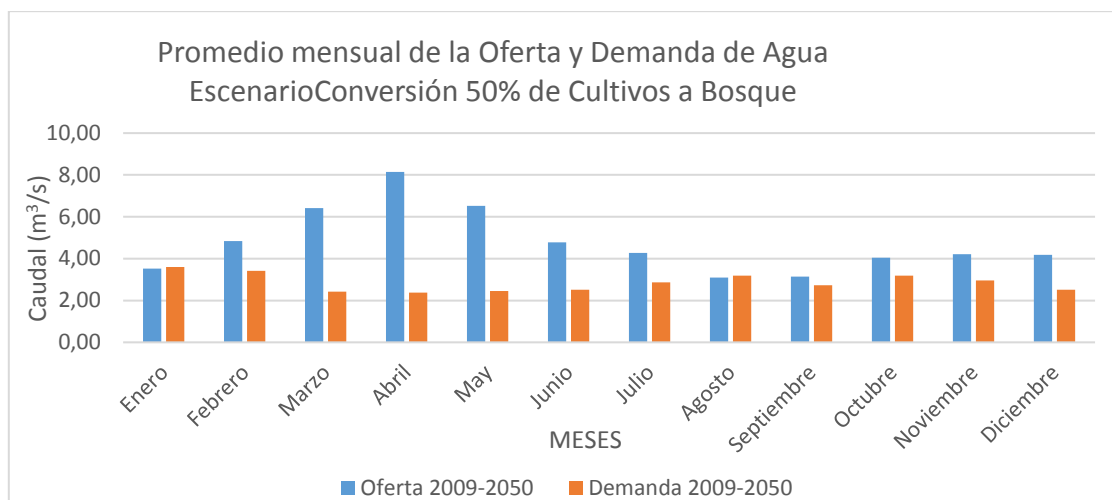
Figura 5.18 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 25% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.19 se presenta el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 50% de Cultivos a Bosque, en el cual se puede observar que en el mes de enero se tiene una oferta de 3.56 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y en agosto la oferta es de 3.09 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s. Por lo tanto en enero la demanda no se satisface en un 2%, y en agosto en un 3%, y en el resto de los meses la demanda se satisface al 100%.

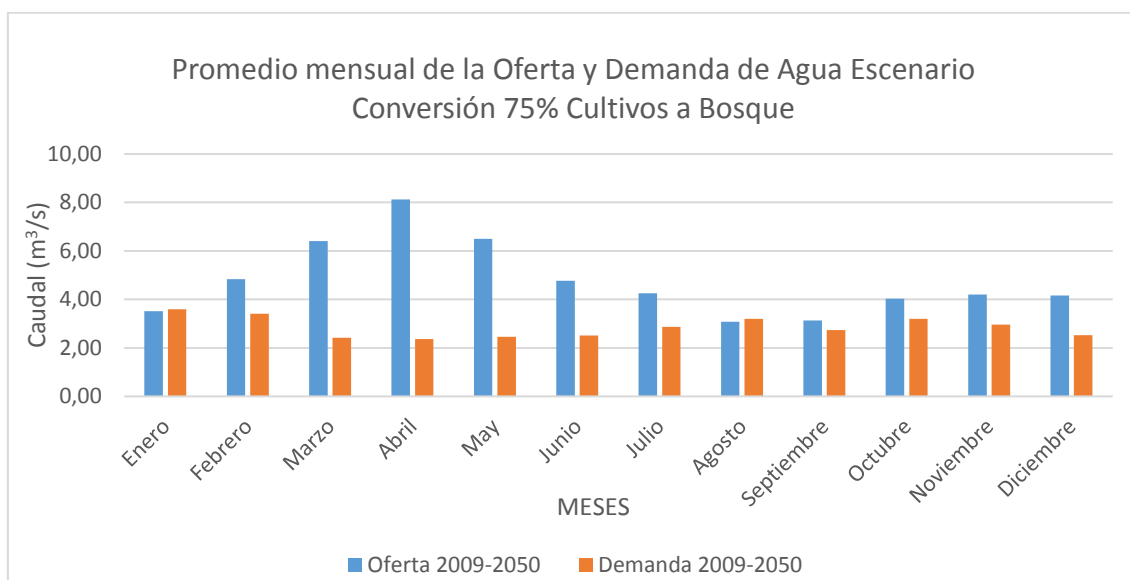
Figura 5.19 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 50% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.20 se tiene el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 75% de Cultivos a Bosque, en el cual se puede observar que en el mes de enero se tiene una oferta de 3.52 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y en agosto la oferta es de 3.08 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s. En enero y agosto la oferta no satisface a la demanda en un 2% y 4% respectivamente, y en el resto de los meses la demanda se cubre al 100%.

Figura 5.20 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 75% de Cultivos a Bosque.

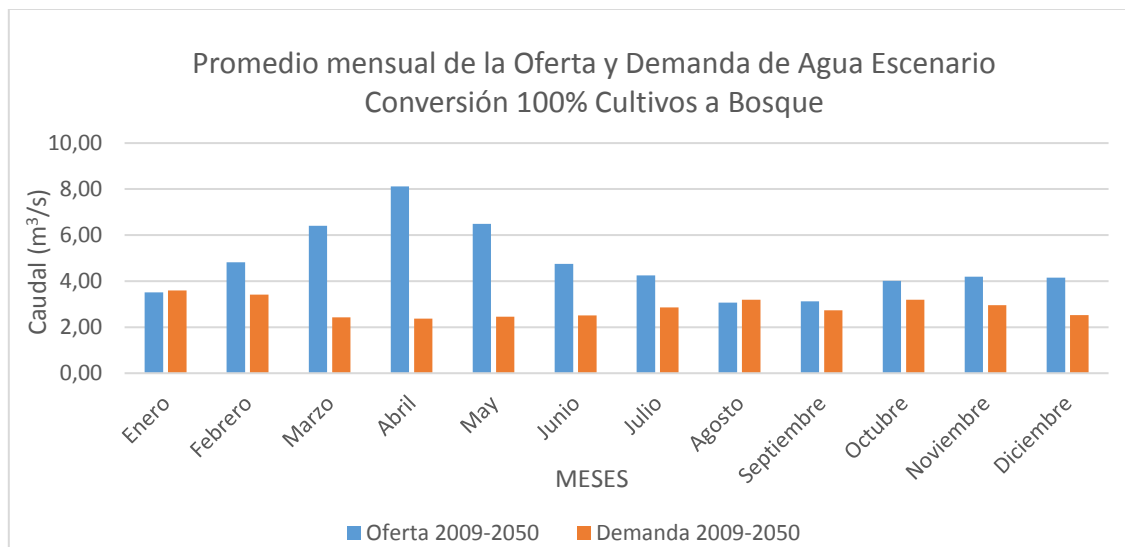


Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.21 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 100 % de Cultivos a Bosque, en el cual se puede observar que en el mes de enero se tiene una oferta de 3.51 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y en agosto la oferta es de 3.07 m³/s y la demanda de

3.19 m³/s. Por lo tanto, en enero el 3% y en agosto el 4% de la demanda no se satisface, y en el resto de los meses la demanda se cubre al 100%.

Figura 5.21 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 100% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la tabla 5.7 se presenta el balance hídrico promedio mensual para los escenarios de conversión de Cultivos a Bosque, cuyo resultado indica que en los meses de febrero a julio y de septiembre a diciembre la demanda se satisface al 100%, sin embargo en los meses de enero y agosto se presenta un déficit de agua que puede afectar a las demandas hídricas de la cuenca del río Machángara. Los meses con mayor superávit son abril con 71% de superávit, y los meses de marzo y mayo con alrededor del 62%.

Hay que tener presente que analizando toda la serie de proyecciones futuras existieron meses con déficits severos (el detalle se presenta en el ANEXO 3).

Conversión de Páramo y Bosque a Cultivo

En la tabla 5.8 se muestra el caudal promedio mensual cuando la conversión es del 25%, 50%, 75% y 100% de Páramo y Bosque a Cultivo, en dónde se observa que al sustituir los páramos y bosques por cultivos se tiene mayor escorrentía y por ende mayor caudal que llega al río.



Tabla 5.7 Cálculo del balance hídrico. Conversión de Cultivo a Bosque

Caudal de Agua Mensual Promedio m³/s														
Conversión del 25% de Cultivo a Bosque														
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.54	4.85	6.43	8.15	6.53	4.80	4.29	3.11	3.16	4.05	4.23	4.19	57.35
Demanda Hídrica	Consumo Humano	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	16.88
	Riego	2.19	2.01	1.02	0.96	1.05	1.11	1.46	1.79	1.32	1.79	1.55	1.12	17.36
	<i>Total</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	-	1.44	4.01	5.78	4.08	2.29	1.42	-	0.43	0.86	1.27	1.67	23.11
		-	30%	62%	71%	62%	48%	33%	-	14%	21%	30%	40%	40%
	Déficit (-)	-0.06	-	-	-	-	-	-	-0.09	-	-	-	-	-
		2%	-	-	-	-	-	-	3%	-	-	-	-	-
Conversión del 50% de Cultivo a Bosque														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.53	4.84	6.42	8.14	6.52	4.79	4.27	3.09	3.15	4.04	4.22	4.18	57.19
Demanda Hídrica	<i>Total</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	-	1.43	4.00	5.77	4.06	2.27	1.41	-	0.42	0.85	1.26	1.66	22.96
		-	30%	62%	71%	62%	47%	33%	-	13%	21%	30%	40%	40%
	Déficit (-)	-0.07	-	-	-	-	-	-	-0.10	-	-	-	-	-
		2%	-	-	-	-	-	-	3%	-	-	-	-	-
Conversión del 75% de Cultivo a Bosque														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.52	4.83	6.41	8.13	6.50	4.77	4.26	3.08	3.13	4.03	4.21	4.17	57.04
Demanda Hídrica	<i>Total</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	-	1.42	3.99	5.76	4.05	2.26	1.39	-	0.40	0.84	1.25	1.65	22.81
		-	29%	62%	71%	62%	47%	33%	-	13%	21%	30%	39%	40%
	Déficit (-)	-0.08	-	-	-	-	-	-	-0.12	-	-	-	-	-
		2%	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	-
Conversión del 100% de Cultivo a Bosque														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.51	4.82	6.40	8.12	6.49	4.76	4.24	3.07	3.12	4.02	4.19	4.16	56.89
Demanda Hídrica	<i>Total</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	-	1.41	3.98	5.75	4.04	2.24	1.38	-	0.39	0.82	1.24	1.63	22.66
		-	29%	62%	71%	62%	47%	33%	-	13%	21%	29%	39%	40%
	Déficit (-)	-0.09	-	-	-	-	-	-	-0.13	-	-	-	-	-
		3%	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017



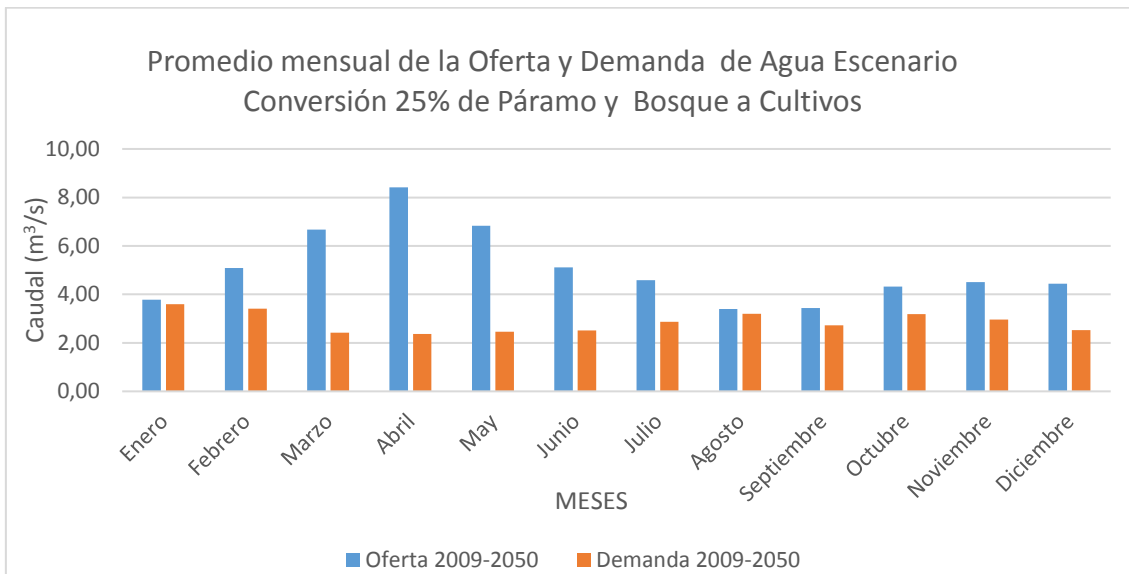
Tabla 5.8 Caudales promedios mensuales, conversión es de Páramo y Bosque a Cultivos.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m^3/s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos	25%	3.78	5.09	6.68	8.41	6.83	5.12	4.59	3.40	3.44	4.33	4.51	4.45
	50%	4.02	5.32	6.91	8.66	7.11	5.42	4.88	3.68	3.70	4.59	4.77	4.69
	75%	4.25	5.54	7.14	8.91	7.39	5.72	5.16	3.96	3.96	4.84	5.03	4.93
	100%	4.49	5.77	7.38	9.15	7.67	6.03	5.45	4.24	4.23	5.10	5.29	5.18

Fuente: Palacios K. 2017.

En la figura 5.22 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 25% de Páramo y Bosque a Cultivos, en el cual se puede observar que la oferta satisface a la demanda, al 100%.

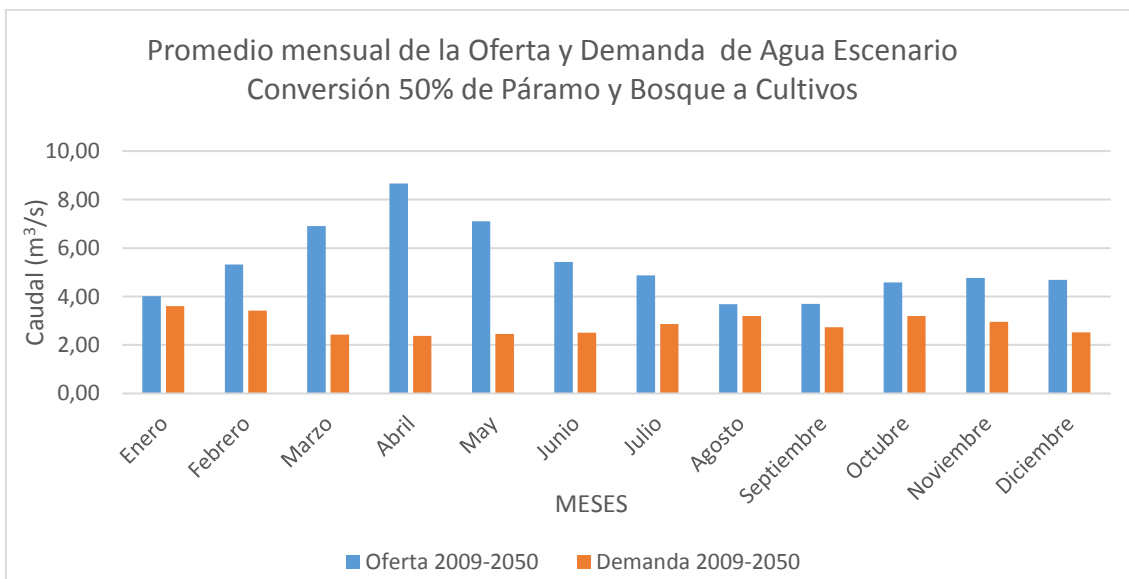
Figura 5.22 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 25% de Páramo y Bosque a Cultivos.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.23 se presenta el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 50% de Páramo y Bosque a Cultivos, en el cual se puede observar que en todos los meses la oferta satisface a la demanda en su 100%.

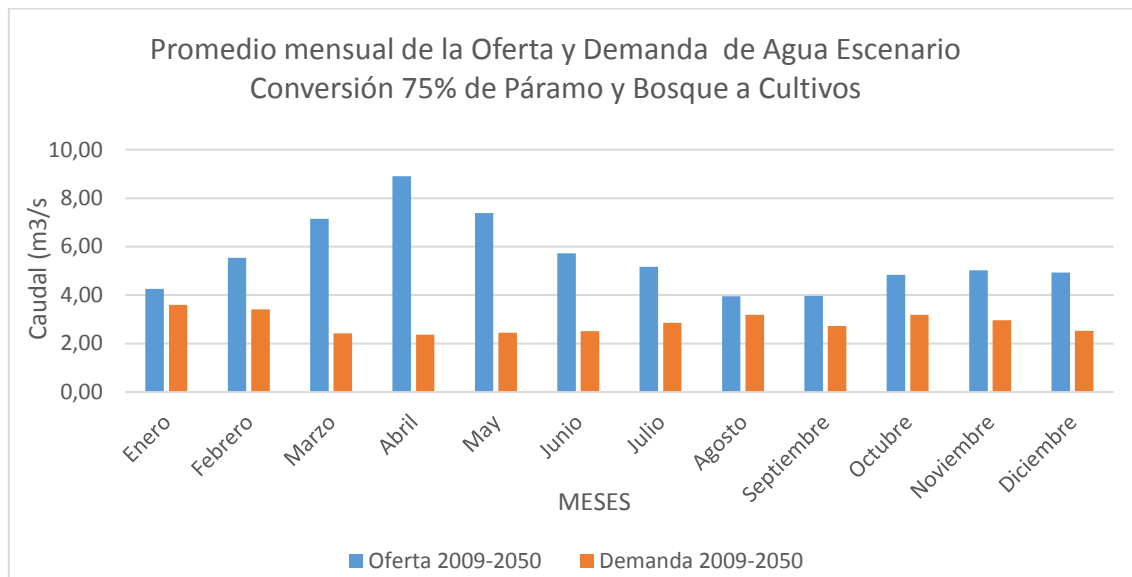
Figura 5.23 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 50% de Páramo y Bosque a Cultivos.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.24 se presenta el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 75% de Páramo y Bosque a Cultivos, en el cual se puede observar que en todos los meses la demanda se satisface en un 100%.

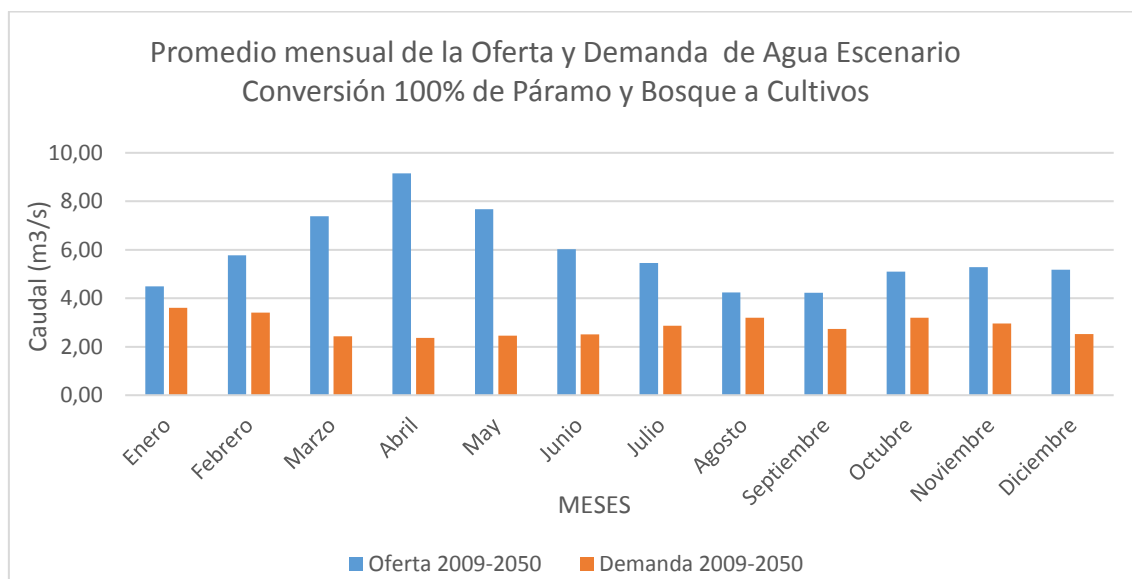
Figura 5.24. Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 75% de Páramo y Bosque a Cultivos.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.25 se presenta el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 100 % de Páramo y Bosque a Cultivos, en el cual se puede observar que en todos los meses la demanda se satisface en un 100%.

Figura 5.25 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 100% de Páramo y Bosque a Cultivos.



Elaborado por: Palacios K. 2017.



En la tabla 5.9 se realizó el promedio mensual del balance hídrico para los escenarios de conversión de Páramo y Bosque a Cultivo, cuando la conversión es del 25%, 50% de Páramo y Bosque a Cultivo, se tiene como resultado que para todos los meses hay un superávit de agua, sin embargo los meses de enero y agosto presentan los menores valores de superávit (5% y 13% respectivamente), lo cual podría ser una preocupación para los gestores del agua en caso de aumentar demandas no previstas o existir tomas clandestinas de agua, que podría causar un déficit del recurso.

Cuando la conversión es del 75% y 100% de Páramo y Bosque a Cultivo, se presenta un superávit de agua para todos los meses, presentándose mayor disponibilidad del recurso en el mes de abril con el 74% de agua.

Como se puede observar, al realizar la conversión de Páramo y Bosque a Cultivo la disponibilidad del agua va aumentando esto es debido a que los cultivos consumen menos agua que los bosques y páramos, por lo tanto hay más agua que va a los ríos.

Finalmente hay que tener presente que analizando todas la series proyectadas futuras (conversiones del 25%, 50%, 75% y 100% de Páramo y Bosque a Cultivos) existen meses con déficits hídrico (el detalle se presenta en el ANEXO 3).

Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta

En la tabla 5.10, se presenta el caudal promedio mensual cuando la conversión es del 25%, 50%, 75% y 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta, en dónde se puede observar que existe un mayor caudal que llega al río. Esto puede deberse a una menor infiltración del agua de precipitación por ausencia de vegetación y por consiguiente una mayor escorrentía superficial que drena hacia los cauces.

Tabla 5.9 Cálculo del balance hídrico. Conversión de Páramo y Bosque a Cultivo.

Caudal de Agua Mensual (m ³ /s)														
Conversión del 25% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.78	5.09	6.68	8.41	6.83	5.12	4.59	3.40	3.44	4.33	4.51	4.45	60.61
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.18	1.68	4.25	6.04	4.37	2.60	1.73	0.21	0.71	1.13	1.55	1.93	26.38
		5%	33%	64%	72%	64%	51%	38%	6%	21%	26%	34%	43%	44%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conversión del 50% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.02	5.32	6.91	8.66	7.11	5.42	4.88	3.68	3.70	4.59	4.77	4.69	63.73
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.42	1.90	4.49	6.29	4.65	2.91	2.01	0.48	0.97	1.39	1.81	2.17	29.50
		10%	36%	65%	73%	65%	54%	41%	13%	26%	30%	38%	46%	46%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conversión del 75% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.25	5.54	7.14	8.91	7.39	5.72	5.16	3.96	3.96	4.84	5.03	4.93	66.85
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.65	2.13	4.72	6.54	4.93	3.21	2.30	0.76	1.23	1.65	2.07	2.41	32.61
		15%	38%	66%	73%	67%	56%	45%	19%	31%	34%	41%	49%	49%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conversión del 100% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.49	5.77	7.38	9.15	7.67	6.03	5.45	4.24	4.23	5.10	5.29	5.18	69.97
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.89	2.35	4.95	6.78	5.22	3.51	2.59	1.04	1.50	1.91	2.33	2.66	35.73
		20%	41%	67%	74%	68%	58%	47%	25%	35%	37%	44%	51%	51%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017



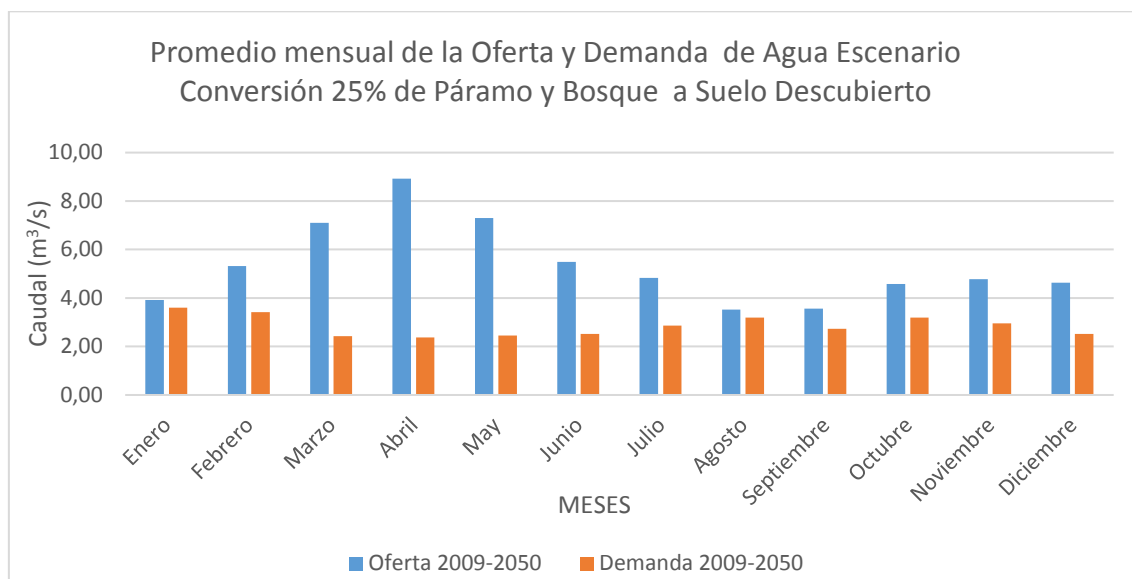
Tabla 5.10 Caudales promedios mensuales, conversión es de Páramo y Bosque a Suelo descubierto.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m^3/s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto	25%	3.91	5.32	7.10	8.93	7.30	5.49	4.83	3.53	3.57	4.57	4.78	4.64
	50%	4.28	5.77	7.75	9.70	8.05	6.15	5.36	3.93	3.96	3.96	5.31	5.07
	75%	4.64	6.22	8.41	10.46	8.79	6.82	5.89	4.34	4.36	4.36	5.85	5.50
	100%	5.00	6.67	9.06	11.23	9.54	7.49	6.42	4.74	4.75	4.75	6.38	5.93

Fuente: Palacios K. 2017.

En la figura 5.26 se presenta el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 25 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta, en el cual se puede observar que en todos los meses la demanda se satisface en un 100%. Sin embargo los meses de enero y agosto presentan los menores valores de superávit (8% y 9% respectivamente), lo cual podría ser una preocupación para los gestores del agua en caso de aumentar demandas no previstas o existir tomas clandestinas de agua, que podría causar un déficit del recurso.

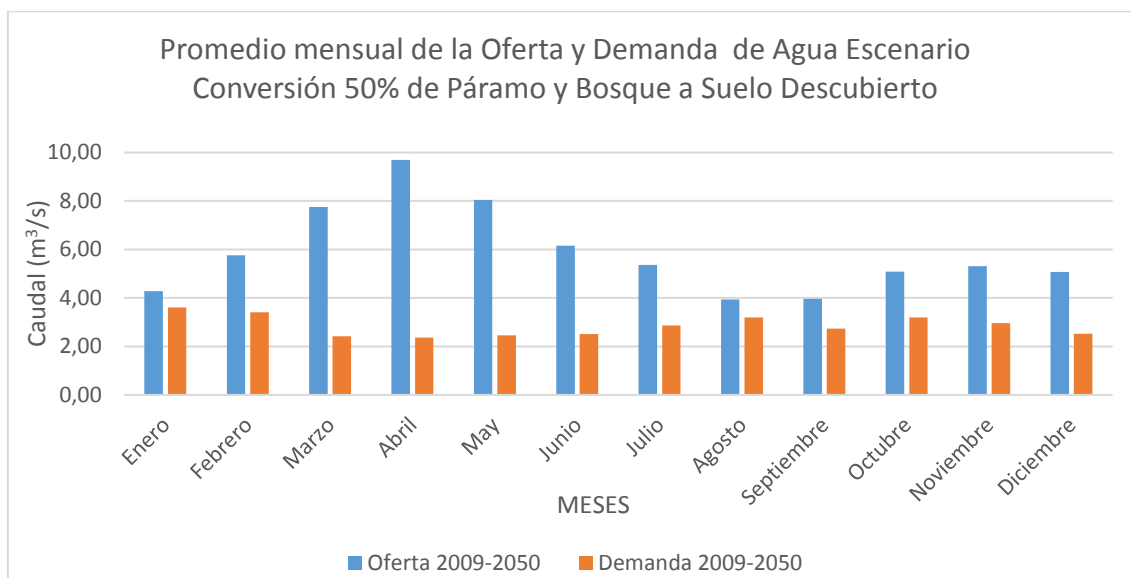
Figura 5.26 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 25 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.27 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 50% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta, en el cual se puede observar que en todos los meses la demanda se satisface en un 100%.

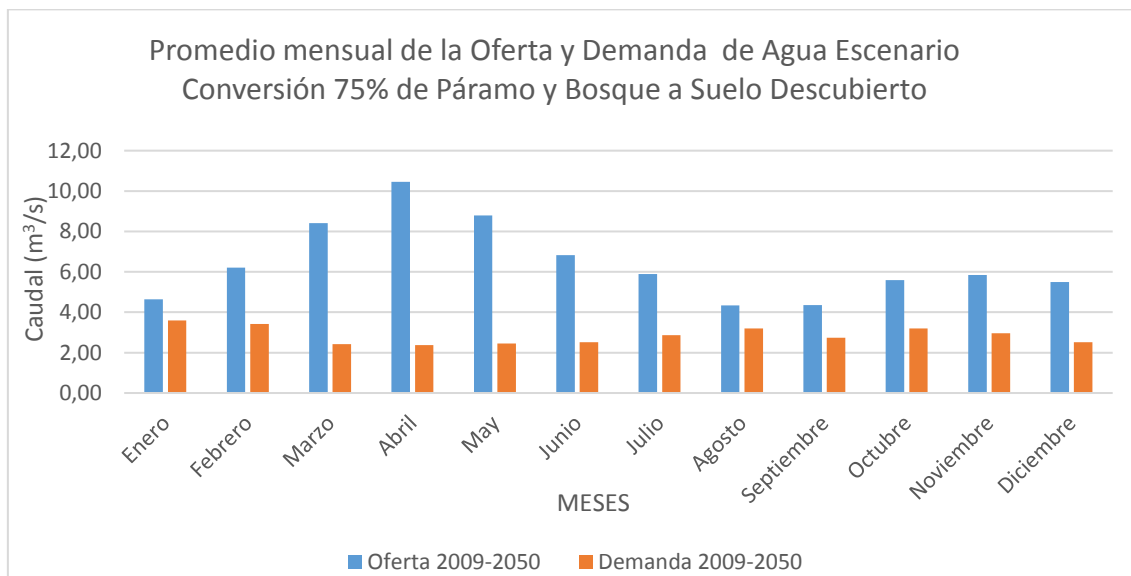
Figura 5.27 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 50 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.28 se indica el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 75% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta, en el cual se puede observar que en todos los meses la demanda se satisface en un 100%.

Figura 5.28 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 75 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta.

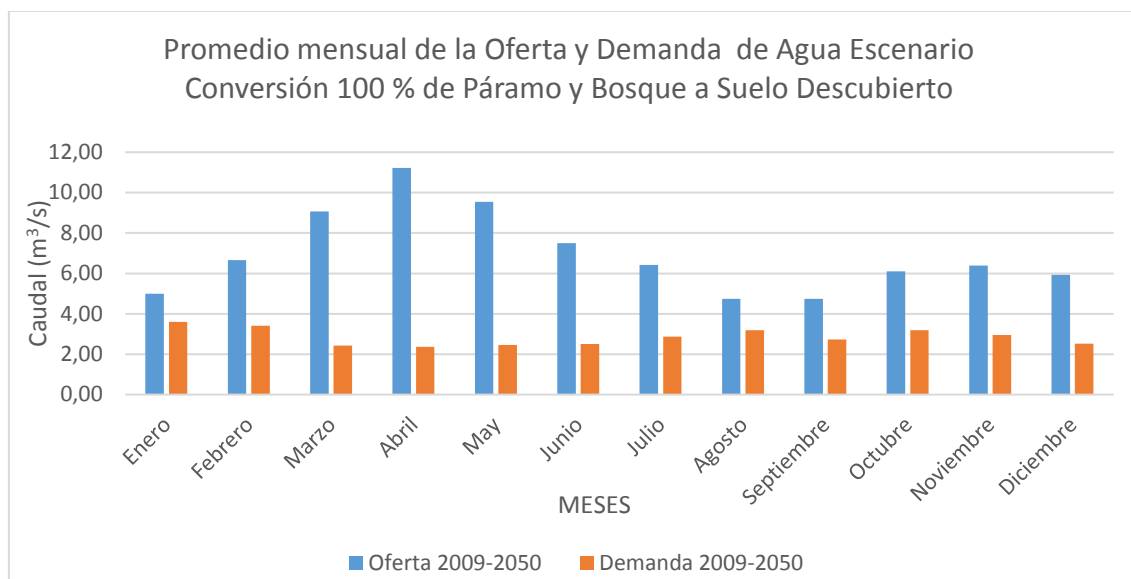


Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.29 se tiene el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta,

en el cual se puede observar que en todos los meses la demanda se satisface en un 100%.

Figura 5.29 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Conversión 100 % de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la tabla 5.11, se muestra el balance hídrico mensual para los escenarios de conversión de Páramo y Bosque a Suelo descubierta.

Cuando la conversión es del 25% la demanda se satisface al 100% en todos los meses, no obstante los meses de enero y agosto presentan valores bajos de superávit (8% y 9% respectivamente).

Cuando la conversión es del 50%, 75% y 100% se presenta un superávit de agua, teniendo una mayor disponibilidad de agua en los meses de marzo, abril y mayo (entre el 66% al 79%).

Por otra parte al efectuar el análisis de todo el periodo de tiempo en el futuro, en algunos escenarios de conversión se presentó déficits en meses determinados (el detalle se presenta en el ANEXO 3).



Tabla 5.11 Cálculo del balance hídrico. Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.

Caudal de Agua Mensual (m ³ /s)														
Conversión del 25% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto														
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.91	5.32	7.10	8.93	7.30	5.49	4.83	3.53	3.57	4.57	4.78	4.64	63.95
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.31	1.90	4.68	6.56	4.84	2.97	1.97	0.33	0.84	1.38	1.82	2.11	29.72
		8%	36%	66%	73%	66%	54%	41%	9%	23%	30%	38%	46%	46%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conversión del 50% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.28	5.77	7.75	9.70	8.05	6.15	5.36	3.93	3.96	5.08	5.31	5.07	70.41
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.68	2.35	5.33	7.33	5.59	3.64	2.50	0.74	1.23	1.89	2.36	2.55	36.17
		16%	41%	69%	76%	69%	59%	47%	19%	31%	37%	44%	50%	51%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conversión del 75% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.64	6.22	8.41	10.46	8.79	6.82	5.89	4.34	4.36	5.59	5.85	5.50	76.86
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	1.04	2.80	5.99	8.09	6.34	4.31	3.03	1.14	1.62	2.40	2.89	2.98	42.63
		22%	45%	71%	77%	72%	63%	51%	26%	37%	43%	49%	54%	55%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conversión del 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	5.00	6.67	9.06	11.23	9.54	7.49	6.42	4.74	4.75	6.10	6.38	5.93	83.32
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	1.40	3.25	6.64	8.86	7.09	4.98	3.56	1.55	2.02	2.91	3.43	3.41	49.08
		28%	49%	73%	79%	74%	66%	55%	33%	43%	48%	54%	57%	59%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.

5.4.2 Escenarios de cambio climático

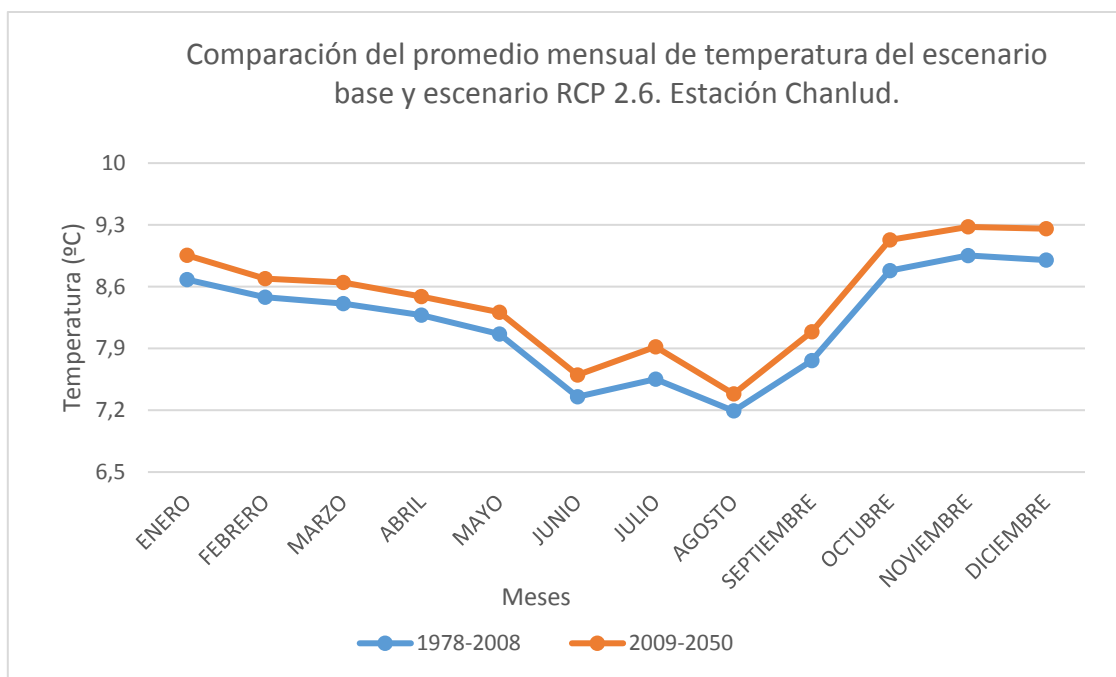
En este estudio se evaluaron las proyecciones de precipitación y temperatura en el futuro y su afectación a los caudales de entrada a los embalses de Chanlud y El Labrado. Para lo cual se realizó una comparación y análisis entre el escenario base (1978-2008), y los escenarios de cambio climático RCP 2.6 y RCP 8.5.

Temperatura:

La temperatura es una variable importante en el ciclo hidrológico, si se proyecta un aumento de la temperatura habría un aumento en la evapotranspiración y por consiguiente una disminución de los caudales de los ríos.

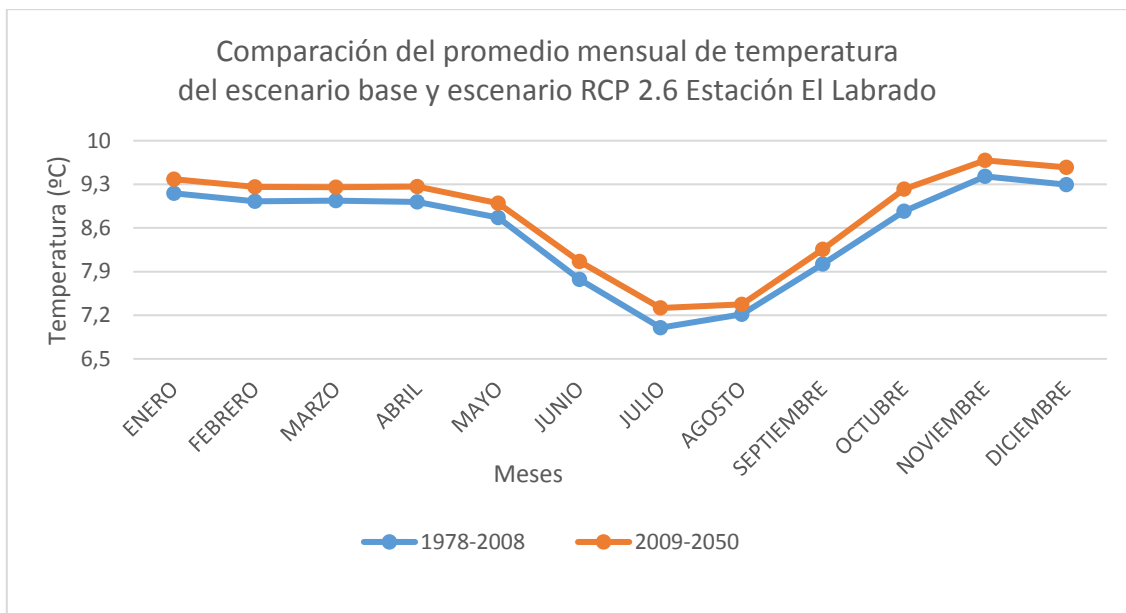
Al comparar los promedios mensuales de temperatura del escenario base con el escenario climático RCP 2.6, para la estación de Chanlud se tiene como resultado que en todos los meses se da un aumento de la temperatura entre 0.19°C a 0.37°C como se indica en la figura 5.30, en cambio para la estación de El Labrado se da un aumento de la temperatura entre el 0.16°C a 0.35°C , como se indica en la figura 5.31.

Figura 5.30 Comparación del promedio mensual de temperatura del escenario base y escenario RCP 2.6. Estación Chanlud.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.31 Comparación del promedio mensual de temperatura del escenario base y escenario RCP 2.6. Estación El Labrado.

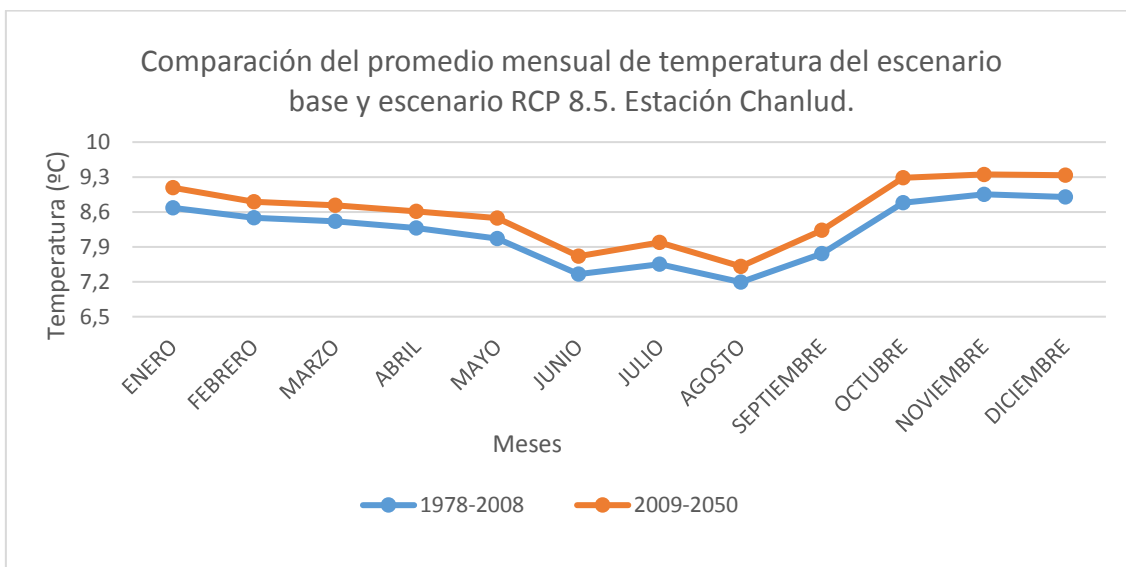


Elaborado por: Palacios K. 2017.

Realizando un análisis de la relación entre el escenario base (1978-2008) y el escenario climático RCP 8.5 para la estación Chanlud se tiene un aumento de la temperatura entre el 0.32°C a 0.51°C (figura 5.32); y para la estación de El Labrado se tiene un aumento entre el 0.28°C a 0.51°C (figura 5.33).

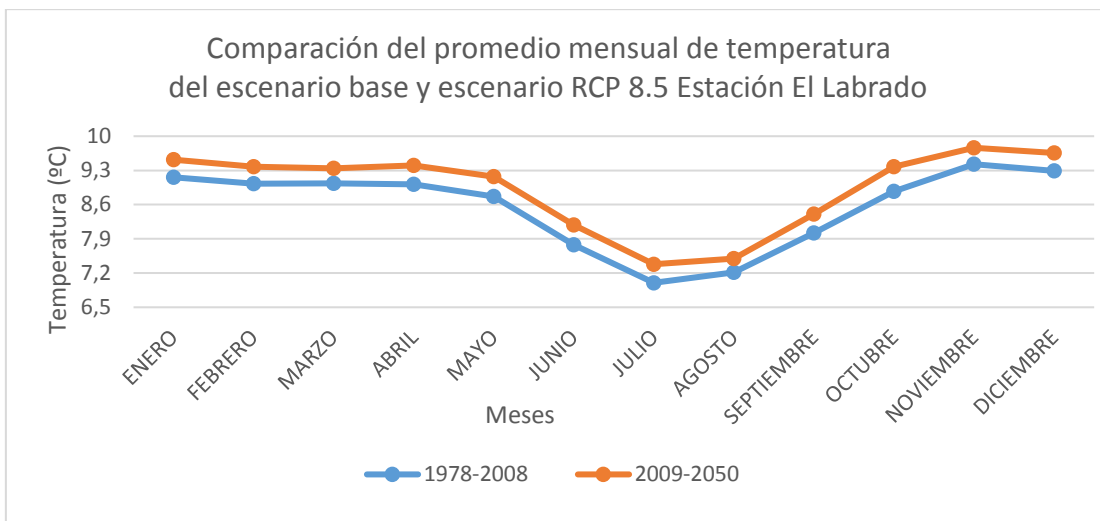
Como se puede observar el aumento de la temperatura se da en ambas estaciones teniendo un mayor aumento en la estación de Chanlud

Figura 5.32 Comparación del promedio mensual de temperatura del escenario base y escenario RCP 8.5. Estación Chanlud



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.33 Comparación del promedio mensual de temperatura del escenario base y escenario RCP 8.5. Estación El Labrado.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

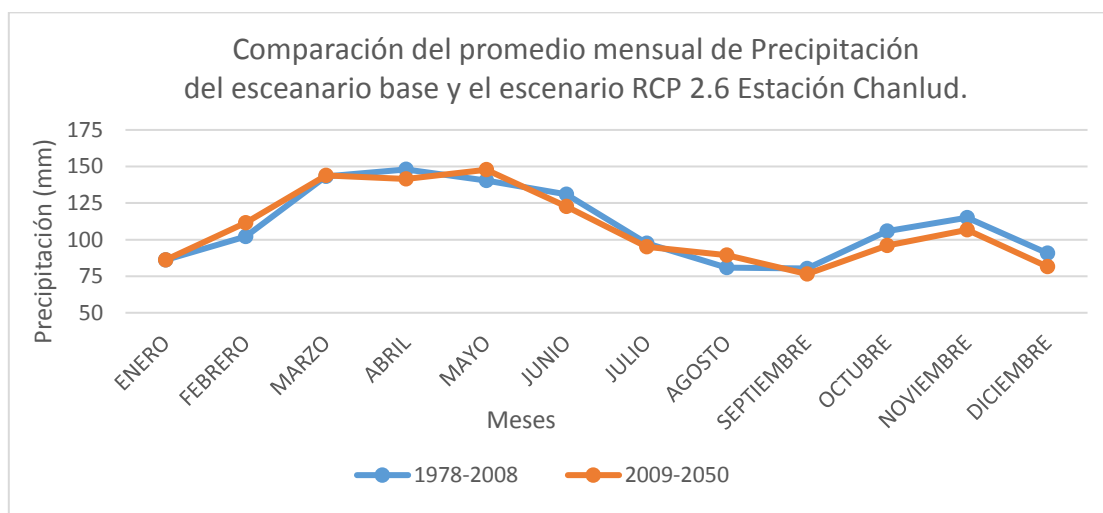
Precipitación:

El cambio climático modifica los regímenes de precipitación alterando el ciclo hidrológico. Esto implica que cambios en los valores de precipitación modificarían los caudales de los ríos.

Al realizar la comparación del promedio mensual de precipitación entre el escenario base (1978-2008) y el escenario climático RCP 2.6 para la estación de Chanlud, se tiene un aumento de la precipitación en los meses de febrero en un 8%, mayo en un 5% y agosto en un 10% (Figura 5.34).

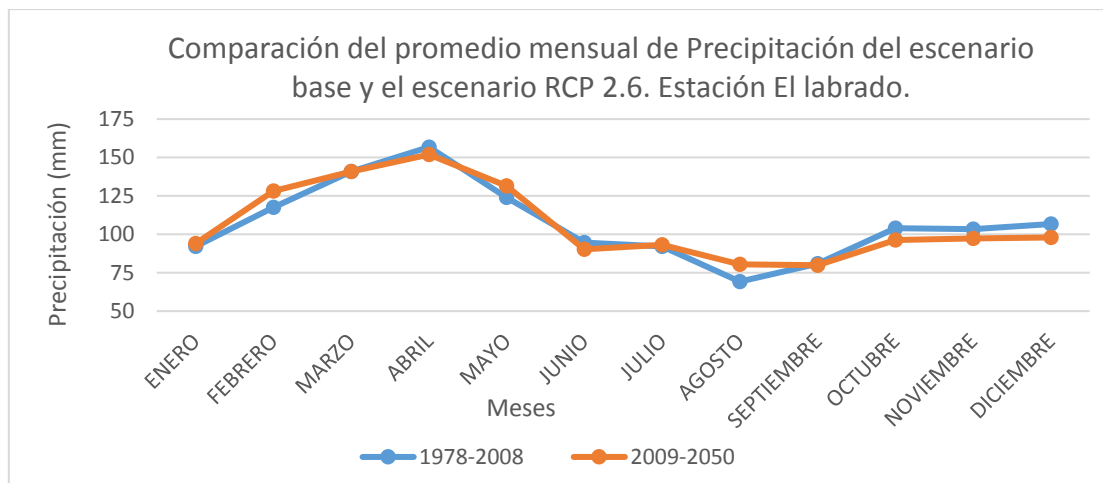
En la figura 5.35 se muestra que en la estación de El Labrado también existe un aumento de precipitación en los meses de enero en un 2%, febrero en un 8%, mayo en un 6%, julio en un 1% y agosto en un 14%.

Figura 5.34 Comparación del promedio mensual de Precipitación del escenario base y escenario RCP 2.6. Estación Chanlud.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.35 Comparación del promedio mensual de Precipitación del escenario base y escenario RCP 2.6. Estación El labrado.



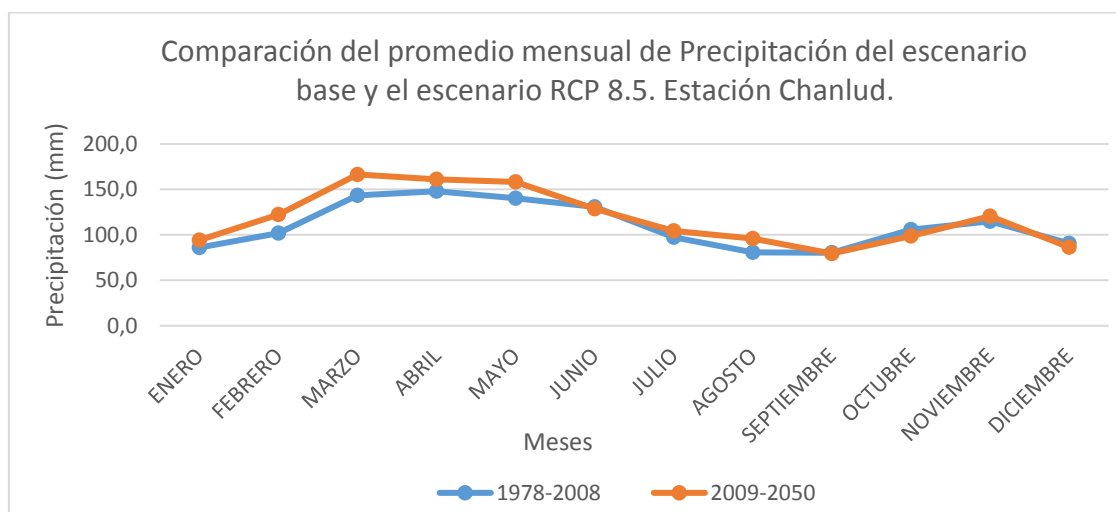
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Al hacer la relación entre el escenario base (1978-2008) y el escenario climático RCP 8.5 para la estación Chanlud (figura 5.36) se observa un aumento de la precipitación en los meses de enero en un 8%, febrero en un 17%, marzo en un 14%, abril en un 8%, mayo en un 11%, julio en un 7%, agosto en un 16% y noviembre en un 5%.

De igual forma para la estación de El Labrado se tiene un aumento de precipitación en los meses de enero en un 10%, febrero en un 16%, marzo en un 14%, abril en un 9%, mayo en un 12%, julio en un 10%, agosto en un 20%, septiembre en un 3% y noviembre en un 6% (figura 5.37).

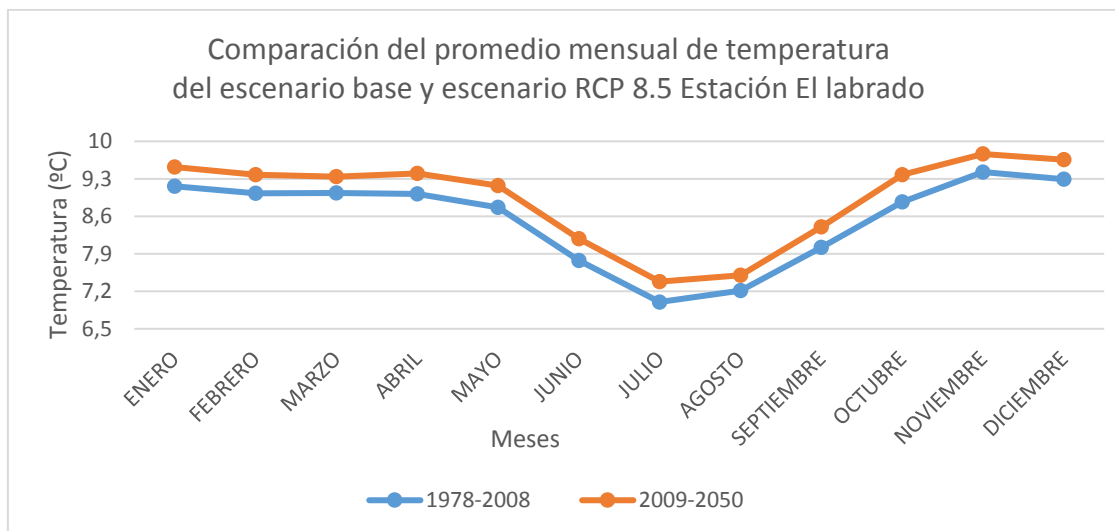
Como se puede observar la precipitación presenta valores altos en algunos meses del año tanto para el escenario RCP 2.6 y RCP 8.5 en ambas estaciones, razón por la cual hay mayor caudal en los ríos. La tabla 5.12 presenta el caudal promedio mensual para los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5

Figura 5.36 Comparación del promedio mensual de Precipitación del escenario base y escenario RCP 8.5. Estación Chanlud



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.37 Comparación del promedio mensual de Precipitación del escenario base y escenario RCP 8.5. Estación El labrado.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la tabla 5.12 se presenta el caudal mensual promedio obtenido de la unión del río Machángara y del río Chulco.

Tabla 5.12 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 2.6 y RCP 8.5.

ESCENARIO	Caudal de Agua Mensual Promedio (m ³ /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	3.50	4.88	6.41	8.09	6.50	4.71	4.24	3.11	3.12	3.97	4.15	4.11
RCP 8.5	3.69	5.12	6.77	8.46	6.83	4.98	4.51	3.33	3.29	4.16	4.40	4.29
Base	3.42	5.28	6.49	8.16	6.40	5.43	4.13	3.01	3.26	3.64	4.50	4.33

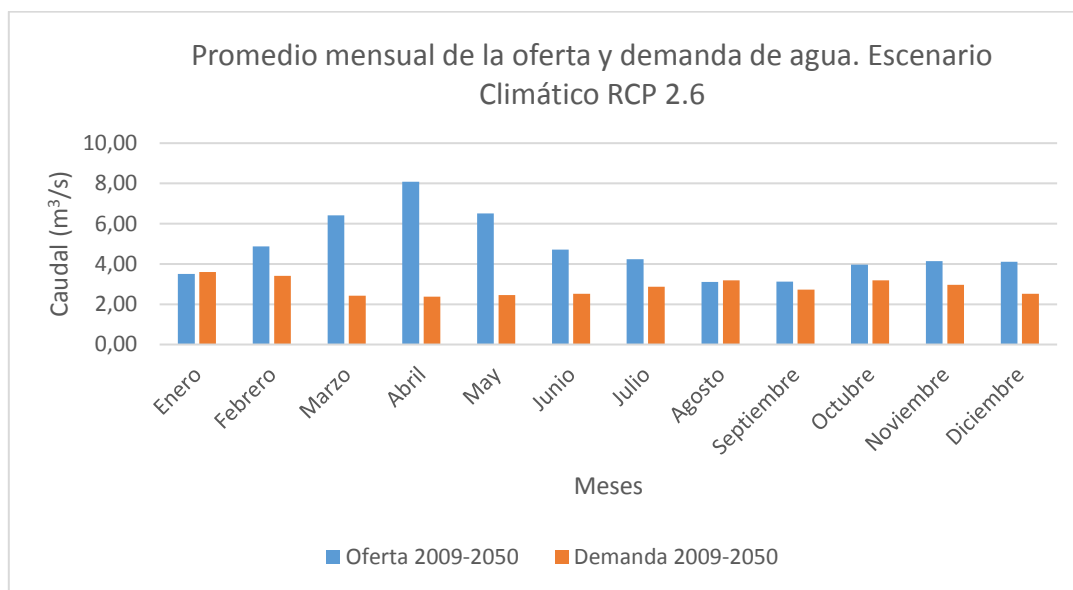
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Analizando las gráficas anteriores se puede ver que la precipitación aumenta en ambas estaciones. En el escenario RCP 8.5 existe un aumento más pronunciado que el escenario RCP 2.6 y esto coincide también con el aumento de caudales.

Balance hídrico:

En la figura 5.38 se presentan los promedios mensuales de la oferta y demanda de agua en el escenario climático RCP 2.6, se puede observar que en el mes de enero se tiene una oferta de 3.50 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y en agosto la oferta es de 3.11 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s. Por lo tanto en los meses de enero y agosto un 3% de la demanda no se satisface en su totalidad, mientras tanto en el resto de los meses la demanda es satisfecha un 100%.

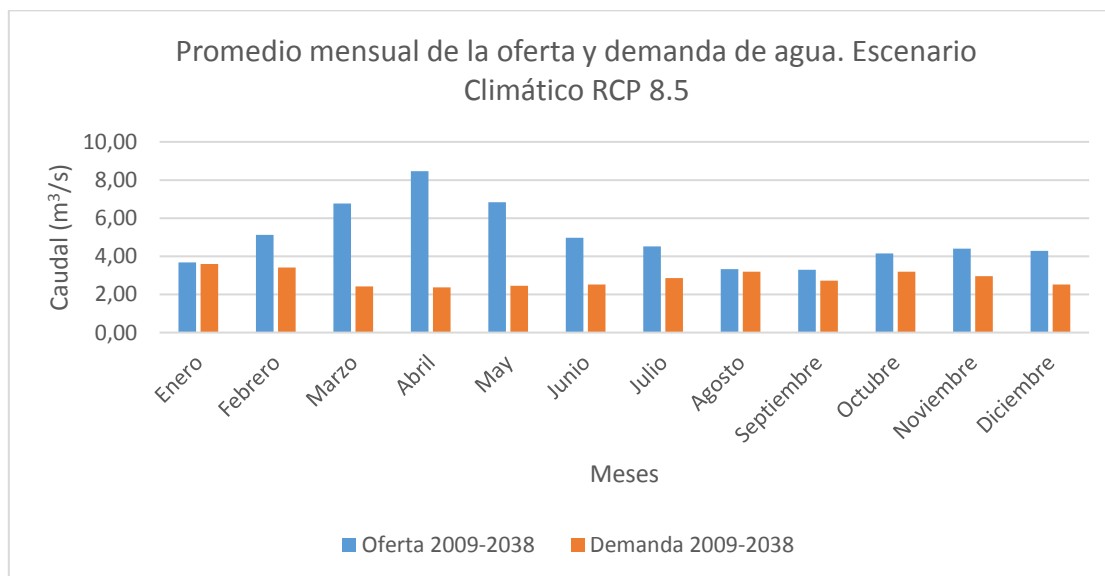
Figura 5.38 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.39 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua en el escenario climático RCP 8.5, en donde se observa que en todos los meses la oferta cubre el 100% de la demanda de agua. Sin embargo en el mes de enero se tiene una oferta de 3.69 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y en agosto la oferta es de 3.33 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s, presentando un bajo superávit que podría revertirse al existir demandas no previstas en el futuro y desviaciones clandestinas de agua.

Figura 5.39 Promedio mensual de la oferta y demanda de agua escenario climático RCP 8.5



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la tabla 5.13 se muestra el balance hídrico de los escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5.



Tabla 5.13 Cálculo del balance hídrico. Escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5

Caudal de Agua Mensual (m ³ /s)															
Cambio Climático RCP 2.6															
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL	
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.50	4.88	6.41	8.09	6.50	4.71	4.24	3.11	3.12	3.97	4.15	4.11	55.25	
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24	
Balance Hídrico	Superávit (+)	-	1.46	3.99	5.72	4.05	2.20	1.37	-	0.39	0.78	1.19	1.59	21.02	
		-	30%	62%	71%	62%	47%	32%	-	12%	20%	29%	39%	38%	
	Déficit (-)	-0.10	-	-	-	-	-	-	-	-0.08					
		3%	-	-		-	-	-	-	3%					
Cambio Climático RCP 8.5															
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.69	5.12	6.77	8.46	6.83	4.98	4.51	3.33	3.29	4.16	4.40	4.29	58.146	
Demanda Hídrica	Consumo humano más riego	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24	
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.09	1.70	4.35	6.09	4.37	2.46	1.65	0.14	0.56	0.96	1.44	1.77	23.91	
		2%	33%	64%	72%	64%	49%	37%	4%	17%	23%	33%	41%	41%	
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-		-	-	-	-	-	-		-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Resumiendo los resultados obtenidos, con el escenario climático RCP 2.6 se proyecta un déficit de 3% de las demandas en los meses de enero y agosto y en el resto de meses la demanda será cubierta en su totalidad al 100%. En cambio para el escenario climático RCP 8.5 se proyecta un superávit de agua en todos los meses, no obstante haciendo un análisis de todo el periodo de tiempo futuro algunos meses tendrían déficits de agua (Ver detalle en el ANEXO 3).

5.4.3 Escenarios de cambio de uso del suelo y cambio climático

Se realizó la combinación de los escenarios del cambio de uso del suelo con los escenarios de cambio climático. El cambio de uso del suelo afecta directamente a la hidrología y a los caudales de los ríos, el cambio climático afecta la temperatura y la precipitación, y por lo tanto indirectamente a la hidrología y a los caudales. Se obtuvieron los siguientes resultados:

En la tabla 5.14, se presenta el escenario RCP 2.6 y conversión de Cultivos a Bosque, en donde se puede observar que a medida que se realiza la conversión del remplazo de 25%, 50% 75% y 100%, los caudales van disminuyendo, esto puede ser porque al reemplazar los cultivos por bosque se presenta mayor evapotranspiración y por tal razón hay menos caudal que llega al río.

En la tabla 5.15 se tiene el resultado de los caudales de agua mensual promedio resultantes del escenario RCP 8.5 y conversión de Cultivos a Bosque, con la conversión del 25%, 50% 75% y 100%. En donde se observa que a medida de que se realiza la conversión los caudales van disminuyendo. Por otra parte la precipitación en el escenario RCP 8.5 presenta un mayor aumento con respecto al escenario RCP 2.6, por esta razón los valores de los caudales son mayores en el escenario RCP 8.5.

Al combinar el escenario RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivos (tabla 5.16), los caudales van aumentando a medida que se realiza la conversión de 25%, 50% 75% y 100%. En la tabla 5.17 se presenta la combinación del escenario RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivos. Se puede observar que a medida que se realiza la conversión de 25%, 50% 75% y 100%, los caudales van aumentando

El aumento de caudales puede ser debido a que al reemplazar los páramos y bosques por cultivos se presenta menor evapotranspiración puesto que los cultivos consumen menos agua que los bosques y por tal razón hay más caudal que llega al río.

Por otra parte los valores de caudal del escenario climático RCP 8.5 son mayores con respecto al escenario RCP 2.6, debido a un mayor aumento de precipitación en el escenario RCP 8.5.



Tabla 5.14 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 2.6 y conversión de Cultivos a Bosque.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6 y conversión de Cultivos a Bosque	25%	3.490	4.865	6.403	8.074	6.492	4.696	4.225	3.097	3.106	3.957	4.137	4.097
	50%	3.479	4.855	6.392	8.062	6.479	4.682	4.211	3.083	3.093	3.945	4.125	4.086
	75%	3.469	4.845	6.381	8.050	6.466	4.669	4.197	3.070	3.080	3.933	4.114	4.074
	100%	3.458	4.835	6.371	8.039	6.453	4.655	4.184	3.057	3.068	3.922	4.102	4.063

Fuente: Palacios K. 2017.

Tabla 5.15 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 8.5 y conversión Cultivos a Bosque.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 8.5 y conversión de Cultivos a Bosque	25%	3.67	5.11	6.76	8.44	6.81	4.96	4.50	3.32	3.28	4.14	4.38	4.27
	50%	3.66	5.10	6.75	8.43	6.80	4.94	4.48	3.30	3.27	4.13	4.37	4.26
	75%	3.65	5.08	6.74	8.41	6.78	4.93	4.46	3.28	3.25	4.12	4.36	4.25
	100%	3.64	5.07	6.72	8.40	6.77	4.91	4.45	3.27	3.24	4.10	4.35	4.24

Fuente: Palacios K. 2017.



Tabla 5.16 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivos.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivos	25%	3.717	5.088	6.642	8.328	6.772	4.989	4.511	3.378	3.373	4.215	4.391	4.336
	50%	3.934	5.301	6.870	8.571	7.040	5.270	4.783	3.647	3.627	4.460	4.634	4.564
	75%	4.151	5.513	7.099	8.814	7.308	5.549	5.055	3.916	3.882	4.706	4.877	4.793
	100%	4.367	5.726	7.327	9.056	7.575	5.829	5.328	4.184	4.136	4.951	5.119	5.021

Fuente: Palacios K. 2017.

Tabla 5.17 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivos.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivos	25%	3.93	5.37	7.06	8.76	7.16	5.32	4.84	3.65	3.58	4.44	4.67	4.55
	50%	4.18	5.61	7.34	9.06	7.49	5.66	5.18	3.96	3.88	4.72	4.95	4.81
	75%	4.43	5.86	7.62	9.35	7.82	6.00	5.51	4.28	4.17	5.00	5.23	5.07
	100%	4.68	6.11	7.91	9.65	8.15	6.35	5.84	4.60	4.46	5.28	5.51	5.33

Fuente: Palacios K. 2017.



En la tabla 5.18, se presenta el escenario RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta, en la cual se observa que a medida que se realiza la conversión de 25%, 50% 75% y 100%. En la tabla 5.19 se tiene el escenario RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta, en dónde se puede observar que a medida que se realiza la conversión de 25%, 50% 75% y 100%, los caudales van aumentando.

El aumento de caudales puede ser debido a que al tener el suelo descubierta, existe menos infiltración del agua precipitable y más escorrentía superficial que va directo al río.

Además, los valores de caudal son mayores en el escenario RCP 8.5 con respecto al escenario RCP 2.6, debido a un mayor aumento de precipitación en el escenario RCP 8.5.

Tabla 5.18 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto	25%	3.847	5.378	7.091	8.828	7.289	5.343	4.762	3.573	3.500	4.420	4.625	4.477
	50%	4.194	5.880	7.769	9.571	8.074	5.976	5.286	4.035	3.881	4.870	5.103	4.846
	75%	4.541	6.383	8.446	10.314	8.858	6.609	5.810	4.498	4.262	5.320	5.579	5.215
	100%	4.566	6.382	8.517	10.337	8.987	6.810	5.886	4.592	4.302	5.381	5.679	5.220

Fuente: Palacios K. 2017.

Tabla 5.19 Caudales promedios mensuales, escenario climático RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a suelo descubierto	25%	4.09	5.70	7.62	9.35	7.71	5.67	5.11	3.84	3.69	4.63	4.95	4.70
	50%	4.49	6.28	8.47	10.25	8.59	6.36	5.72	4.35	4.09	5.09	5.50	5.10
	75%	4.89	6.86	9.32	11.14	9.48	7.06	6.32	4.86	4.49	5.56	6.05	5.51
	100%	5.29	7.45	10.17	12.04	10.36	7.75	6.92	5.37	4.89	6.03	6.60	5.92

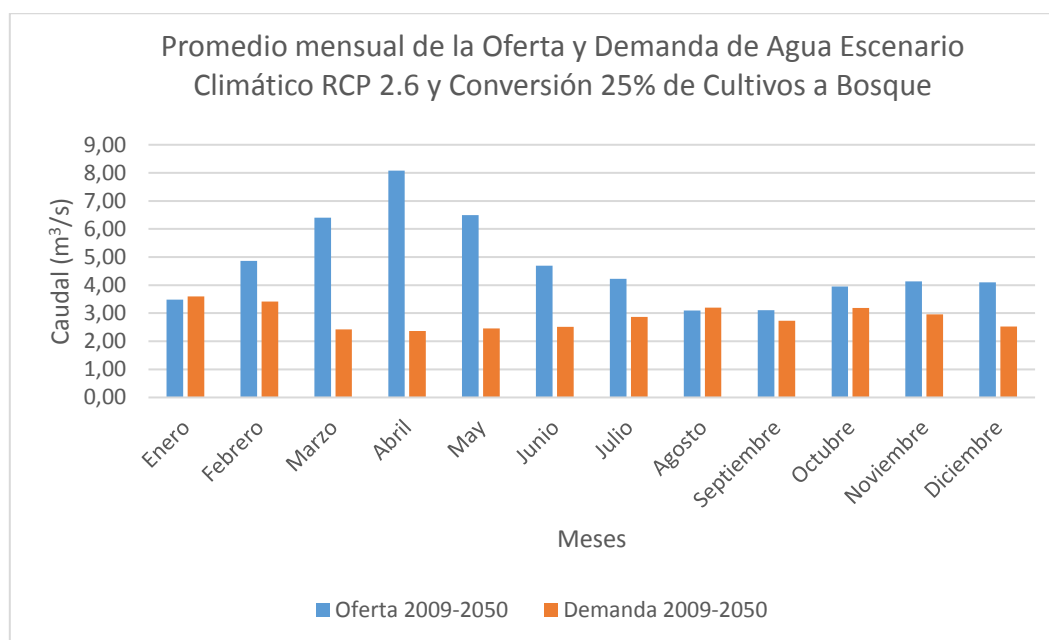
Fuente: Palacios K. 2017.

El clima y el cambio de uso de suelo son dos factores que afectan la oferta de agua en el sistema de recursos hídricos, sin embargo haciendo la relación con la demanda de agua (usos del agua) en los distintos escenarios se obtuvieron los siguientes resultados:

En la figura 5.40 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 25 % de Cultivos a Bosque, en el cual se puede observar que en el mes de enero se tiene una oferta de 3.49 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y en agosto la oferta es de 3.10 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s. Es decir en estos meses la demanda supera ligeramente a la oferta.

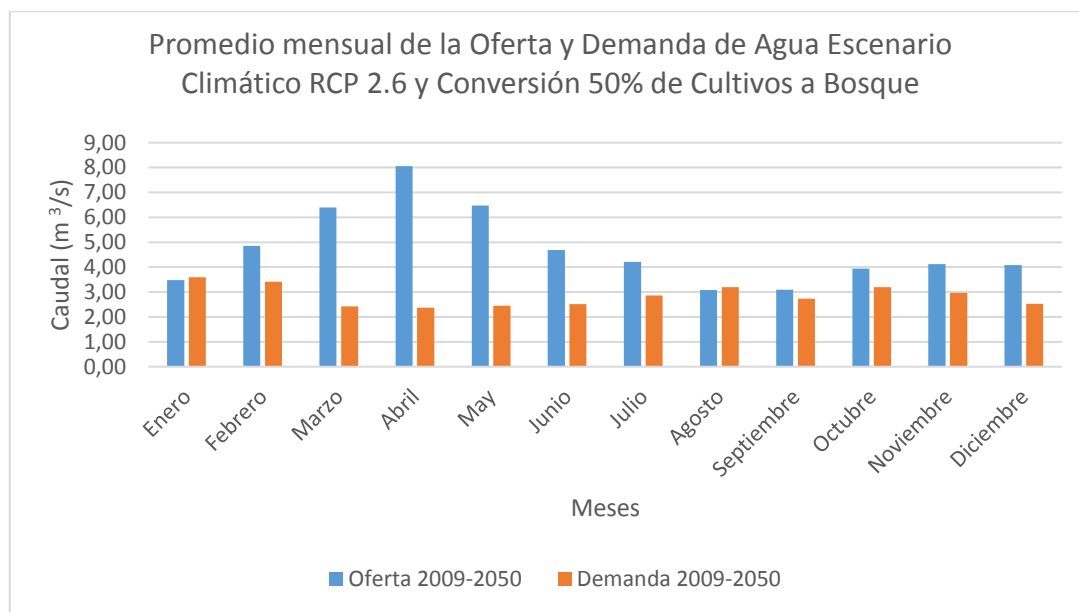
En la figura 5.41 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 50 % de Cultivos a Bosque, en el cual se puede observar que en la mayoría de los meses la demanda se cubre al 100% a excepción del mes de enero en el cual se tiene una oferta de 3.48 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y del mes de agosto en donde la oferta es de 3.08 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s. Por lo tanto, en enero y en agosto la demanda no se satisface, y en el resto de los meses la demanda se cubre al 100%.

Figura 5.40 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 25% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

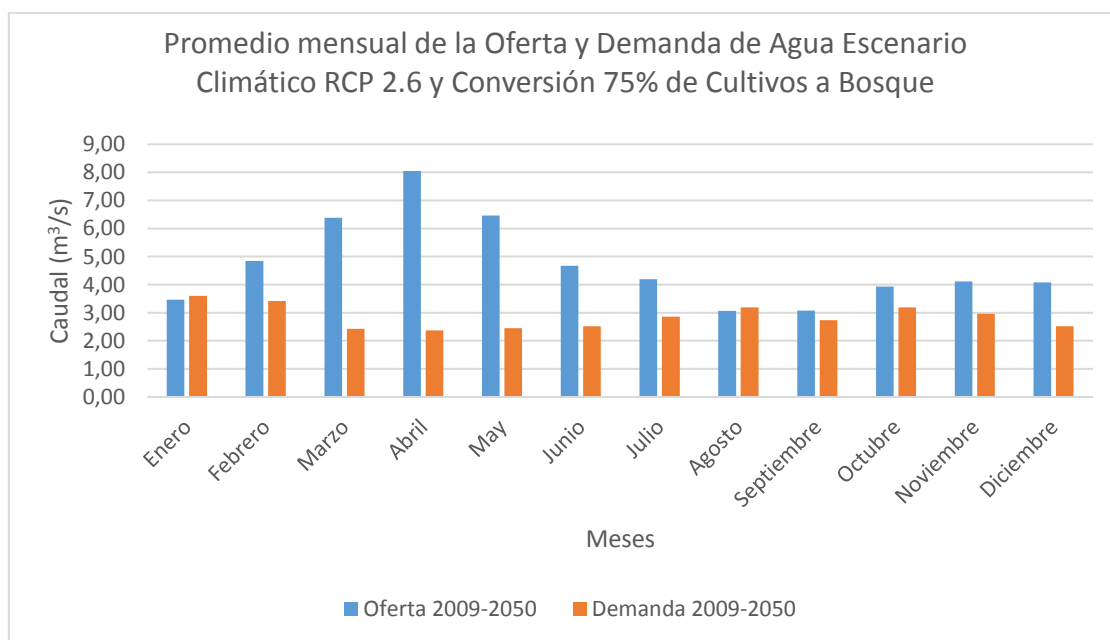
Figura 5.41 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 50% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.42 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 75 % de Cultivos a Bosque, en el cual se puede observar que en la mayoría de los meses la demanda se cubre al 100% a excepción del mes de enero en el cual se tiene una oferta de 3.47 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y del mes de agosto en dónde la oferta es de 3.07 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s.

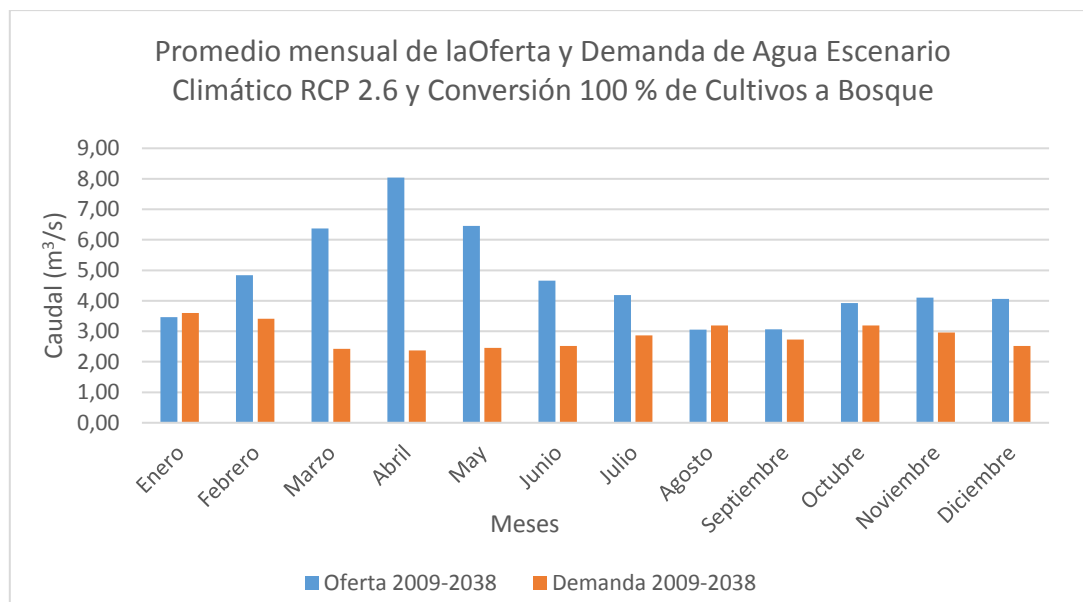
Figura 5.42 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 75% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

En la figura 5.43 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario conversión 100 % de Cultivos a Bosque, en el cual se puede observar que en el mes de enero se tiene una oferta de 3.46 m³/s y una demanda de 3.60 m³/s, y en agosto la oferta es de 3.06 m³/s y la demanda de 3.19 m³/s. Es decir en estos meses la demanda supera ligeramente a la oferta.

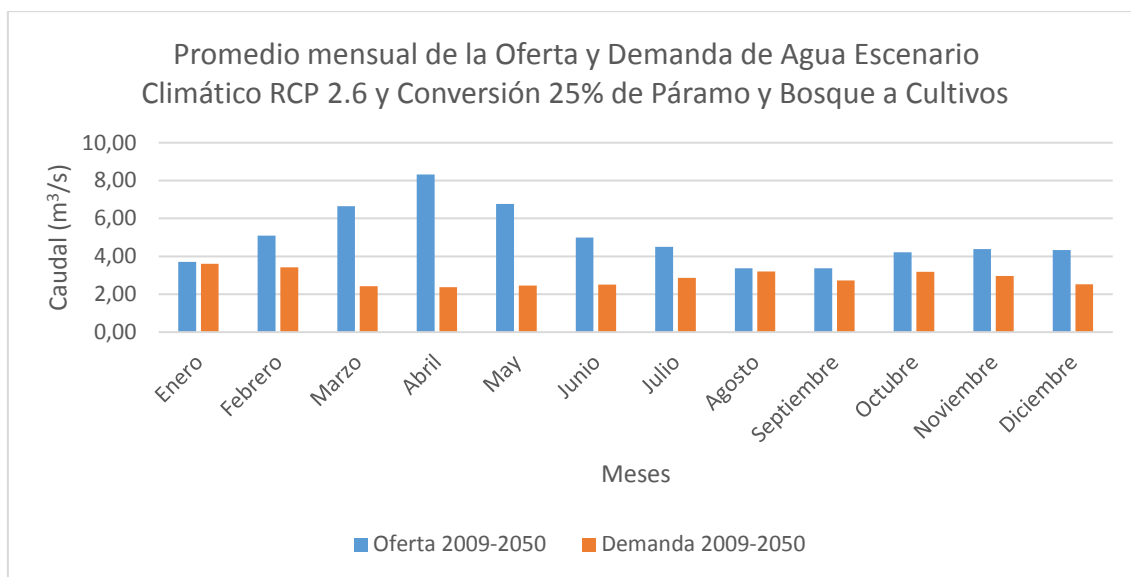
Figura 5.43 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 100% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

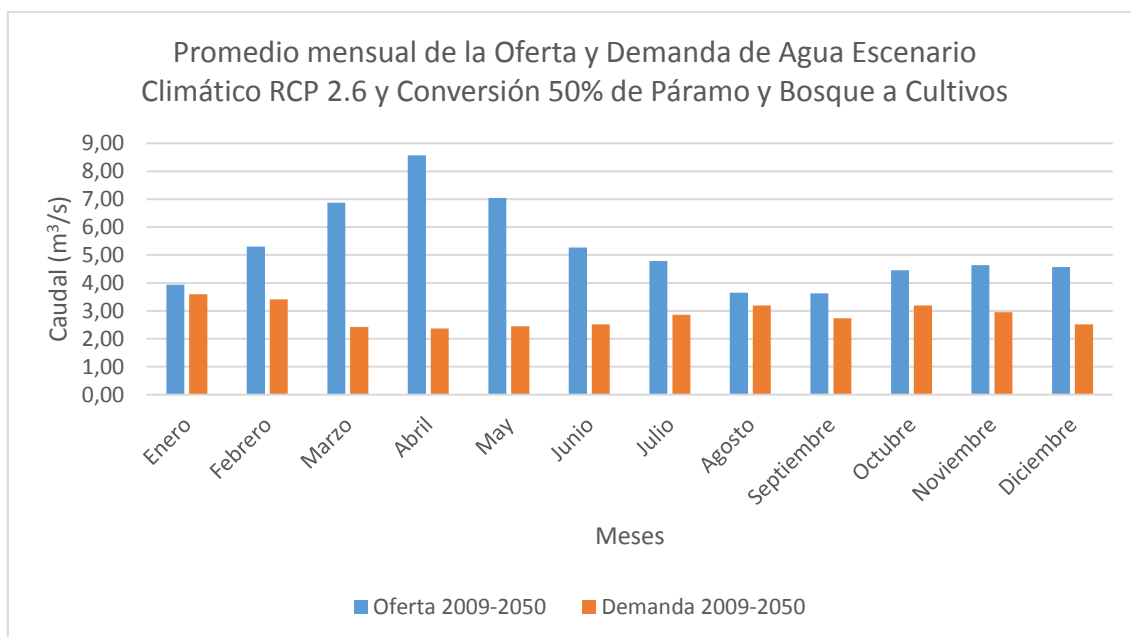
En las figuras 5.44, 5.45, 5.46 y 5.47 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario climático RCP 2.6 y conversión 25%, 50%, 75% y 100% de Páramo y Bosque a Cultivos. En las cuales se pueden observar que la demanda se cubre al 100%.

Figura 5.44 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 25% de Páramo y Bosque a Cultivos.



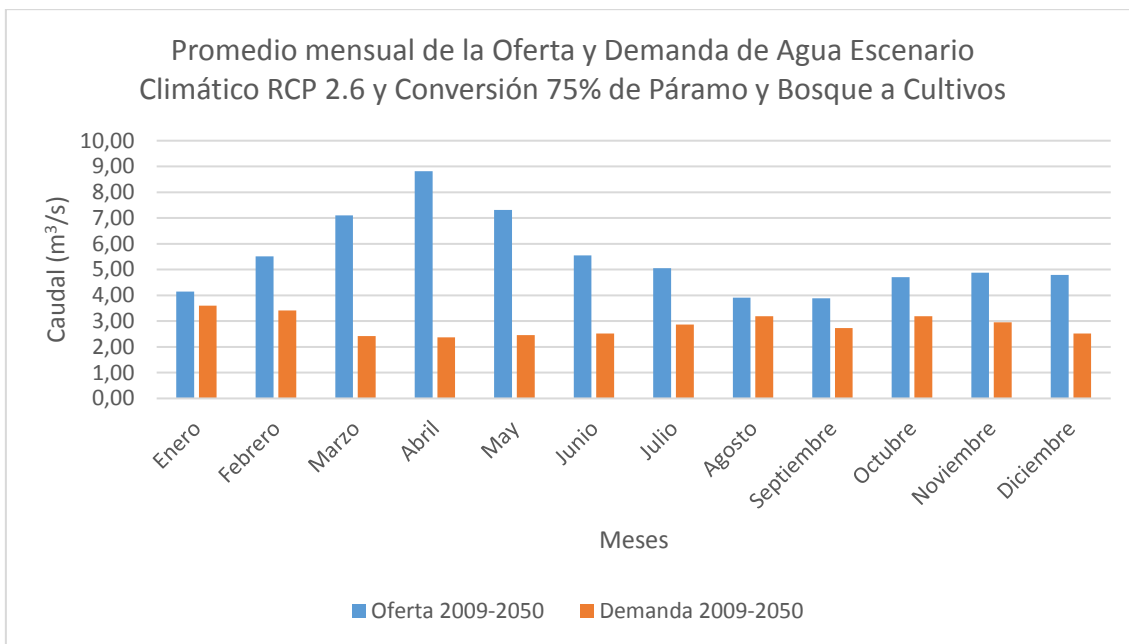
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.45 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 50% de Páramo y Bosque a Cultivos.



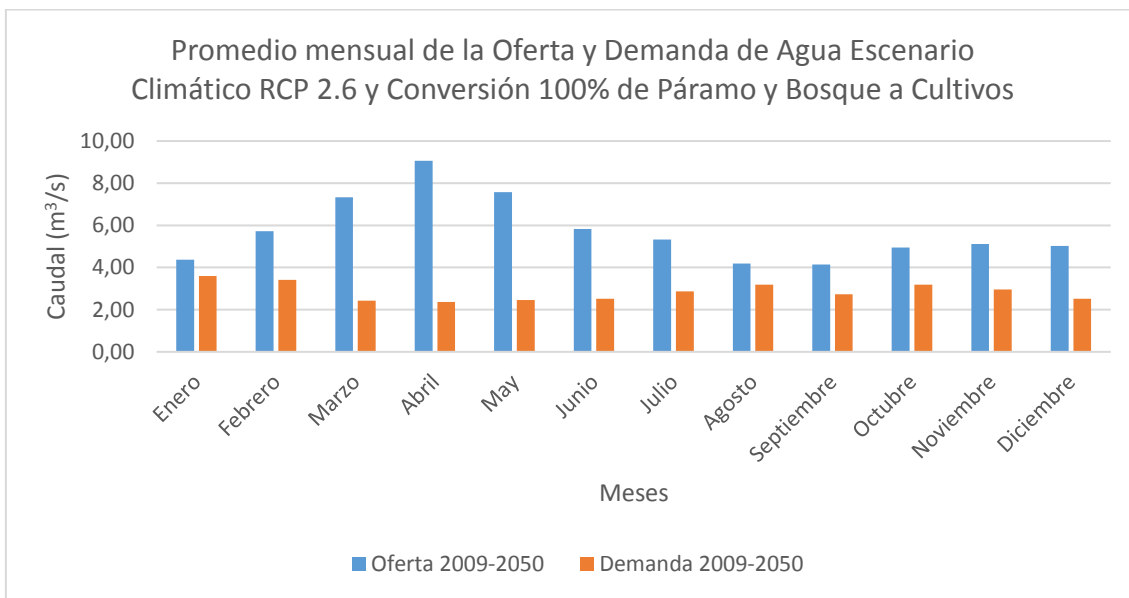
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.46 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 75% de Páramo y Bosque a Cultivos.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

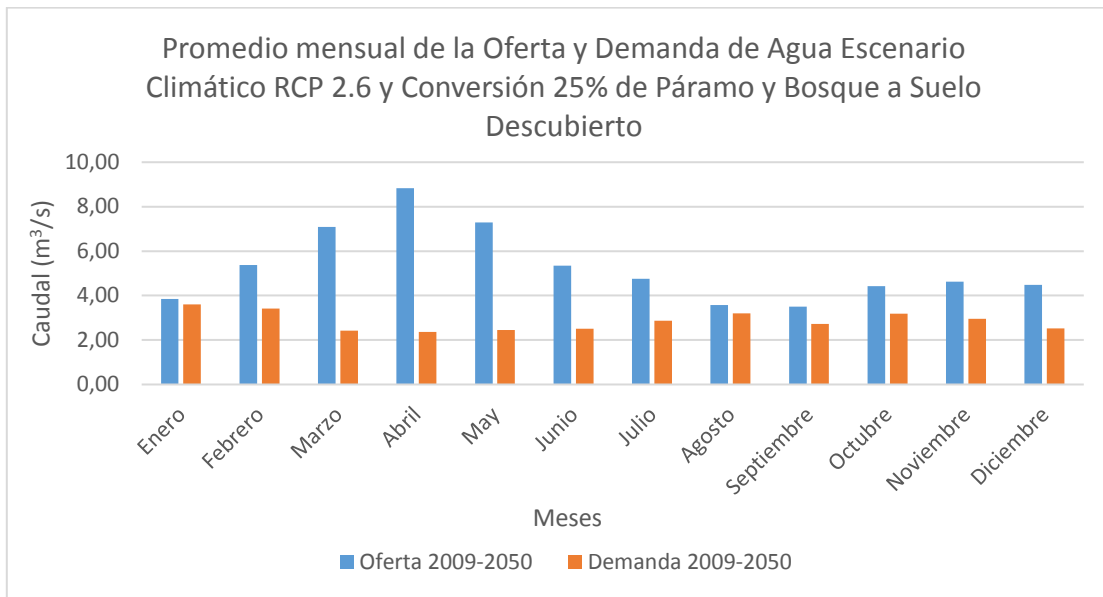
Figura 5.47 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 100% de Páramo y Bosque a Cultivos.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

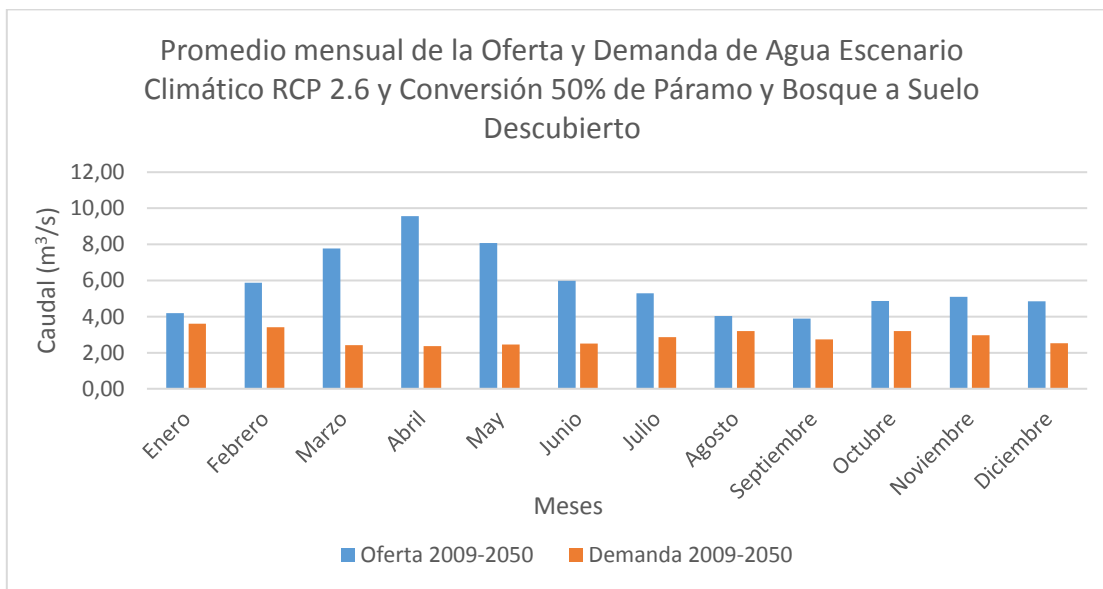
En las figuras 5.48, 5.49, 5.50 y 5.51 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario climático RCP 2.6 y conversión 25%, 50%, 75% y 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta. En las cuales se pueden observar que la oferta satisface a la demanda al 100%.

Figura 5.48 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 25% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.



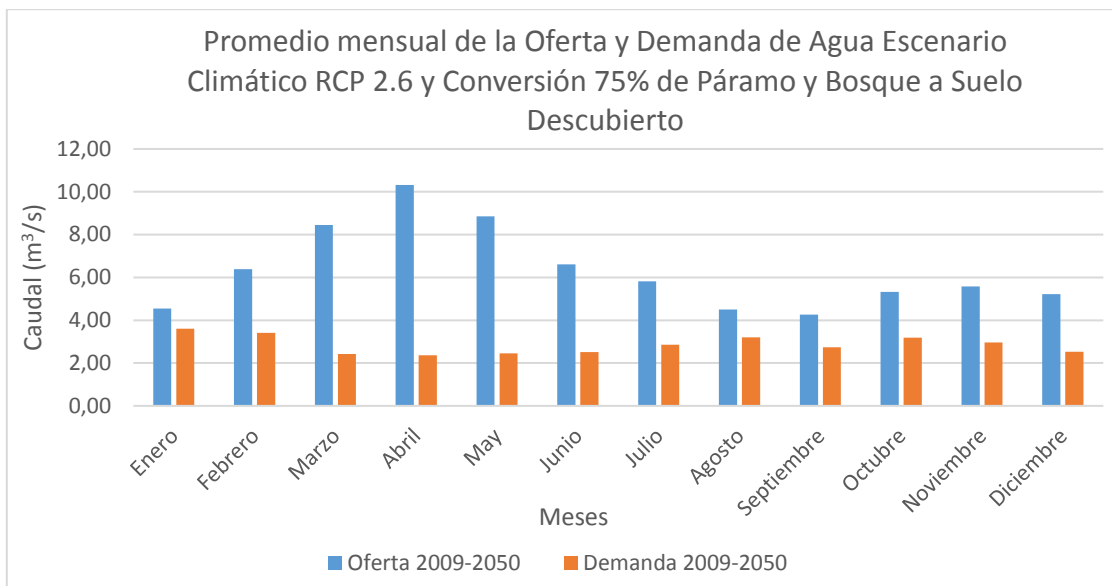
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.49 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 50% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.



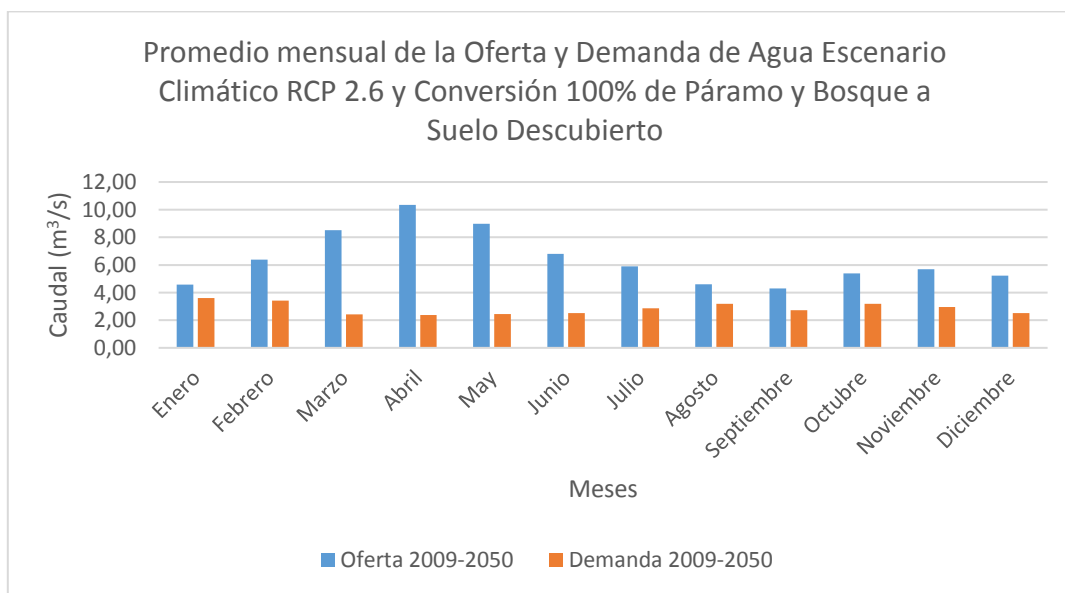
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.50 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 75% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

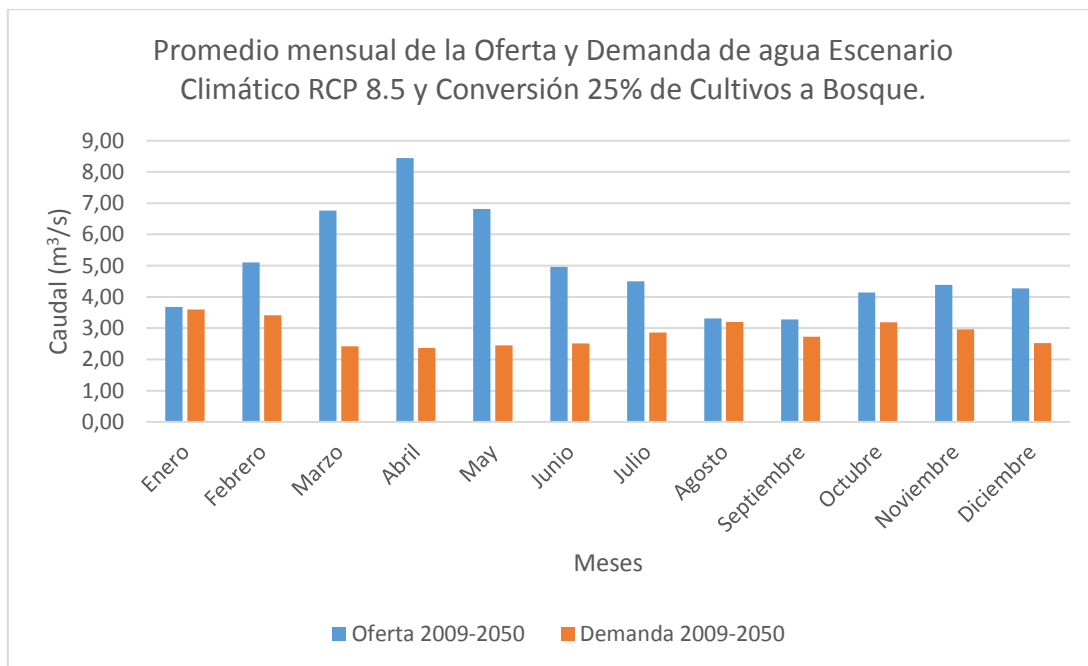
Figura 5.51 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

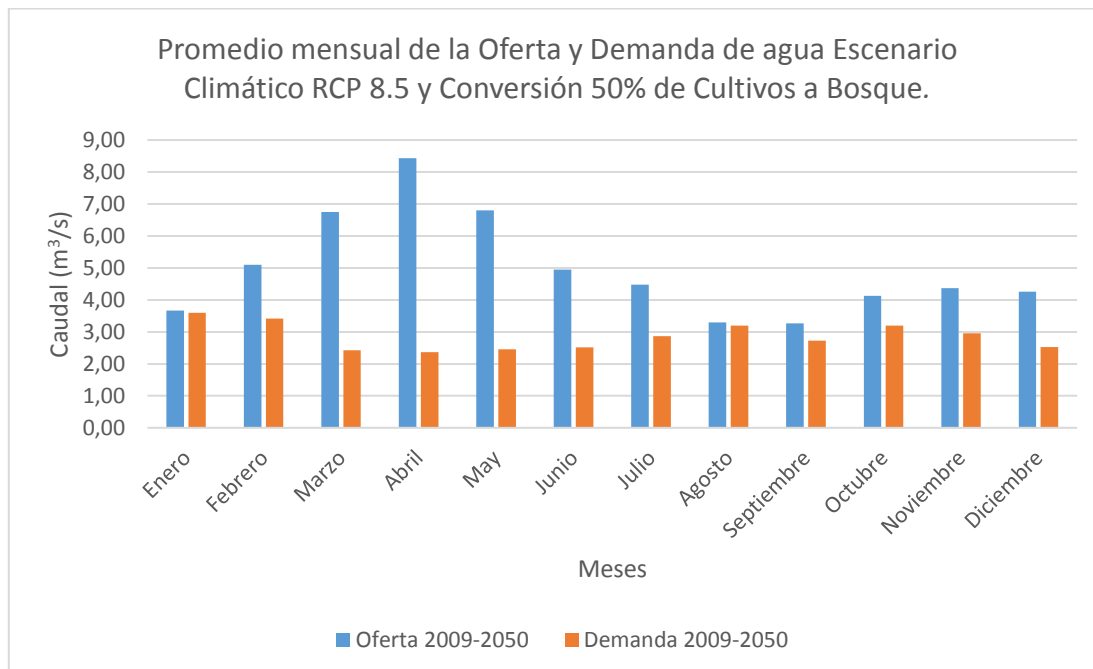
En las figuras 5.52, 5.53, 5.54 y 5.55 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario climático RCP 8.5 y conversión 25%, 50%, 75% y 100% de Cultivos a Bosque. En las cuales se pueden observar que la oferta satisface a la demanda al 100%.

Figura 5.52 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 25% de Cultivos a Bosque.



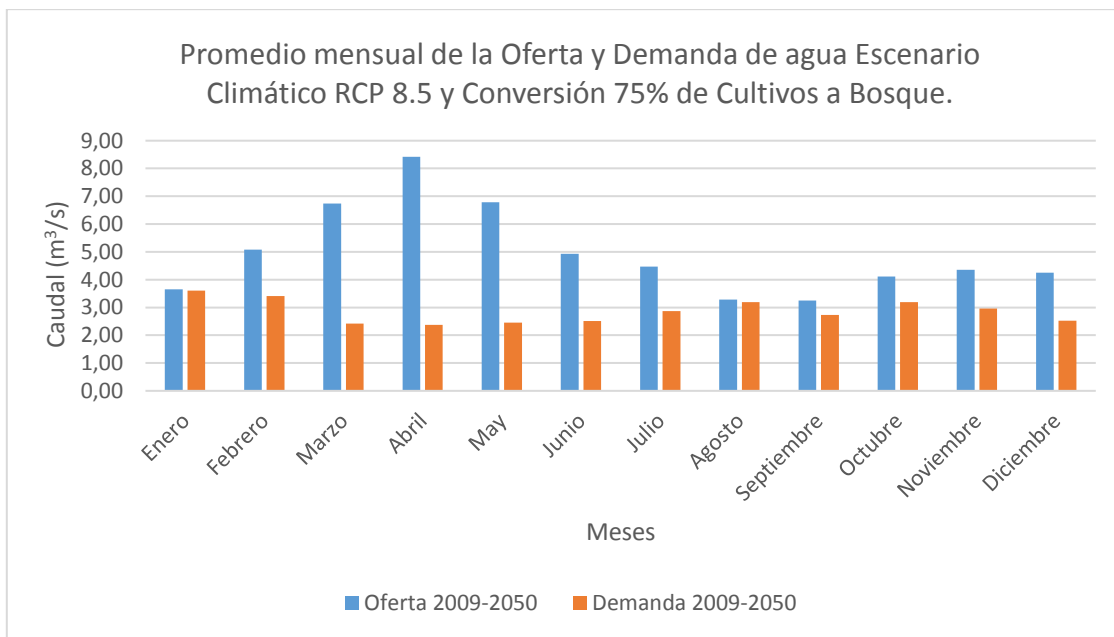
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.53 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 50% de Cultivos a Bosque.



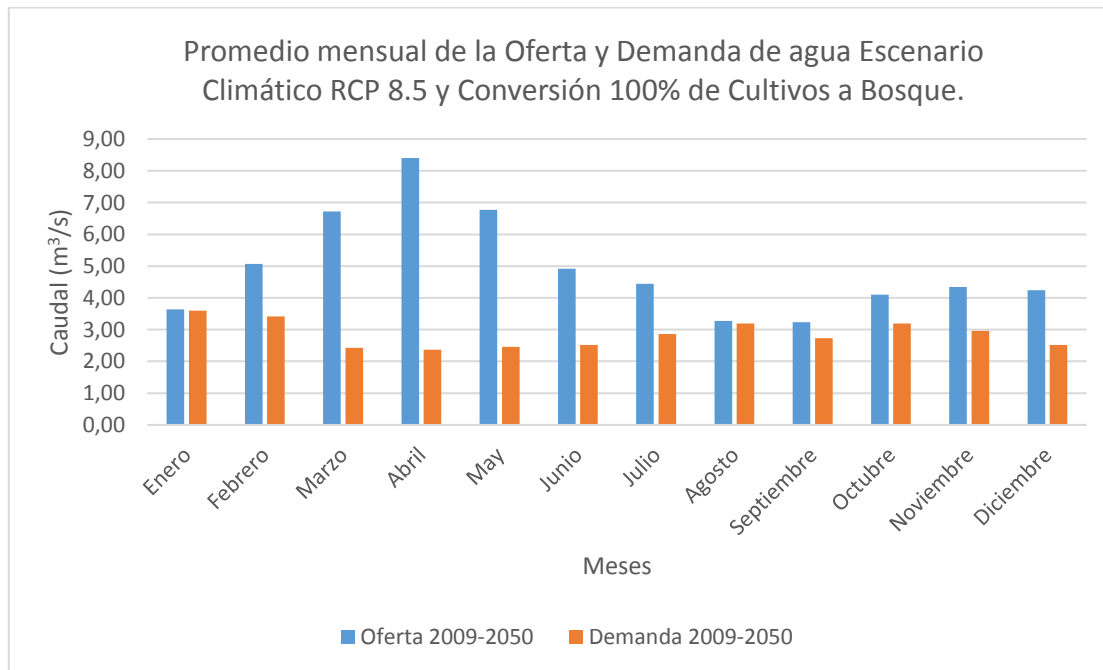
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.54 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 75% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

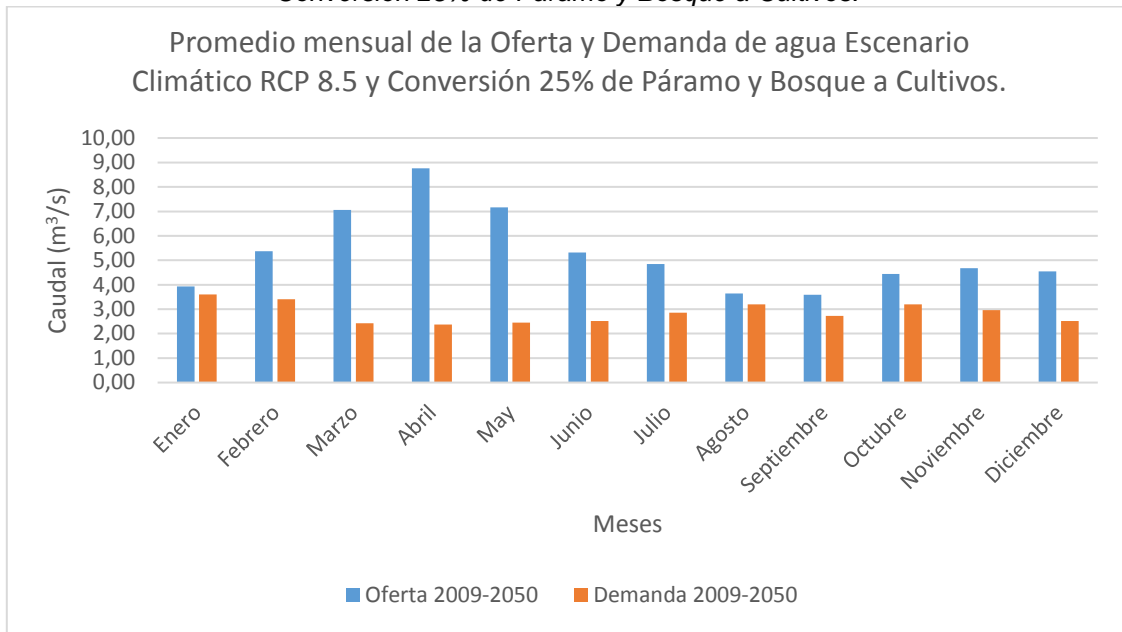
Figura 5.55 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 100% de Cultivos a Bosque.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

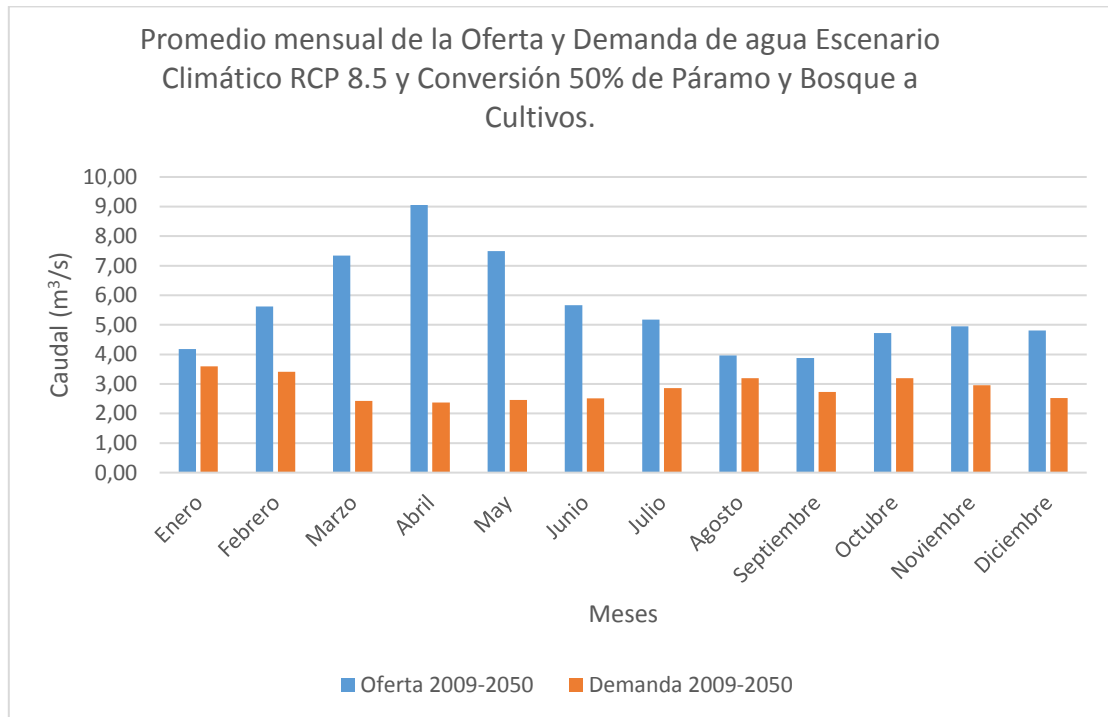
En las figuras 5.56 5.57, 5.58 y 5.59 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario climático RCP 8.5 y conversión 25%, 50%, 75% y 100% de Páramo y Bosque a Cultivos. En las cuales se pueden observar que la demanda se cubre al 100%.

Figura 5.56 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 25% de Páramo y Bosque a Cultivos.



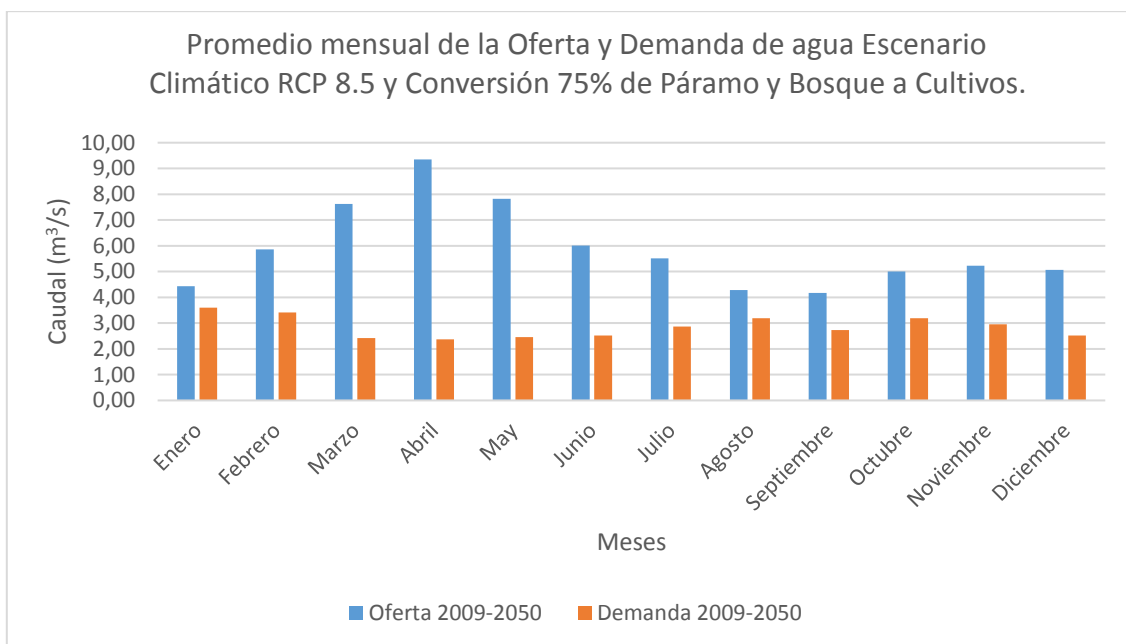
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.57 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 50% de Páramo y Bosque a Cultivos.



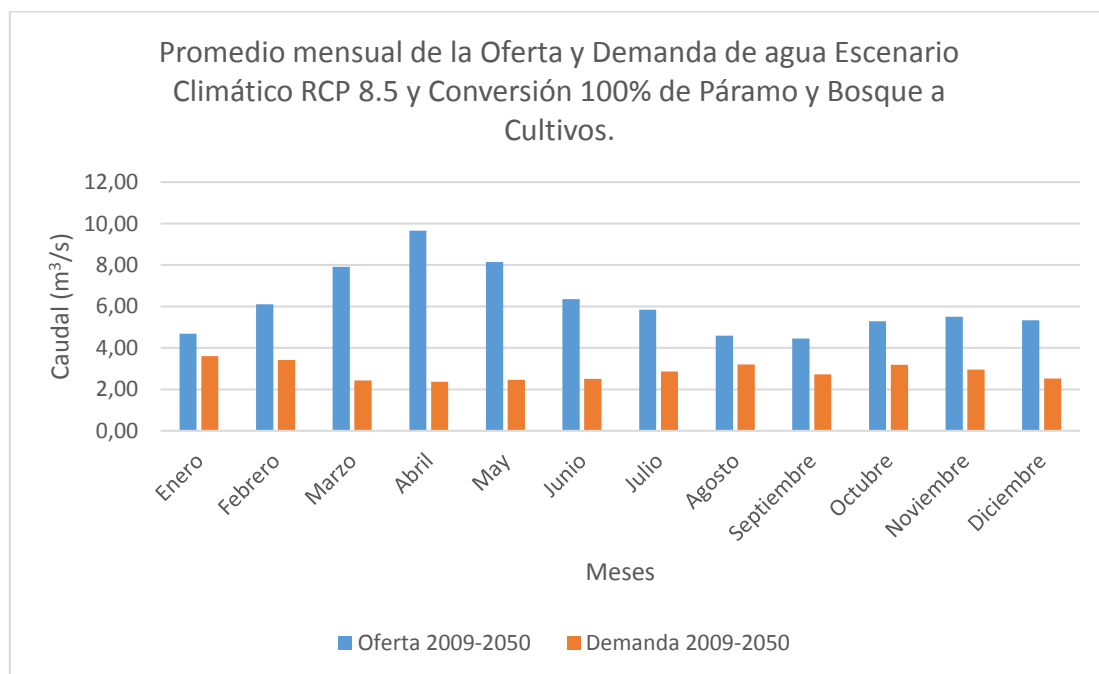
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.58 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 75% de Páramo y Bosque a Cultivos.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.59 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 100% de Páramo y Bosque a Cultivos.

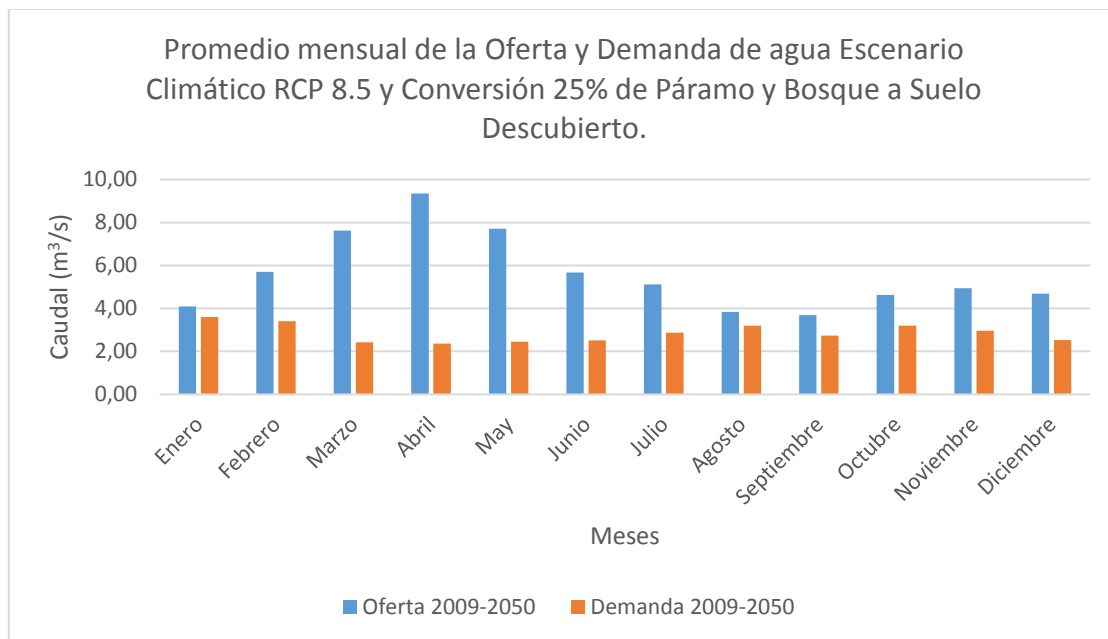


Elaborado por: Palacios K. 2017.

En las figuras 5.60, 5.61, 5.62 y 5.63 se muestra el promedio mensual de la oferta y demanda de agua para el escenario climático RCP 8.5 y conversión 25%, 50%,

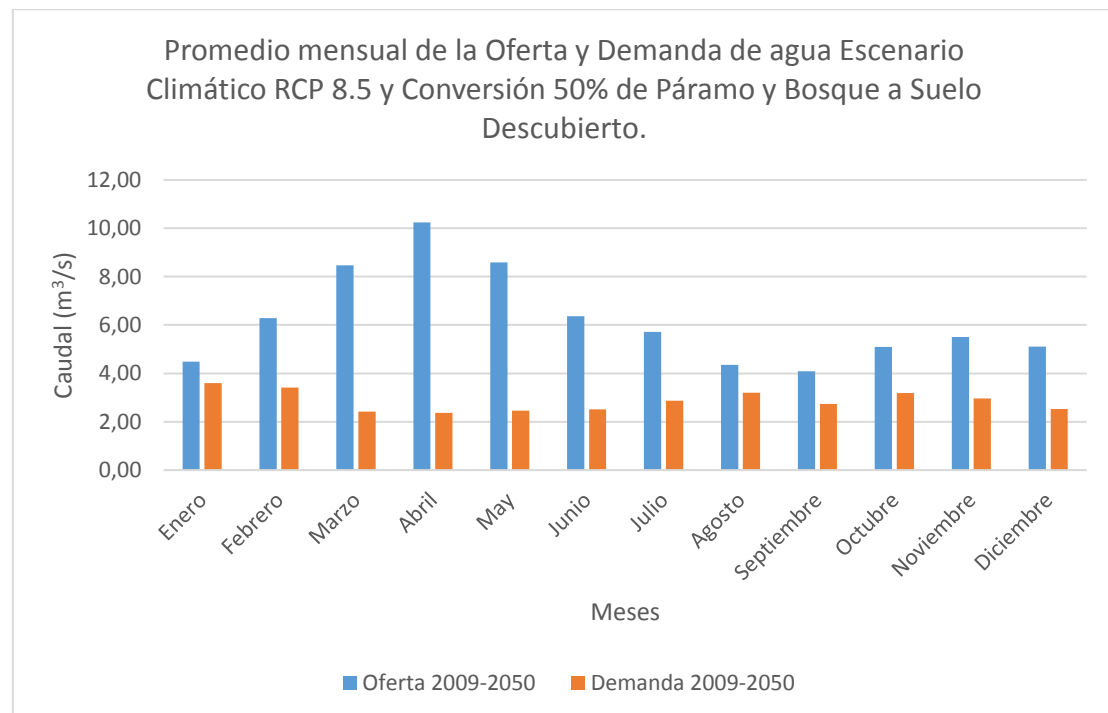
75% y 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto. En las cuales se pueden observar que la oferta satisface a la demanda al 100%.

Figura 5.60 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 25% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.



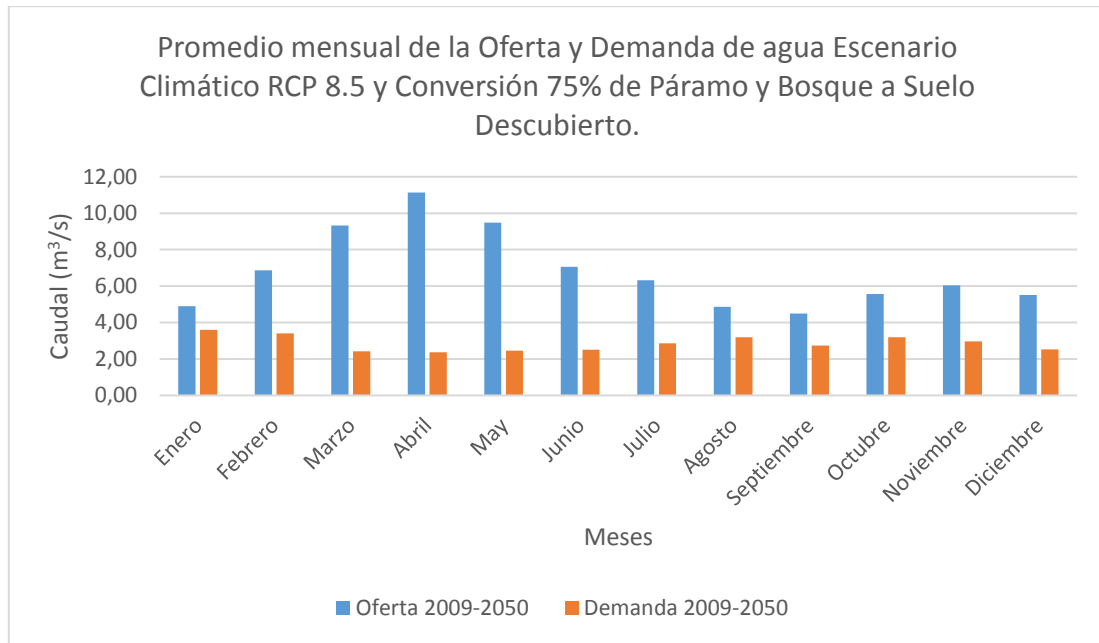
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.61 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 50% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.



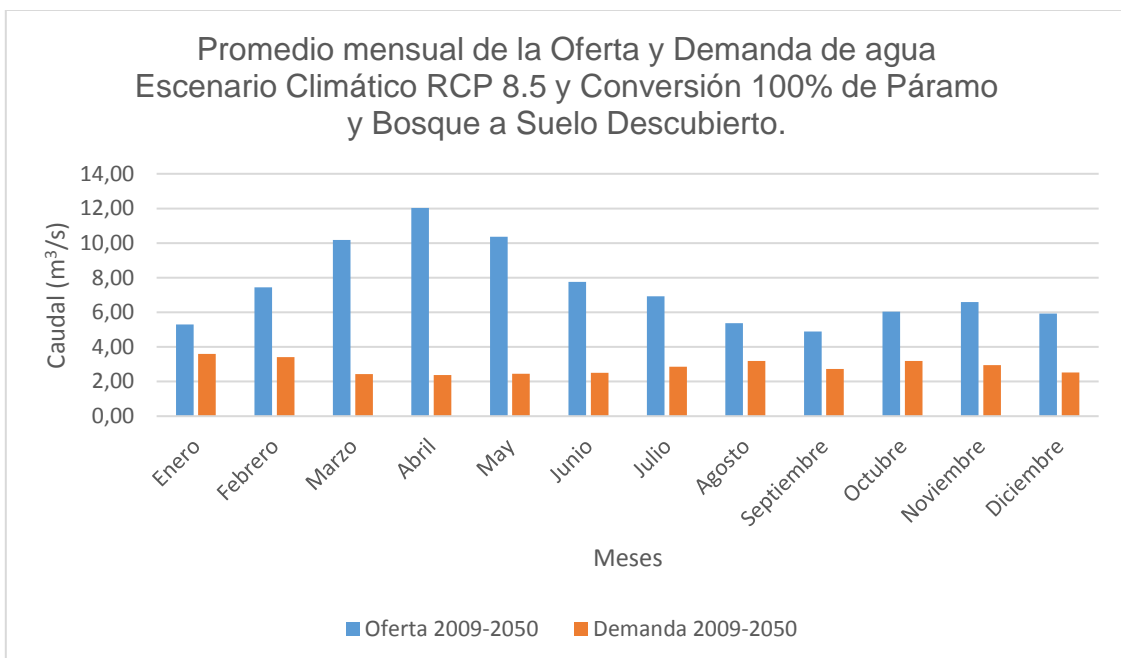
Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.62 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 75% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.



Elaborado por: Palacios K. 2017.

Figura 5.63 Promedio mensual de la Oferta y Demanda de agua Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.



Elaborado por: Palacios K. 2017.



En la tabla 5.20 se presenta el balance hídrico mensual para el escenario climático RCP 2.6 y conversión de Cultivos a Bosque, cuyo resultado indica que en los meses de enero y agosto se proyectan déficit de agua y los demás meses podrían cubrir las necesidades hídricas de la cuenca del río Machángara. Los meses con mayor superávit son: abril con 71%, marzo y mayo con alrededor del 62%. Por otro lado, al considerar toda la serie de tiempo futura, se proyectan varios meses con déficits (Ver detalle en el ANEXO 3).

En la tabla 5.21 se muestra el balance hídrico mensual para el escenario climático RCP 2.6 y conversión del 25%, 50%, 75% y 100% de Páramo y Bosque a Cultivo. En este escenario para todos los meses existe superávit de agua, sin embargo los meses de enero y agosto presentan bajos superávits, lo cual podría ser una preocupación en el futuro si demandas no consideradas aumentan el consumo de agua causando potenciales déficits. Se tiene mayor disponibilidad del recurso en el mes de abril con el 72% de agua. Al realizar el análisis de toda la serie de tiempo futura, existen meses que presentan déficits (Ver ANEXO 3 para mayor detalle).



Tabla 5.20 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión de Cultivos a Bosques.

Caudal de Agua Mensual (m³/s)															
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 25% de Cultivos a Bosque															
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL	
<i>Oferta Hídrica</i>	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.490	4.865	6.403	8.074	6.492	4.696	4.225	3.097	3.106	3.957	4.137	4.097	56.637	
<i>Demanda Hídrica</i>	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24	
Balance Hídrico	<i>Superávit (+)</i>	-	1.45	3.98	5.70	4.04	2.18	1.36	-	0.38	0.77	1.18	1.58	22.40	
		-	30%	62%	71%	62%	46%	32%	-	12%	19%	28%	38%	40%	
	<i>Déficit (-)</i>	-0.11	-	-	-	-	-	-	-	-0.10	-	-	-	-	-
		3%	-	-	-	-	-	-	-	3%	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 50% de Cultivos a Bosque															
<i>Oferta Hídrica</i>	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.479	4.855	6.392	8.062	6.479	4.682	4.211	3.083	3.093	3.945	4.125	4.086	56.493	
<i>Demanda Hídrica</i>	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24	
Balance Hídrico	<i>Superávit (+)</i>	-	1.44	3.97	5.69	4.02	2.17	1.35	-	0.36	0.75	1.17	1.56	22.26	
		-	30%	62%	71%	62%	46%	32%	-	12%	19%	28%	38%	39%	
	<i>Déficit (-)</i>	-0.12	-	-	-	-	-	-	-	-0.11	-	-	-	-	-
		3%	-	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 75% de Cultivos a Bosque															
<i>Oferta Hídrica</i>	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.469	4.845	6.381	8.050	6.466	4.669	4.197	3.070	3.080	3.933	4.114	4.074	56.349	
<i>Demanda Hídrica</i>	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24	
Balance Hídrico	<i>Superávit (+)</i>	-	1.43	3.96	5.68	4.01	2.15	1.33	-	0.35	0.74	1.16	1.55	22.11	
		-	30%	62%	71%	62%	46%	32%	-	11%	19%	28%	38%	39%	
	<i>Déficit (-)</i>	-0.13	-	-	-	-	-	-	-	-0.12	-	-	-	-	-
		4%	-	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 100% de Cultivos a Bosque															
<i>Oferta Hídrica</i>	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.458	4.835	6.371	8.039	6.453	4.655	4.184	3.057	3.068	3.922	4.102	4.063	56.207	
<i>Demanda Hídrica</i>	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24	
Balance Hídrico	<i>Superávit (+)</i>	-	1.42	3.95	5.67	4.00	2.14	1.32	-	0.34	0.73	1.14	1.54	21.97	
		-	29%	62%	71%	62%	46%	32%	-	11%	19%	28%	38%	39%	
	<i>Déficit (-)</i>	-0.14	-	-	-	-	-	-	-	-0.14	-	-	-	-	-
		4%	-	-	-	-	-	-	-	4%	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Tabla 5.21 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos.

Caudal de Agua Mensual (m³/s)														
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 25% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	3.717	5.088	6.642	8.328	6.772	4.989	4.511	3.378	3.373	4.215	4.391	4.336	59.740
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.12	1.67	4.22	5.96	4.32	2.48	1.65	0.18	0.64	1.02	1.43	1.81	25.50
		3%	33%	64%	72%	64%	50%	37%	5%	19%	24%	33%	42%	43%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 50% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	3.934	5.301	6.870	8.571	7.040	5.270	4.783	3.647	3.627	4.460	4.634	4.564	62.702
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.33	1.89	4.45	6.20	4.59	2.76	1.92	0.45	0.90	1.27	1.68	2.04	28.47
		8%	36%	65%	72%	65%	52%	40%	12%	25%	28%	36%	45%	45%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 75% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	4.151	5.513	7.099	8.814	7.308	5.549	5.055	3.916	3.882	4.706	4.877	4.793	65.661
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.55	2.10	4.68	6.44	4.85	3.04	2.19	0.72	1.15	1.51	1.92	2.27	31.43
		13%	38%	66%	73%	66%	55%	43%	18%	30%	32%	39%	47%	48%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 100% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	4.367	5.726	7.327	9.056	7.575	5.829	5.328	4.184	4.136	4.951	5.119	5.021	68.621
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.77	2.31	4.90	6.69	5.12	3.32	2.46	0.99	1.41	1.76	2.16	2.50	34.39
		18%	40%	67%	74%	68%	57%	46%	24%	34%	36%	42%	50%	50%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.



En la tabla 5.22, se tiene el balance hídrico mensual para los escenarios climáticos RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo descubierto, cuando la conversión es del 25% dio como resultado que en todos los meses la demanda se satisface al 100%, pero en los meses de enero y agosto presentan bajos superávits, alertando posibles déficits si aumentan demandas de agua no planificadas. Cuando la conversión es del 50%, 75% y 100% se presentan superávits de agua en todos los meses, teniendo mayor disponibilidad del recurso (66% al 77%) en los meses de marzo, abril y mayo. Por otra parte al efectuar el análisis en todo el periodo futuro, se tienen algunos meses con déficits (En el ANEXO 3 se presenta más detalle).

En la tabla 5.23 se presenta el balance hídrico mensual para el escenario climático RCP 8.5 y conversión de Cultivos a Bosque, cuyo resultado indica que en todos los meses se proyectan con una satisfacción del 100% de las demandas. No obstante hay que hacer notar que los meses de enero y agosto presentaron bajos valores de superávit. Los meses con mayor superávit son: abril con 72%, y marzo-mayo con alrededor del 64%. Por otro lado, al considerar toda la serie de tiempo pueden existir déficits en algunos meses (más detalle se presente en el ANEXO 3).

En la tabla 5.24 se realizó el balance hídrico mensual para el escenario climático RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Cultivo, cuando la conversión es del 25%, 50%, 75% y 100% dio como resultado una proyección de superávit en todos los meses. Sin embargo hay que tener presente que en la conversión del 25% los meses de enero y agosto presenta bajos valores de superávit. Se tiene mayor disponibilidad del recurso en el mes de abril entre el 73% y 75% de agua. Realizando el análisis en toda la serie de tiempo futura se tienen meses con déficits (Ver detalle en el ANEXO 3).

En la tabla 5.25 se presenta el balance hídrico mensual para los escenarios climáticos RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo descubierto. Cuando la conversión es del 25% dio como resultado que en todos los meses la demanda se satisface al 100%, sin embargo en el mes de enero se presenta bajos valores de superávit.

Cuando la conversión es del 50%, 75% y 100% se presentan en todos los meses superávit de agua, teniendo mayor disponibilidad del recurso (71% al 80%) en los meses de marzo, abril y mayo. Por otra parte al efectuar el análisis de todo el periodo de tiempo futuro, se presentan déficits en varios meses (En el ANEXO 3 se presenta más detalle).



Tabla 5.22 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 2.6 y Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto.

Caudal de Agua Promedio Mensual (m ³ /s)														
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 25% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	3.847	5.378	7.091	8.828	7.289	5.343	4.762	3.573	3.500	4.420	4.625	4.477	63.132
Demanda Hídrica	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.25	1.96	4.67	6.46	4.83	2.83	1.90	0.38	0.77	1.23	1.67	1.96	28.90
		6%	37%	66%	73%	66%	53%	40%	11%	22%	28%	36%	44%	46%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 50% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.194	5.880	7.769	9.571	8.074	5.976	5.286	4.035	3.881	4.870	5.103	4.846	69.486
Demanda Hídrica	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.59	2.47	5.35	7.20	5.62	3.46	2.42	0.84	1.15	1.68	2.14	2.32	35.25
		14%	42%	69%	75%	70%	58%	46%	21%	30%	34%	42%	48%	51%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 75% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.541	6.383	8.446	10.314	8.858	6.609	5.810	4.498	4.262	5.320	5.579	5.215	75.837
Demanda Hídrica	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.94	2.97	6.02	7.94	6.40	4.09	2.95	1.30	1.53	2.13	2.62	2.69	41.60
		21%	47%	71%	77%	72%	62%	51%	29%	36%	40%	47%	52%	55%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 2.6 y Conversión del 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto														
Oferta Hídrica	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.566	6.382	8.517	10.337	8.987	6.810	5.886	4.592	4.302	5.381	5.679	5.220	76.658
Demanda Hídrica	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.97	2.97	6.09	7.97	6.53	4.30	3.02	1.40	1.57	2.19	2.72	2.70	42.42
		21%	47%	72%	77%	73%	63%	51%	30%	37%	41%	48%	52%	55%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Tabla 5.23 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión de Cultivos a Bosques.

Caudal de Agua Promedio Mensual (m³/s)														
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 25% de Cultivos a Bosque														
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	3.67	5.11	6.76	8.44	6.81	4.96	4.50	3.32	3.28	4.14	4.38	4.27	59.65
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.07	1.69	4.34	6.07	4.36	2.45	1.63	0.12	0.55	0.95	1.43	1.75	25.42
		2%	33%	64%	72%	64%	49%	36%	4%	17%	23%	33%	41%	43%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 50% de Cultivos a Bosque														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	3.66	5.10	6.75	8.43	6.80	4.94	4.48	3.30	3.27	4.13	4.37	4.26	59.49
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.06	1.68	4.33	6.06	4.34	2.43	1.62	0.11	0.53	0.94	1.41	1.74	25.25
		2%	33%	64%	72%	64%	49%	36%	3%	16%	23%	32%	41%	42%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 75% de Cultivos a Bosque														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	3.65	5.08	6.74	8.41	6.78	4.93	4.46	3.28	3.25	4.12	4.36	4.25	59.32
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.05	1.67	4.31	6.05	4.33	2.41	1.60	0.09	0.52	0.92	1.40	1.73	25.09
		1%	33%	64%	72%	64%	49%	36%	3%	16%	22%	32%	41%	42%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 100% de Cultivos a Bosque														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	3.64	5.07	6.72	8.40	6.77	4.91	4.45	3.27	3.24	4.10	4.35	4.24	59.16
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.04	1.66	4.30	6.03	4.31	2.40	1.58	0.08	0.51	0.91	1.39	1.72	24.92
		1%	33%	64%	72%	64%	49%	36%	2%	16%	22%	32%	40%	42%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Tabla 5.24 Cálculo del balance hídrico. Escenario Climático RCP 8.5 y Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos.

Caudal de Agua Promedio Mensual (m³/s)														
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 25% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	3.93	5.37	7.06	8.76	7.16	5.32	4.84	3.65	3.58	4.44	4.67	4.55	63.33
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.33	1.95	4.63	6.39	4.71	2.80	1.98	0.45	0.85	1.25	1.72	2.03	29.09
		8%	36%	66%	73%	66%	53%	41%	12%	24%	28%	37%	45%	46%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 50% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	4.18	5.61	7.34	9.06	7.49	5.66	5.18	3.96	3.88	4.72	4.95	4.81	66.84
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.58	2.20	4.92	6.69	5.04	3.15	2.31	0.77	1.15	1.53	1.99	2.29	32.61
		14%	39%	67%	74%	67%	56%	45%	19%	30%	32%	40%	48%	49%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 75% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	4.43	5.86	7.62	9.35	7.82	6.00	5.51	4.28	4.17	5.00	5.23	5.07	70.35
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	0.83	2.45	5.20	6.99	5.37	3.49	2.64	1.09	1.44	1.81	2.27	2.55	36.12
		19%	42%	68%	75%	69%	58%	48%	25%	34%	36%	43%	50%	51%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 100% de Páramo y Bosque a Cultivos														
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	4.68	6.11	7.91	9.65	8.15	6.35	5.84	4.60	4.46	5.28	5.51	5.33	73.86
Demanda Hídrica	Suma de demandas	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	Superávit (+)	1.08	2.70	5.48	7.28	5.70	3.83	2.98	1.40	1.73	2.09	2.55	2.81	39.63
		23%	44%	69%	75%	70%	60%	51%	31%	39%	40%	46%	53%	54%
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Tabla 5.25 Cálculo del balance hídrico. Escenarios Climáticos RCP 8.5 y Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta.

Caudal de Agua Promedio Mensual (m³/s)														
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 25% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta														
<i>Oferta Hídrica</i>	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.09	5.70	7.62	9.35	7.71	5.67	5.11	3.84	3.69	4.63	4.95	4.70	67.06
<i>Demanda Hídrica</i>	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	<i>Superávit (+)</i>	0.49	2.29	5.20	6.98	5.26	3.16	2.25	0.65	0.96	1.43	1.99	2.17	32.82
		12%	40%	68%	75%	68%	56%	44%	17%	26%	31%	40%	46%	49%
Balance Hídrico	<i>Déficit (-)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 50% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta														
<i>Oferta Hídrica</i>	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.49	6.28	8.47	10.25	8.59	6.36	5.72	4.35	4.09	5.09	5.50	5.10	74.30
<i>Demanda Hídrica</i>	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	<i>Superávit (+)</i>	0.89	2.87	6.05	7.88	6.14	3.85	2.85	1.15	1.36	1.90	2.54	2.58	40.07
		20%	46%	71%	77%	71%	60%	50%	27%	33%	37%	46%	51%	54%
Balance Hídrico	<i>Déficit (-)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 75% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta														
<i>Oferta Hídrica</i>	<i>Disponibilidad de Agua</i>	4.89	6.86	9.32	11.14	9.48	7.06	6.32	4.86	4.49	5.56	6.05	5.51	81.54
<i>Demanda Hídrica</i>	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	<i>Superávit (+)</i>	1.29	3.45	6.90	8.77	7.02	4.54	3.45	1.66	1.76	2.37	3.09	2.99	47.31
		26%	50%	74%	79%	74%	64%	55%	34%	39%	43%	51%	54%	58%
Balance Hídrico	<i>Déficit (-)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escenario climático RCP 8.5 y Conversión del 100% de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta														
<i>Oferta Hídrica</i>	<i>Disponibilidad de Agua</i>	5.29	7.45	10.17	12.04	10.36	7.75	6.92	5.37	4.89	6.03	6.60	5.92	88.78
<i>Demanda Hídrica</i>	<i>Suma de demandas</i>	3.60	3.41	2.42	2.37	2.45	2.51	2.86	3.19	2.73	3.19	2.96	2.52	34.24
Balance Hídrico	<i>Superávit (+)</i>	1.69	4.03	7.75	9.67	7.90	5.23	4.06	2.17	2.16	2.84	3.64	3.40	54.55
		32%	54%	76%	80%	76%	68%	59%	40%	44%	47%	55%	57%	61%
Balance Hídrico	<i>Déficit (-)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Palacios K. 2017.



5.4.4 Comparación de escenario base con los escenarios futuros

Al realizar la comparación del escenario base comprendido entre los años de 1978-2008, y los escenarios futuros comprendidos de los años de 2009-2050, se exponen los siguientes resultados:

El escenario base presenta menor demanda que en los escenarios futuros, esto es debido a que en el futuro se consideran el crecimiento poblacional y el crecimiento de las áreas agrícolas.

Por otro lado, en la tabla 5.26 se observa el promedio mensual de la oferta hídrica que presenta el escenario base y los escenarios de cambio de uso del suelo. Al comparar el escenario base con los escenarios de conversión de Cultivos a Bosque se tiene como resultado, que los escenarios de conversión de Cultivos a Bosque presentan una menor oferta del recurso en los meses de febrero, marzo, abril, junio, septiembre, noviembre y diciembre, con respecto al escenario base. Cuando la conversión es de Páramo y Bosque a Cultivos (25%) en los meses de febrero y junio presentan menor oferta hídrica con respecto al escenario base. Al analizar la conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto se tiene en todos los meses mayor oferta hídrica con respecto al escenario base.

En la tabla 5.27 se tiene el promedio mensual de la oferta hídrica que presenta los escenarios climáticos con respecto al escenario base, en donde se observa que para el escenario RCP 2.6 en febrero, marzo, abril, junio, septiembre, noviembre y diciembre se presenta menor oferta hídrica al compararlos con el escenario base. Para el escenario RCP 8.5 en febrero, junio, noviembre y diciembre tienen menor oferta hídrica con respecto al escenario base.

En la tabla 5.28 se tiene la comparación de la oferta hídrica entre el escenario base y los escenarios futuros RCP 2.6 combinado con los escenarios de cambio de uso del suelo. Para el escenario RCP 2.6 y conversión de Cultivos a Bosque se tiene una menor oferta hídrica en los meses de febrero, marzo, abril, junio, septiembre, noviembre y diciembre, con respecto al escenario base. En el escenario RCP 2.6 y conversión de 25% de Páramo y Bosque a Cultivos, se tiene en los meses de febrero y junio menor oferta hídrica con respecto al escenario base. Al analizar los escenarios RCP 2.6 y conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto se tiene en todos los meses mayor oferta hídrica con respecto al escenario base.



Tabla 5.26 Promedio mensual de la Oferta hídrica del escenario base y escenarios de cambio de uso del suelo.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Base	-	3.42	5.28	6.49	8.16	6.40	5.43	4.13	3.01	3.26	3.64	4.50	4.33
Conversión de Cultivos a Bosque	25%	3.54	4.85	6.43	8.15	6.53	4.80	4.29	3.11	3.16	4.05	4.23	4.19
	50%	3.53	4.84	6.42	8.14	6.52	4.79	4.27	3.09	3.15	4.04	4.22	4.18
	75%	3.52	4.83	6.41	8.13	6.50	4.77	4.26	3.08	3.13	4.03	4.21	4.17
	100%	3.51	4.82	6.40	8.12	6.49	4.76	4.24	3.07	3.12	4.02	4.19	4.16
Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos	25%	3.78	5.09	6.68	8.41	6.83	5.12	4.59	3.40	3.44	4.33	4.51	4.45
	50%	4.02	5.32	6.91	8.66	7.11	5.42	4.88	3.68	3.70	4.59	4.77	4.69
	75%	4.25	5.54	7.14	8.91	7.39	5.72	5.16	3.96	3.96	4.84	5.03	4.93
	100%	4.49	5.77	7.38	9.15	7.67	6.03	5.45	4.24	4.23	5.10	5.29	5.18
Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierta	25%	3.91	5.32	7.10	8.93	7.30	5.49	4.83	3.53	3.57	4.57	4.78	4.64
	50%	4.28	5.77	7.75	9.70	8.05	6.15	5.36	3.93	3.96	5.08	5.31	5.07
	75%	4.64	6.22	8.41	10.46	8.79	6.82	5.89	4.34	4.36	5.59	5.85	5.50
	100%	5.00	6.67	9.06	11.23	9.54	7.49	6.42	4.74	4.75	6.10	6.38	5.93

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Tabla 5.27 Promedio mensual de la Oferta hídrica del escenario base y escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5.

Escenario	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Base	3.42	5.28	6.49	8.16	6.40	5.43	4.13	3.01	3.26	3.64	4.50	4.33
RCP 2.6	3.50	4.88	6.41	8.09	6.50	4.71	4.24	3.11	3.12	3.97	4.15	4.11
RCP 8.5	3.69	5.12	6.77	8.46	6.83	4.98	4.51	3.33	3.29	4.16	4.40	4.29

Elaborado por: Palacios K. 2017.

Tabla 5.28 Promedio mensual de la Oferta hídrica del escenario base y escenario climático RCP 2.6 y cambio de uso del suelo.

Escenario	Reemplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Base	-	3.42	5.28	6.49	8.16	6.40	5.43	4.13	3.01	3.26	3.64	4.50	4.33
Conversión de Cultivos a Bosque	25%	3.54	4.85	6.43	8.15	6.53	4.80	4.29	3.11	3.16	4.05	4.23	4.19
	50%	3.53	4.84	6.42	8.14	6.52	4.79	4.27	3.09	3.15	4.04	4.22	4.18
	75%	3.52	4.83	6.41	8.13	6.50	4.77	4.26	3.08	3.13	4.03	4.21	4.17
	100%	3.51	4.82	6.40	8.12	6.49	4.76	4.24	3.07	3.12	4.02	4.19	4.16
Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos	25%	3.78	5.09	6.68	8.41	6.83	5.12	4.59	3.40	3.44	4.33	4.51	4.45
	50%	4.02	5.32	6.91	8.66	7.11	5.42	4.88	3.68	3.70	4.59	4.77	4.69
	75%	4.25	5.54	7.14	8.91	7.39	5.72	5.16	3.96	3.96	4.84	5.03	4.93
	100%	4.49	5.77	7.38	9.15	7.67	6.03	5.45	4.24	4.23	5.10	5.29	5.18
Conversión de Páramo y Bosque a Suelo Descubierto	25%	3.91	5.32	7.10	8.93	7.30	5.49	4.83	3.53	3.57	4.57	4.78	4.64
	50%	4.28	5.77	7.75	9.70	8.05	6.15	5.36	3.93	3.96	5.08	5.31	5.07
	75%	4.64	6.22	8.41	10.46	8.79	6.82	5.89	4.34	4.36	5.59	5.85	5.50
	100%	5.00	6.67	9.06	11.23	9.54	7.49	6.42	4.74	4.75	6.10	6.38	5.93

Elaborado por: Palacios K. 2017.



En la tabla 5.29 se tiene el promedio mensual de la oferta hídrica del escenario base y los escenarios futuros RCP 8.5 combinados con los escenarios de cambio de uso del suelo. Para el escenario RCP 8.5 y conversión de 25% y 100% de Cultivos a Bosque se tiene una menor oferta hídrica en los meses de febrero, junio, septiembre, noviembre y diciembre, con respecto al escenario base. Para el escenario RCP 8.5 y conversión de 50% y 75% de Cultivos a Bosque se tiene una menor oferta hídrica en los meses de febrero, junio, noviembre y diciembre, con respecto al escenario base. En el escenario RCP 8.5 y conversión de 25% de Páramo y Bosque a Cultivos, se tiene en el mes de junio una menor oferta que el escenario base. Al analizar la conversión de los escenarios RCP 8.5 y Páramos y Bosque a Suelo Descubierta se tiene en todos los meses una mayor oferta hídrica con respecto al escenario base.



Tabla 5.29 Promedio mensual de la Oferta hídrica del escenario base y escenario climático RCP 8.5 y cambio de uso del suelo.

Escenario	Remplazo de:	Caudal de Agua Mensual Promedio m ³ /s											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Base	-	3.42	5.28	6.49	8.16	6.40	5.43	4.13	3.01	3.26	3.64	4.50	4.33
RCP 8.5 y Conversión de Cultivos a Bosque	25%	3.67	5.11	6.76	8.44	6.81	4.96	4.50	3.32	3.28	4.14	4.38	4.27
	50%	3.66	5.10	6.75	8.43	6.80	4.94	4.48	3.30	3.27	4.13	4.37	4.26
	75%	3.65	5.08	6.74	8.41	6.78	4.93	4.46	3.28	3.25	4.12	4.36	4.25
	100%	3.64	5.07	6.72	8.40	6.77	4.91	4.45	3.27	3.24	4.10	4.35	4.24
RCP 8.5 y Conversión de Páramo y Bosque a Cultivos	25%	3.93	5.37	7.06	8.76	7.16	5.32	4.84	3.65	3.58	4.44	4.67	4.55
	50%	4.18	5.61	7.34	9.06	7.49	5.66	5.18	3.96	3.88	4.72	4.95	4.81
	75%	4.43	5.86	7.62	9.35	7.82	6.00	5.51	4.28	4.17	5.00	5.23	5.07
	100%	4.68	6.11	7.91	9.65	8.15	6.35	5.84	4.60	4.46	5.28	5.51	5.33
RCP 8.5 y conversión de Páramo y Bosque a suelo descubierto	25%	4.09	5.70	7.62	9.35	7.71	5.67	5.11	3.84	3.69	4.63	4.95	4.70
	50%	4.49	6.28	8.47	10.25	8.59	6.36	5.72	4.35	4.09	5.09	5.50	5.10
	75%	4.89	6.86	9.32	11.14	9.48	7.06	6.32	4.86	4.49	5.56	6.05	5.51
	100%	5.29	7.45	10.17	12.04	10.36	7.75	6.92	5.37	4.89	6.03	6.60	5.92

Elaborado por: Palacios K. 2017.



CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Este estudio tuvo como objetivo analizar los factores que influyen en la oferta y demanda de agua en escenarios futuros de la cuenca del Río Machángara, en donde se puede manifestar las siguientes conclusiones:

Todas las proyecciones de oferta y demanda de agua en la cuenca del río Machángara son escenarios posibles que pueden suceder en la cuenca y los resultados de cada escenario traen consigo un mensaje para los habitantes y las instituciones encargadas de la gestión y planificación del agua en la cuenca.

Las herramientas y modelos propuestos podrían ser de utilidad para los tomadores de decisiones con respecto a la formulación de medidas para una seguridad hídrica en la actualidad y futuro. La calidad y precisión de los resultados obtenidos ha dependido de los datos utilizados en los diferentes procesos metodológicos. Algunos datos se derivaron de estudios en cuencas similares, otra información se derivó de estimaciones de estudios de la misma cuenca y varios datos fueron recopilados directamente de la cuenca del río Machángara, por lo tanto, un reto importante que se plantea para los siguientes estudios es ir recopilando información faltante para mejorar el modelo propuesto e ir afinando los resultados para la toma de decisiones.

Se plantearon varios factores de cambio que pueden afectar a la oferta y demanda de agua en el futuro. Estos son el cambio en la cobertura y uso del suelo, cambio en el clima y cambios demográficos y consumo de agua. El cambio de uso del suelo y cambio climático relacionado con la oferta de agua, mientras que el cambio poblacional relacionado con la demanda de agua. Estos cambios se analizaron particularmente y también se combinaron para generar escenarios futuros más realistas. Estos escenarios fueron las entradas de modelos de simulación, para contestar la pregunta: ¿Qué pasa con la oferta y demanda de agua si sucede un determinado escenario?.

Los resultados mostraron que la mayoría de escenarios presentaron superávit de agua para el futuro, no obstante existen dos meses críticos (enero y agosto) que presentaron déficits de agua en las demandas en algunos años, los cuales deberían tomarse en cuenta para planificar alternativas de gestión del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río Machángara

El análisis en toda la serie de tiempo futura mostró que el balance de oferta y demanda se revierte en varios meses de algunos años, es decir, cuando la demanda no se satisface en su totalidad. Este hecho es de gran importancia para identificar épocas que puedan estar afectando a los usuarios del agua y poder implementar alternativas de gestión y planificación para un uso sostenible del agua, y de esta manera prevenir déficits de agua en el futuro.



6.2 Recomendaciones

La gestión integral del agua es un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento del agua, con el objetivo de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin implicar el desarrollo sustentable de los ecosistemas vitales (Nieto, 2011).

Las alternativas para la gestión y planificación del agua en la actualidad y en el futuro ayudarán a las autoridades competentes para la toma de decisiones. Algunas recomendaciones de éstas alternativas se describen a continuación:

Alternativas que apoyan a la oferta de agua:

Construcción de un embalse para almacenamiento de agua: El Plan Hidrológico Nacional, promueve una gestión del agua basada en el aumento de la oferta de agua disponible mediante la construcción de pequeñas obras de captación de agua para almacenar agua en temporada de lluvias y utilizarla en temporada de sequías, estas pequeñas obras puede ser embalses de pequeña, mediana y gran escala (Brufao, s.f.). Un embalse ayuda a asegurar un suministro constante de agua, pero puede poner en peligro los ecosistemas acuáticos al bloquear los canales fluviales, alterar los cursos de los ríos, lo que pone en peligro la vida vegetal y animal (Agudelo, 2005). Por lo tanto, se debería tomar en cuenta los caudales ambientales necesarios en los cauces si se planifican estas obras.

Protección de las cuencas colectoras de agua: El territorio del área de recarga hídrica de las subcuencas proveedoras de agua está cubierto por páramo y bosque nativo, los cuales son ecosistemas de alta importancia ecológica para la regulación del agua, por tal razón es necesario proteger las cuencas hidrográficas, mediante la reforestación y la conservación y cuidado de la cobertura vegetal proporcionando así mayor agua en la cuenca (ETAPA EP, 2017). La empresa pública ETAPA EP, en su programa de Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas para la Protección del Agua (MICPA), implementa estrategias para garantizar la cantidad y calidad del agua en las áreas de recarga hídrica en Cuenca (ETAPA EP, 2017), donde está incluida la cuenca del río Machángara. Estas acciones deberían reforzarse y mejorarse en los siguientes años, siempre tomando en cuenta un enlace social con los dueños de los terrenos de la parte alta de la cuenca.

Identificación de nuevas fuentes de agua: Una forma de aumentar la disponibilidad de agua, es buscar nuevas fuentes de recursos, para poder captarlos y suministrarlos a nuevos usuarios. Un ejemplo de esto es el proyecto de ampliación de la planta de Tixán que lo lleva adelante ETAPA EP, cuyo objetivo es aumentar la disponibilidad de agua para la ciudad de Cuenca, cuya población se proyecta a un millón de habitantes para el año 2050 (ETAPA EP, 2017).

Alternativas que apoyan a la demanda de agua:

Concientización a los consumidores sobre el uso del agua: Consiste en dar a conocer a la población usos sostenibles del agua, como la reutilización del agua



en las industrias, reutilización del agua en el uso doméstico, cerrar las llaves de agua si no se están usando, esto se puede lograr mediante la realización de campañas, capacitaciones y talleres.

Bancos de agua: Consiste en crear la posibilidad de hacer transferencias de agua según la situación económica, el agua será suministrada para actividades que puedan pagar el precio establecido, es decir, se paga una tarifa dependiendo el uso que se vaya a dar al agua (Brufao, s.f.).

Ahorro en el consumo del agua: El ahorro en el consumo de agua se puede lograr mediante el mejoramiento de las prácticas agrícolas, con sistemas de riego por goteo, los cuales permiten conducir el agua mediante una red de tuberías y aplicarla a los cultivos a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica (Liotta & Paz, 2015). En el riego por goteo, el agua se aplica directamente al suelo, gota a gota utilizando goteros y de esta manera se evita el consumo excesivo de agua para los cultivos y a la vez se consigue una distribución uniforme del agua (Mendoza, 2013). No obstante se tendrá que analizar los costos de implementación de estos sistemas y los beneficios que puedan brindar.

Para mejorar la modelación del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río Machángara es necesario recopilar nueva información y datos faltantes, que por el alcance de este estudio se recopilaron de estudios de cuencas similares y estimaciones de otros estudios en la cuenca del río Machángara.

Para los siguientes estudios es recomendable incluir la demanda de agua no consuntiva de las centrales hidroeléctricas de Saucay y Saymirin, que debido al alcance del presente estudio no se tomó en cuenta.

Para futuros trabajos también se recomienda utilizar nuevas técnicas para la proyección del uso del suelo que tomen en cuenta la percepción de los actores de la cuenca del río Machángara y probar las proyecciones climáticas con otros modelos climáticos globales y regionales.

En este estudio se consideró para la demanda de riego, la tasa anual de uso de agua (m^3/ha al año), constante porque es la cantidad de agua que necesito para regar una hectárea, lo que se recomienda para futuras investigaciones considerar la posibilidad de mejoras agrícolas como el riego por goteo, el cual no necesita gran cantidad de agua, y de esta manera la demanda de riego tendría su variación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala, A. (2011). Impactos del Cambio climático Sobre la Operación del Sistema Hídrico de la Laguna Laja. *Repositorio Académico - Universidad de Chile*. Recuperado a partir de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102552>

Alan Hamlet, Eric Salathé & Pablo Carrasco. (2010). *Climate Impacts Group*. Obtenido de http://warm.atmos.washington.edu/2860/products/sites/r7climate/study_report/CBCCSP_chap4_gcm_final.pdf

Andrade & Moreano. (07 de 2013). *Universidad Politécnica Nacional*. Obtenido de http://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/articloe/viewFile/52/pdf

Ayala, Á. I. (2011). *Repositorio Universidad de Chile*. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102552>

Brown et al. (2010). *Columbia University*. Obtenido de <http://iri.columbia.edu/publications/id=1048>

Brufao, P. (s.f.). *Fondo Mundial para la Naturaleza WWF*. Obtenido de http://www.riosconvida.es/pdfs/biblioteca/la_buena_gestion_del_agua.pdf

Cabrera, J. (2011). Obtenido de http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf

Cambio Climático: Bases Físicas. (2013). Obtenido de https://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf

Carchi, E. (2015). *Depositorio Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23005/1/TESIS.pdf>



Castro, L. M., & Carvajal Escobar, Y. (2010). ANÁLISIS DE TENDENCIA Y

HOMOGENEIDAD DE SERIES CLIMATOLÓGICAS. *Ingeniería de Recursos*

Naturales y del Ambiente, (9). Recuperado a partir de

<http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=231116434002>

CIIFEN. (2014). Geoportal CIIFEN. Obtenido de Geoportal CIIFEN:

http://geoportal.ciifen.org/media/filer_public/5c/a1/5ca1db32-8286-4865-a1b2-2f05b995d10e/escenarios_de_cambio_climatico_y_control_de_calidad_de_datos.pdf

Consejo de la Cuenca del Machángara. (2008). *elecaastro*. Obtenido de

<http://elecaastro.com.ec/jdownloads/Informes%20de%20Gestin/folletoconrioma.pdf>

Consejo de la Cuenca del Río Machangara, ACOTECNIC Cía. Ltda. (2014). *Plan de*

Manejo de la Subcuenca del Río Machángara. Cuenca.

Chavez-Jimenez, A., Lama, B., Garrote, L., Martin-Carrasco, F., Sordo-Ward, A., &

Mediero, L. (2013). Characterisation of the Sensitivity of Water Resources

Systems to Climate Change. *Water Resources Management*, 27(12), 4237-4258.

<https://doi.org/10.1007/s11269-013-0404-2>

ETAPA EP. (2017). ETAPA EP - Servicios de Telefonía, Televisión, Internet, Agua Potable,

Alcantarillado de Cuenca - Ecuador > Productos y servicios > Gestión ambiental

> Manejo de Cuencas Hidrográficas > MICPA. Recuperado 8 de octubre de

2017, a partir de [http://www.etapa.net.ec/Productos-y-](http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Gesti%C3%B3n-ambiental/Manejo-de-Cuencas-Hidrogr%C3%A1ficas/MICPA)

[servicios/Gesti%C3%B3n-ambiental/Manejo-de-Cuencas-](http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Gesti%C3%B3n-ambiental/Manejo-de-Cuencas-Hidrogr%C3%A1ficas/MICPA)

[Hidrogr%C3%A1ficas/MICPA](http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Gesti%C3%B3n-ambiental/Manejo-de-Cuencas-Hidrogr%C3%A1ficas/MICPA)

FAO 56. (2006). Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

Farfán, J. F. (2016). Impacto del cambio climático en los caudales de una cuenca de

páramo. Primera aproximación. Recuperado a partir de



<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/24355/1/Impacto%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20los%20caudales%20de%20una%20cuenca%20de%20p%C3%A1ramo.pdf>

García, C. (2011). Obtenido de

<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/nomadas/32/cristinagfernandez.pdf>

Galván, Olías, Fernández, & Santos. (2007). Aplicación del modelo hidrológica SWAT a

la cuenca del río Meca (Huelva, España). Recuperado a partir de

<http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo42/Art16.pdf>

Hofstede et al. (2014). *Instituto Virtual de la Biodiversidad (UICN)*. Obtenido de

<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>

IGM. (2013). *Instituto Geográfico Militar*. Obtenido de

<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

INAMHI. (2014).

INEC. (2010). Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>

Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2013). *Geoportal*. Obtenido de

<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). Obtenido de

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2013). *IPCC*. Obtenido de

http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml

Jódar, J., Cabrera, J. A., & Martos, S. (2015). Calibración y explotación del modelo

agregado en HBV de las cuencas hidrográficas de los ríos Bérchules y Mecina en el ámbito de sierra nevada (Granada). Recuperado a partir de

http://info.igme.es/SidPDF/166000/950/166950_0000001.pdf



- Liang, Chunguang, Hongfeng, & Sheng. (2016). MIKE SHE modelado de procesos ecohidrológicos: méritos, aplicaciones y desafíos - ScienceDirect. Recuperado 28 de octubre de 2017, a partir de <http://www.sciencedirect.com.v.ucuenca.edu.ec/science/article/pii/S0925857416300088>
- Liotta & Paz. (2015). Obtenido de http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Madrigal, J., Flores, G., Solera, A., & Andreu, J. (2017). Corrección del sesgo en los estadísticos de las series de precipitación de cambio climático, en la cuenca del río Angulo.
- MaritaFG. (28 de 11 de 2015). *SCRIBD*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/291489853/requerimiento-de-datos-en-weap>
- Mendoza, A. E. (2013). *Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" CENTA*. Obtenido de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>
- Montalván, I. (2017). Evaluación del desempeño del modelo hidrológico HBV-LIGHT en una microcuenca de páramo. Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26985/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Mora, D. E., Campozano, L., Cisneros, F., Wyseure, G., & Willems, P. (2014). Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18(2), 631-648. <https://doi.org/10.5194/hess-18-631-2014>



Nieto, N. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. *SCIELO*.

Recuperado a partir de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-

[77422011000200007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422011000200007)

Oestreicher, J. (2008). *Prospectivas y Aplicaciones del Modelo SWAT: Adaptación del modelo para su uso en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá*. Recuperado a partir de <https://cipotato.org/site/inrm/home/publicat/2008pse11.pdf>

PROMAS. (2017). RED HIDROMETEOROLÓGICA. Recuperado 29 de octubre de 2017, a partir de

<http://promas.ucuenca.edu.ec:90/sistemasInformacion/faces/mapa/uiMapa.xhtml>

Requerimiento de datos en WEAP. (2015). Recuperado 7 de octubre de 2017, a partir de <https://es.scribd.com/document/291489853/requerimiento-de-datos-en-weap>

Romero, E., & Casimiro, W. (2015). *Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú*. Recuperado a partir de

<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/viewFile/400/261>

Sánchez, H. L. (2015). *Simulación hidrológica de la cuenca del río Alambi en Nanegal frente al cambio del uso del suelo y su impacto en el recurso hídrico*.

Recuperado a partir de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9457>

Seibert, J. (2005). *HBV light User's Manual*. Recuperado a partir de

<http://www.geo.uzh.ch/dam/jcr:c8afa73c-ac90-478e-a8c7->

[929eed7b1b62/HBV_manual_2005.pdf](http://www.geo.uzh.ch/dam/jcr:c8afa73c-ac90-478e-a8c7-929eed7b1b62/HBV_manual_2005.pdf)



Stockholm Environment Institute. (2009). WEAP (Water Evaluation And Planning).

Recuperado 7 de octubre de 2017, a partir de <http://www.weap21.org>

Tan, M. L., Ibrahim, A. L., Yusop, Z., Chua, V. P., & Chan, N. W. (2017). Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research*, 189, 1-10.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.01.008>

Vintimilla, U., & Vizñay, R. (2009). Modelación hidrológica y planificación de recursos hídricos en la cuenca alta del río Paute: Implementación del modelo Weap.

Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/7491>

Willems, P., Mora, D., Vansteenkiste, T., Taye, M. T., & Van Steenbergen, N. (2014).

Parsimonious rainfall-runoff model construction supported by time series processing and validation of hydrological extremes – Part 2: Intercomparison of models and calibration approaches. *Journal of Hydrology*, 510(Supplement C), 591-609. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.028>



ANEXOS

Anexo 1 Scripts de R sobre procesamiento de datos descargados en formato NetCDF

Script de R de datos históricos para la precipitación.

```
rm(list=ls())
## Cargar las librerías*
library(sp)
library(raster)
library(ncdf4)
library(ncdf.tools)
##CARGAR HISTORICOS
hist_1<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_historical_r1i1p1_197601-200012.nc", bands=25:300)
names(hist_1)
hist_2<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_historical_r1i1p1_200101-200512.nc")
names(hist_2)
hist<-stack(hist_1,hist_2)
names(hist)
hist<-rotate(hist)*86400*30)
writeRaster(hist,filename = "historico.nc",format="CDF",overwrite=T)
historico<-stack("historico.nc")
plot(historico)
estaciones<-read.table("estaciones.csv", sep = ";",stringsAsFactors = FALSE, header = TRUE)
estaciones
stations<- SpatialPoints(cbind(estaciones$x,estaciones$y),crs("+proj=utm +zone=17 +south +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs"))
stations <- spTransform(stations, CRS("+proj=longlat +datum=WGS84 +ellps=WGS84 +towgs84=00,00,00"))
plot(stations, axes=TRUE)
stations
extracion <- extract(historico,stations)
write.csv(extracion,file="historicos_3puntos.csv")
```

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Script de R de datos históricos para la temperatura.

```
rm(list=ls())
## Cargar las librerías*
library(sp)
library(raster)
library(ncdf4)
library(ncdf.tools)
##CARGAR HISTORICOS
hist_1<-stack("tas_Amon_GISS-E2-R_historical_r1i1p1_197601-200012.nc", bands=25:300)
names(hist_1)
hist_2<-stack("tas_Amon_GISS-E2-R_historical_r1i1p1_200101-200512.nc")
names(hist_2)
hist<-stack(hist_1,hist_2)
names(hist)
hist<-(rotate(hist)-273.15)
hist
writeRaster(hist,filename = "historico.nc",format="CDF",overwrite=T)
historico<-stack("historico.nc")
plot(historico)
estaciones<-read.table("estaciones.csv", sep = ";",stringsAsFactors = FALSE, header = TRUE)
estaciones
stations<- SpatialPoints(cbind(estaciones$x,estaciones$y),crs("+proj=utm +zone=17 +south +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs"))
stations <- spTransform(stations, CRS("+proj=longlat +datum=WGS84 +ellps=WGS84 +towgs84=00,00,00"))
plot(stations, axes=TRUE)
stations
extracion <- extract(historico,stations)
write.csv(extracion,file="historicos_3puntos_tas.csv")
```

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Script de R de datos de escenario climático RCP 2.6 para la precipitación.

```
f#m(list=ls())
## Cargar las librerías*
library(sp)
library(raster)
library(ncdf4)
library(ncdf.tools)
##CARGAR rcp26
pr_2.6_1<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_rcp26_r1i1p1_200601-202512.nc")
names(pr_2.6_1)
pr_2.6_1
pr_2.6_1<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_rcp26_r1i1p1_200601-202512.nc", bands=37:240)
pr_2.6_1<-rotate(pr_2.6_1)
pr_2.6_1
names(pr_2.6_1)
pr_2.6_2<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_rcp26_r1i1p1_202601-205012.nc")
names(pr_2.6_2)
pr_2.6_2<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_rcp26_r1i1p1_202601-205012.nc")
pr_2.6_2
pr_2.6_2<-rotate(pr_2.6_2)
pr_2.6_2
names(pr_2.6_2)
pr_2.6_total<-stack(pr_2.6_1,pr_2.6_2)
pr_2.6_total
names(pr_2.6_total)
pr_2.6_total<- (pr_2.6_total*86400*30)
writeRaster(pr_2.6_total,filename = "pr_2.6_2009-2050.nc",format="CDF",overwrite=T)
futuro<-stack( "pr_2.6_2009-2050.nc")
futuro
estaciones<-read.table("estaciones.csv", sep = ";",stringsAsFactors = FALSE, header = TRUE)
estaciones
stations<- SpatialPoints(cbind(estaciones$x,estaciones$y),crs("+proj=utm +zone=17 +south +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs"))
stations <- spTransform(stations, CRS("+proj=longlat +datum=WGS84 +ellps=WGS84 +towgs84=00,00,00"))
futuro_rcp26_pr <- extract(futuro,stations)
futuro_rcp26_pr
write.csv(futuro_rcp26_pr,file="pr_rcp26_2009_2050.csv")
```

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Script de R de datos de escenario climático RCP 8.5 para la precipitación.

```
rm(list=ls())
## Cargar las librerías*
library(sp)
library(raster)
library(ncdf4)
library(ncdf.tools)
##CARGAR rcp85
pr_85_1<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_rcp85_r1i1p1_200601-202512.nc")
names(pr_85_1)
pr_85_1
pr_85_1<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_rcp85_r1i1p1_200601-202512.nc", bands=37:240)
pr_85_1<-rotate(pr_85_1)
pr_85_1
names(pr_85_1)

##carga el otro archivo rcp85
pr_85_2<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_rcp85_r1i1p1_202601-205012.nc")
pr_85_2<-stack("pr_Amon_GISS-E2-R_rcp85_r1i1p1_202601-205012.nc")
pr_85_2
pr_85_2<-rotate(pr_85_2)
pr_85_2
names(pr_85_2)

##Uno los dos archivos rcp85
pr_85_total<-stack(pr_85_1,pr_85_2)
pr_85_total
names(pr_85_total)
pr_85_total<-(pr_85_total*86400*30)

##Escribo el raster todo unido
writeRaster(pr_85_total,filename = "pr_85_2009-2050.nc",format="CDF",overwrite=T)
futuro_rcp85<-stack("pr_85_2009-2050.nc")
futuro_rcp85

##Cargo las estaciones
estaciones<-read.table("estaciones.csv", sep = ";",stringsAsFactors = FALSE, header = TRUE)
estaciones

##Transformo las estaciones de m a grados
stations<- SpatialPoints(cbind(estaciones$x,estaciones$y),crs("+proj=utm +zone=17 +south +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs"))
stations <- spTransform(stations, CRS("+proj=longlat +datum=WGS84 +ellps=WGS84 +towgs84=00,00,00"))
pr_futuro_rcp85 <- extract(futuro_rcp85,stations)
pr_futuro_rcp85
write.csv(pr_futuro_rcp85,file="pr_rcp85_2009_2050.csv")
```

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Script de R de datos de escenario climático RCP 2.6 para la temperatura.

```
rm(list=ls())
## Cargar las librerías*
library(sp)
library(raster)
library(ncdf4)
library(ncdf.tools)
##CARGAR rcp26
tas_26_1<-stack("tas_Amon_GISS-E2-R_rcp26_r1i1p1_200601-202512.nc")
names(tas_26_1)
tas_26_1
tas_26_1<-stack("tas_Amon_GISS-E2-R_rcp26_r1i1p1_200601-202512.nc", bands=37:240)
tas_26_1<-rotate(tas_26_1)
tas_26_1
names(tas_26_1)
tas_26_2<-stack("tas_Amon_GISS-E2-R_rcp26_r1i1p1_202601-205012.nc")
tas_26_2
tas_26_2<-rotate(tas_26_2)
tas_26_2
names(tas_26_2)
tas_26_total<-stack(tas_26_1,tas_26_2)
tas_26_total
names(tas_26_total)
tas_26_total<-(tas_26_total-273.15)
tas_26_total
writeRaster(tas_26_total,filename = "tas_26_2009-2050.nc",format="CDF",overwrite=T)
futuro_rcp26<-stack( "tas_26_2009-2050.nc")
futuro_rcp26
estaciones<-read.table("estaciones.csv", sep = ";",stringsAsFactors = FALSE, header = TRUE)
estaciones
stations<- SpatialPoints(cbind(estaciones$x,estaciones$y),crs("+proj=utm +zone=17 +south +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs"))
stations <- spTransform(stations, CRS("+proj=longlat +datum=WGS84 +ellps=WGS84 +towgs84=00,00,00"))
tas_futuro_rcp26 <- extract(futuro_rcp26,stations)
tas_futuro_rcp26
write.csv(tas_futuro_rcp26,file="tas_rcp26_2009_2050.csv")
```

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Script de R de datos de escenario climático RCP 8.5 para la temperatura.

```
rm(list=ls())
## Cargar las librerías*
library(sp)
library(raster)
library(ncdf4)
library(ncdf.tools)
##CARGAR rcp26
tas_85_1<-stack("tas_Amon_GISS-E2-R_rcp85_r2i1p3_200601-202512.nc")
names(tas_85_1)
tas_85_1
tas_85_1<-stack("tas_Amon_GISS-E2-R_rcp85_r2i1p3_200601-202512.nc", bands=37:240)
tas_85_1<-rotate(tas_85_1)
tas_85_1
names(tas_85_1)
tas_85_2<-stack("tas_Amon_GISS-E2-R_rcp85_r2i1p3_202601-205012.nc")
tas_85_2
tas_85_2<-rotate(tas_85_2)
tas_85_2
names(tas_85_2)
tas_85_total<-stack(tas_85_1,tas_85_2)
tas_85_total
names(tas_85_total)
tas_85_total<-(tas_85_total-273.15)
writeRaster(tas_85_total,filename = "tas_85_2009-2050.nc",format="CDF",overwrite=T)
futuro_rcp85<-stack( "tas_85_2009-2050.nc")
futuro_rcp85
estaciones<-read.table("estaciones.csv", sep = ";",stringsAsFactors = FALSE, header = TRUE)
estaciones
stations<- SpatialPoints(cbind(estaciones$x,estaciones$y),crs("+proj=utm +zone=17 +south +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs"))
stations <- spTransform(stations, CRS("+proj=longlat +datum=WGS84 +ellps=WGS84 +towgs84=00,00,00"))
tas_futuro_rcp85 <- extract(futuro_rcp85,stations)
tas_futuro_rcp85
write.csv(tas_futuro_rcp85,file="tas_rcp85_2009_2050.csv")
```

Elaborado por: Palacios K. 2017.

Anexo 2 Scripts de R del método de downscaling estadístico utilizando la corrección del sesgo.

Script de R de escenario climático RCP 2.6 y RCP 8.5 para la precipitación.

```
rm(list=ls())
tas_hist_chanlud <-read.delim("tas_hist_chanlud.csv",header = FALSE, sep = ",")
tas_hist_labrado <-read.delim("tas_hist_labrado.csv",header = FALSE, sep = ",")
view(tas_hist_chanlud)
view(tas_hist_labrado)
tas_obs_chanlud <-read.delim("tas_obs_chanlud.csv", header = FALSE, sep = ",")
tas_obs_labrado <-read.delim("tas_obs_labrado.csv", header = FALSE, sep = ",")
view(tas_obs_chanlud)
view(tas_obs_labrado)

tas_rcp26_chanlud<-read.delim("tas_rcp26_chanlud_2009_2050.csv", header = FALSE, sep = ",")
tas_rcp26_labrado<-read.delim("tas_rcp26_labrado_2009_2050.csv", header = FALSE, sep = ",")
tas_rcp85_chanlud<-read.delim("tas_rcp85_chanlud_2009_2050.csv", header = FALSE, sep = ",")
tas_rcp85_labrado<-read.delim("tas_rcp85_labrado_2009_2050.csv", header = FALSE, sep = ",")
view(tas_rcp26_chanlud)
view(tas_rcp26_labrado)
view(tas_rcp85_chanlud)
view(tas_rcp85_labrado)

##Creo una matriz
prommultitas_obs_chanlud<- array(NA,dim=c(1,12))
prommultitas_obs_labrado<- array(NA,dim=c(1,12))

## saco el promedio por mes para cada estación
for (i in 1:12){
  prommultitas_obs_chanlud[i]=mean(tas_obs_chanlud[tas_obs_chanlud[,1]==i,2],na.rm=TRUE)
  prommultitas_obs_labrado[i]=mean(tas_obs_labrado[tas_obs_labrado[,1]==i,2],na.rm=TRUE)
}
##Creo una matriz
prommultitas_hist_chanlud<- array(NA,dim=c(1,12))
prommultitas_hist_labrado<- array(NA,dim=c(1,12))

## saco el promedio por mes para cada estación
for (i in 1:12){
  prommultitas_hist_chanlud[i]=mean(tas_hist_chanlud[tas_hist_chanlud[,1]==i,2],na.rm=TRUE)
  prommultitas_hist_labrado[i]=mean(tas_hist_labrado[tas_hist_labrado[,1]==i,2],na.rm=TRUE)
}

##creo una matriz de 1*12 para obtener el factor para cada estación
factmod_chan_tas <- array(9999,dim=c(1,12))
factmod_lab_tas <- array(9999,dim=c(1,12))

##Divido los datos observados para los historicos
for (i in 1:12){
  factmod_chan_tas[i]= prommultitas_obs_chanlud[i]/ prommultitas_hist_chanlud[i]
  factmod_lab_tas[i]= prommultitas_obs_labrado[i]/ prommultitas_hist_labrado[i]
}

dathistajus_chan_tas= tas_hist_chanlud
dathistajus_lab_tas= tas_hist_labrado
```




```
##Multiplico el factor de la division por el rcp26
for (i in 1:12){
  dathistajus_chan_tas[dathistajus_chan_tas[,1]==i,2]<- dathistajus_chan_tas[dathistajus_chan_tas[,1]==i,2]*factmod_chan_tas[i]
  dathistajus_lab_tas[dathistajus_lab_tas[,1]==i,2]<- dathistajus_lab_tas[dathistajus_lab_tas[,1]==i,2]*factmod_lab_tas[i]
}

datfutajus_rcp26_chan_tas= tas_rcp26_chanlud
datfutajus_rcp26_lab_tas= tas_rcp26_labrado

##Multiplico el factor de la division por el rcp26
for (i in 1:12){
  datfutajus_rcp26_chan_tas[datfutajus_rcp26_chan_tas[,1]==i,2]<- datfutajus_rcp26_chan_tas[datfutajus_rcp26_chan_tas[,1]==i,2]*factmod_chan_tas[i]
  datfutajus_rcp26_lab_tas[datfutajus_rcp26_lab_tas[,1]==i,2]<- datfutajus_rcp26_lab_tas[datfutajus_rcp26_lab_tas[,1]==i,2]*factmod_lab_tas[i]
}

write.csv(datfutajus_rcp26_chan_tas, file="fut_tas_chanlud_rcp26_2009_2050.csv")
write.csv(datfutajus_rcp26_lab_tas, file="fut_tas_labrado_rcp26_2009_2050.csv")

datfutajus_rcp85_chan_tas= tas_rcp85_chanlud
datfutajus_rcp85_lab_tas= tas_rcp85_labrado

##Multiplico el factor de la division por el rcp85
for (i in 1:12){
  datfutajus_rcp85_chan_tas[datfutajus_rcp85_chan_tas[,1]==i,2]<- datfutajus_rcp85_chan_tas[datfutajus_rcp85_chan_tas[,1]==i,2]*factmod_chan_tas[i]
  datfutajus_rcp85_lab_tas[datfutajus_rcp85_lab_tas[,1]==i,2]<- datfutajus_rcp85_lab_tas[datfutajus_rcp85_lab_tas[,1]==i,2]*factmod_lab_tas[i]
}

write.csv(datfutajus_rcp85_chan_tas, file="fut_tas_chanlud_rcp85_2009_2050.csv")
write.csv(datfutajus_rcp85_lab_tas, file="fut_tas_labrado_rcp85_2009_2050.csv")
```

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Script de R de escenario climático RCP 2.6 y RCP 8.5 para la temperatura.

```
rm(list=ls())
pr_hist_chanlud <-read.delim("pr_hist_chanlud.csv",header = FALSE, sep = ",")
pr_hist_labrado <-read.delim("pr_hist_labrado.csv",header = FALSE, sep = ",")
View(pr_hist_chanlud)
View(pr_hist_labrado)
pr_obs_chanlud <-read.delim("pr_obs_chanlud.csv", header = FALSE, sep = ",")
pr_obs_labrado <-read.delim("pr_obs_labrado.csv", header = FALSE, sep = ",")
View(pr_obs_chanlud)
View(pr_obs_labrado)

pr_rcp26_chanlud<-read.delim("pr_rcp26_chanlud_2009_2050.csv", header = FALSE, sep = ",")
pr_rcp26_labrado<-read.delim("pr_rcp26_labrado_2009_2050.csv", header = FALSE, sep = ",")
pr_rcp85_chanlud<-read.delim("pr_rcp85_chanlud_2009_2050.csv", header = FALSE, sep = ",")
pr_rcp85_labrado<-read.delim("pr_rcp85_labrado_2009_2050.csv", header = FALSE, sep = ",")
View(pr_rcp26_chanlud)
View(pr_rcp26_labrado)
View(pr_rcp85_chanlud)
View(pr_rcp85_labrado)

##Creo una matriz

prommultipr_obs_chanlud<- array(NA,dim=c(1,12))
prommultipr_obs_labrado<- array(NA,dim=c(1,12))

## saco el promedio mensual de los datos observados para cada estación
for (i in 1:12){
  prommultipr_obs_chanlud[i]=mean(pr_obs_chanlud[pr_obs_chanlud[,1]==i,2],na.rm=TRUE)
  prommultipr_obs_labrado[i]=mean(pr_obs_labrado[pr_obs_labrado[,1]==i,2],na.rm=TRUE)
}
##Creo una matriz
prommultipr_hist_chanlud<- array(NA,dim=c(1,12))
prommultipr_hist_labrado<- array(NA,dim=c(1,12))

## saco el promedio mensual de los datos historicos para cada estación
for (i in 1:12){
  prommultipr_hist_chanlud[i]=mean(pr_hist_chanlud[pr_hist_chanlud[,1]==i,2],na.rm=TRUE)
  prommultipr_hist_labrado[i]=mean(pr_hist_labrado[pr_hist_labrado[,1]==i,2],na.rm=TRUE)
}

##creo una matriz de 1*12 para obtener el factor para cada estación
factmod_chan_pr <- array(9999,dim=c(1,12))
factmod_lab_pr <- array(9999,dim=c(1,12))

##Divido los datos observados para los historicos
for (i in 1:12){
  factmod_chan_pr[i]= prommultipr_obs_chanlud[i]/ prommultipr_hist_chanlud[i]
  factmod_lab_pr[i]= prommultipr_obs_labrado[i]/ prommultipr_hist_labrado[i]
}

dathistajus_chan_pr= pr_hist_chanlud
dathistajus_lab_pr= pr_hist_labrado
```



```
##Multiplico el factor de la division por el rcp26
for (i in 1:12){
  dathistajus_chan_pr[dathistajus_chan_pr[,1]==i,2]<- dathistajus_chan_pr[dathistajus_chan_pr[,1]==i,2]*factmod_chan_pr[i]
  dathistajus_lab_pr[dathistajus_lab_pr[,1]==i,2]<- dathistajus_lab_pr[dathistajus_lab_pr[,1]==i,2]*factmod_lab_pr[i]
}

datfutajus_rcp26_chan_pr= pr_rcp26_chanlud
datfutajus_rcp26_lab_pr= pr_rcp26_labrado

##Multiplico el factor de la division por el rcp26
for (i in 1:12){
  datfutajus_rcp26_chan_pr[datfutajus_rcp26_chan_pr[,1]==i,2]<- datfutajus_rcp26_chan_pr[datfutajus_rcp26_chan_pr[,1]==i,2]*factmod_chan_pr[i]
  datfutajus_rcp26_lab_pr[datfutajus_rcp26_lab_pr[,1]==i,2]<- datfutajus_rcp26_lab_pr[datfutajus_rcp26_lab_pr[,1]==i,2]*factmod_lab_pr[i]
}

write.csv(datfutajus_rcp26_chan_pr, file="fut_pr_chanlud_rcp26_2009_2050.csv")
write.csv(datfutajus_rcp26_lab_pr, file="fut_pr_labrado_rcp26_2009_2050.csv")

datfutajus_rcp85_chan_pr= pr_rcp85_chanlud
datfutajus_rcp85_lab_pr= pr_rcp85_labrado

##Multiplico el factor de la division por el rcp85
for (i in 1:12){
  datfutajus_rcp85_chan_pr[datfutajus_rcp85_chan_pr[,1]==i,2]<- datfutajus_rcp85_chan_pr[datfutajus_rcp85_chan_pr[,1]==i,2]*factmod_chan_pr[i]
  datfutajus_rcp85_lab_pr[datfutajus_rcp85_lab_pr[,1]==i,2]<- datfutajus_rcp85_lab_pr[datfutajus_rcp85_lab_pr[,1]==i,2]*factmod_lab_pr[i]
}

write.csv(datfutajus_rcp85_chan_pr, file="fut_pr_chanlud_rcp85_2009_2050.csv")
write.csv(datfutajus_rcp85_lab_pr, file="fut_pr_labrado_rcp85_2009_2050.csv")
```

Elaborado por: Palacios K. 2017.



Anexo 3 Meses que presentan Déficit de agua en toda la serie de tiempo futura.

Meses que presentan Déficit de agua en los diferentes escenarios futuros.

ESCENARIO	Año	Mes	Caudal de Agua Mensual (m3/s)			
			Demanda	Oferta	Déficit	
Conversión del 25% de Cultivo a Bosque	2047	Marzo	6.57	2.35	-4.22	64%
Conversión del 50% de Cultivo a Bosque	2047	Marzo	6.57	2.33	-4.24	65%
Conversión del 75% de Cultivo a Bosque	2049	Enero	9.93	3.65	-6.28	63%
Conversión del 100% de Cultivo a Bosque	2049	Enero	9.93	3.63	-6.30	63%
Conversión del 25% de Páramos y Bosques a Cultivos	2047	Marzo	6.57	2.73	-3.84	58%
Conversión del 50% de Páramos y Bosques a Cultivos	2047	Marzo	6.57	3.09	-3.48	53%
Conversión del 75% de Páramos y Bosques a Cultivos	2047	Marzo	6.57	3.44	-3.13	48%
Conversión del 100% de Páramos y Bosques a Cultivos	2047	Marzo	6.57	3.80	-2.77	42%
Conversión del 25% de Páramos y Bosques a Suelo Descubierta	2047	Marzo	6.57	3.36	-3.20	49%
Conversión del 50% de Páramos y Bosques a Suelo Descubierta	2047	Marzo	6.57	4.35	-2.21	34%
Cambio Climático RCP 2.6	2041	Diciembre	6.13	1.82	-4.31	70%
Cambio Climático RCP 8.5	2041	Diciembre	6.13	2.33	-3.80	62%
Conversión del 25% de Cultivos a Bosque y RCP 2.6	2041	Diciembre	6.13	1.80	-4.33	71%
Conversión del 50% de Cultivos a Bosque y RCP 2.6	2041	Diciembre	6.13	1.02	-5.11	83%
Conversión del 75% de Cultivos a Bosque y RCP 2.6	2041	Diciembre	6.13	1.76	-4.37	71%
Conversión del 100% de Cultivos a Bosque y RCP 2.6	2047	Septiembre	7.36	3.93	-3.44	47%
Conversión del 25% de Páramos y Bosques a Cultivos y RCP 2.6	2041	Diciembre	6.13	2.06	-4.07	66%
Conversión del 50% de Páramos y Bosques a Cultivos y RCP 2.6	2041	Diciembre	6.13	2.31	-3.83	62%
Conversión del 75% de Páramos y Bosques a Cultivos y RCP 2.6	2047	Marzo	6.57	3.10	-3.47	53%
Conversión del 100% de Páramos y Bosques a Cultivos y RCP 2.6	2047	Marzo	6.57	3.29	-3.28	50%
Conversión del 25% de Páramos y Bosques a Suelo Descubierta y RCP 2.6	2041	Diciembre	6.13	2.20	-3.93	64%
Conversión del 50% de Páramos y Bosques a Suelo Descubierta y RCP 2.6	2047	Febrero	9.13	3.70	-5.43	60%
Conversión del 75% de Páramos y Bosques a Suelo Descubierta y RCP 2.6	2047	Febrero	9.13	4.18	-4.95	54%
Conversión del 100% de Páramos y Bosques a Suelo Descubierta y RCP 2.6	2047	Febrero	9.13	4.67	-4.46	49%
Conversión del 25% de Cultivos a Bosque y RCP 8.5	2041	Diciembre	6.13	2.31	-3.82	62%
Conversión del 50% de Cultivos a Bosque y RCP 8.5	2041	Diciembre	6.13	2.29	-3.84	63%
Conversión del 75% de Cultivos a Bosque y RCP 8.5	2041	Diciembre	6.13	2.26	-3.87	63%
Conversión del 100% de Cultivos a Bosque y RCP 8.5	2041	Diciembre	6.13	2.24	-3.89	63%
Conversión del 25% de Páramos y Bosques a Cultivos y RCP 8.5	2047	Marzo	6.57	2.93	-3.64	55%
Conversión del 50% de Páramos y Bosques a Cultivos y RCP 8.5	2047	Marzo	6.57	3.17	-3.40	52%
Conversión del 75% de Páramos y Bosques a Cultivos y RCP 8.5	2047	Marzo	6.57	3.42	-3.15	48%
Conversión del 100% de Páramos y Bosques a Cultivos y RCP 8.5	2047	Marzo	6.57	3.67	-2.90	44%
Conversión del 25% de Páramos y Bosques a Suelo Descubierta y RCP 8.5	2047	Marzo	6.57	3.84	-2.73	42%
Conversión del 50% de Páramos y Bosques a Suelo Descubierta y RCP 8.5	2047	Marzo	6.57	5.00	-1.57	24%

Elaborado por: Palacios K. 2017.