

**IMPACTOS ECONÓMICOS, AMBIENTALES Y SOCIALES DEL CAMBIO
CLIMÁTICO SOBRE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL DISTRITO DE RIEGO
SANTANA DEL MUNICIPIO DE LA FLORIDA, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.**

CESSIA SIXTINA SANTOS RODRÍGUEZ
Ingeniera Agrícola. Esp. Gerencia de Proyectos

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
2022

**IMPACTOS ECONÓMICOS, AMBIENTALES Y SOCIALES DEL CAMBIO
CLIMÁTICO SOBRE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL DISTRITO DE RIEGO
SANTANA DEL MUNICIPIO DE LA FLORIDA, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.**

CESSIA SIXTINA SANTOS RODRÍGUEZ
Ingeniera Agrícola. Esp. Gerencia de Proyectos

**Trabajo de tesis para optar al título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio
Ambiente**

Director:
JUAN CARLOS GRANOBLER TORRES
I. A. – Msc.

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
2022

Nota de aceptación

Director de Tesis

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Euclides Santos y Ana María Rodríguez por siempre estar ahí para mí.

A mis hermanitos por cada palabra y momento vivido, sin ellos no sería nadie.

A mi amado Eduar, por tanto apoyo y amor en los momentos más difíciles de la vida.

Al Profesor Juan Carlos Granobles Torres I. A. MSc. Director del trabajo de Tesis por aportarme su conocimiento, su paciencia y dedicación.

A la Universidad de Manizales por brindar la oportunidad de estudiar desde cualquier rincón del mundo, permitiendo la constante búsqueda del conocimiento.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| Resumen | |
| 1. Introducción | 12 |
| 2. Planteamiento del problema de investigación..... | 14 |
| 2.1 Formulación del problema..... | 17 |
| 2.2 Justificación..... | 17 |
| 3. Marco teórico..... | 19 |
| 3.1 Referente teórico..... | 19 |
| 3.1.1 Cambio Climático..... | 20 |
| 3.1.2 Demanda y oferta hídrica..... | 22 |
| 3.1.2.1 Demanda hídrica..... | 22 |
| 3.1.2.2 Demanda hídrica total Nacional..... | 22 |
| 3.1.2.3 Demanda hídrica en el sector agrícola..... | 23 |
| 3.1.3 Oferta Hídrica..... | 26 |
| 3.2 Antecedentes | 28 |
| 3.2.1 Adaptación de la agricultura de Riego mundial ante el cambio climático | 28 |
| 4.Objetivo General..... | 30 |
| 4.1 Objetivos Específicos | 30 |
| 5. Metodología | 31 |
| 5.1 Tipo de estudio | 31 |
| 5.2 Localización y zona de Estudio..... | 31 |
| 5.3 Población y muestra | 32 |
| 5.4 Diseño de la Investigación..... | 33 |
| 5.4.1 Fase 1. Recopilación de información | 33 |
| 5.4.1.1 Análisis climatológico | 33 |
| 5.4.2 Fase 2. Desarrollo de Entrevistas..... | 34 |
| 5.4.3 Fase 3. Determinación de oferta y demanda hídrica | 35 |
| 5.4.4 Fase 4. Argumentación y efectos del cambio climático | 36 |
| 5.4.5 Fase 5. Formulación de estrategias de mitigación | 36 |
| 5.4.6. Técnicas e instrumentos | 37 |
| 6. Resultados | 38 |
| 6.1 Recolección de datos de Climatología | 38 |

| | |
|---|----|
| 6.2 Obtención de la demanda hídrica del distrito | 42 |
| 6.3 Precipitación..... | 44 |
| 6.3.1 Precipitación efectiva | 45 |
| 6.4 Balance Hídrico – Calculo de la demanda del distrito | 46 |
| 6.4.1 Uso consuntivo | 49 |
| 6.4.2 Demanda Neta | 49 |
| 6.4.3 Eficiencia | 50 |
| 6.4.4 Demanda Bruta | 50 |
| 6.4.5 Jornada de riego | 51 |
| 6.4.6 Modulo de riego | 51 |
| 6.4.7 Caudal requerido..... | 52 |
| 6.5 Determinación de oferta hídrica mínima de la quebrada Curiaco..... | 57 |
| 6.5.1 Caracterización de la cuenca de la quebrada Curiaco | 57 |
| 6.5.2 Características físicas de la Cuenca | 57 |
| 6.5.3 Suelos Microcuenca | 58 |
| 6.5.4 Caudal Ecológico | 59 |
| 6.5.5 Concesión de aguas | 59 |
| 6.5.6 Análisis de caudales mínimos de la fuente | 61 |
| 6.5.7 Caudales mínimos decadales y mínimos mensuales | 60 |
| 6.6 Análisis de encuestas | 63 |
| 6.6.1 Componente Productivo..... | 63 |
| 6.6.2 Componente Ambiental y Cambio Climático..... | 65 |
| 6.6.3 Componente Social y de Trabajo | 66 |
| 6.6.4 Matriz Dofa | 67 |
| 7. Discusión | 69 |
| 8. Estrategias de adaptación al cambio climático del Distrito de Riego Asosantana..... | 72 |
| 9. Conclusiones | 74 |
| 10. Recomendaciones | 77 |
| Referencias | 79 |

LISTA DE TABLAS Y GRAFICOS

| | Pagina |
|--|--------|
| Tabla No 1. Resultados de Evapotranspiración Potencial ETo..... | 44 |
| Tabla No 2. Resultados de Precipitación efectiva por el método de USDA | 46 |
| Tabla No 3. Kc De diferentes cultivos, incluido el café. | 48 |
| Tabla No 4. Balance Hídrico Cultivo: Café – 95 hectáreas – Riego por aspersión..... | 53 |
| Tabla No 5. Balance Hídrico Cultivo: Aguacate – 25 hectáreas – Riego por aspersión | 55 |
| Tabla No 6. Parámetros Morfométricos de la microcuenca – Quebrada Curiaco..... | 57 |
| Tabla No 7. Caudales mensuales (m3/seg) | 59 |
| Tabla No 8. Caudal medio mensual disponible | 60 |
| Tabla No 9. Caudal medio decadal disponible | 61 |
| Tabla No 10. Caudal disponible en la Quebrada Curiaco | 62 |
| Tabla No 11. Caudales Mínimos Mensuales TR = 5 años..... | 63 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pagina |
|--|--------|
| Figura 1. Demanda Hídrica sectorial nacional | 23 |
| Figura 2. Curva del coeficiente del cultivo..... | 25 |
| Figura 3. Ubicación del corregimiento de Matituy..... | 32 |
| Figura 4. Ubicación de la estación meteorológica Chachagui | 38 |
| Figura 5. Datos de Precipitación mensual. Estación meteorológica Chachagui 2019..... | 39 |
| Figura 6. Temperatura mínima. Estación meteorológica Chachagui 2019 | 40 |
| Figura 7. Temperatura Máxima. Estación meteorológica Chachagui 2019..... | 40 |
| Figura 8. Humedad Relativa. Estación meteorológica Chachagui 2019..... | 41 |
| Figura 9. Brillo Solar. Estación meteorológica Chachagui 2019 | 41 |
| Figura 10. Velocidad del Viento. Estación meteorológica Chachagui 201..... | 42 |
| Figura 11. Datos de entrada para precipitación efectiva método USDA | 45 |
| Figura 12. Curvas Real y teórica del coeficiente del cultivo..... | 47 |
| Figura 13. Ubicación de la microcuenca Quebrada Curiaco..... | 58 |
| Figura 14. Clasificación de suelos microcuenca de la quebrada Curiaco..... | 58 |
| Figura 15. Porcentaje de área del predio de los encuestados..... | 64 |
| Figura 16. Porcentaje de área de riego de los encuestados..... | 64 |
| Figura 17. Vocación de los predios de los encuestados..... | 65 |
| Figura 18. Percepción de disminución de agua de riego. | 66 |
| Figura 19. Afectación al cultivo por cambio climático..... | 66 |
| Figura 20. Pertenencia a la organización..... | 66 |
| Figura 21. Participación de los encuestados en organizaciones y actividades colectivas..... | 66 |
| Figura 22. Dedicación de tiempo..... | 67 |
| Figura 23. Contratación de mano de obra en la unidad de producción..... | 67 |
| Figura 24. Matriz Dofa. Efectos del cambio climático en el distrito de Riego Asosantana..... | 68 |

ANEXOS

Anexo 1. Datos Meteorológicos del IDEAM

Anexo 2. Balance Hídrico Asosantana

Anexo 3. Hidrología Asosantana

Anexo 4. Encuestas Realizadas

Anexo 5. Encuestas Tabuladas

RESUMEN

Santos Rodríguez, C.S. Impactos económicos, ambientales y sociales del cambio climático sobre los sistemas productivos del Distrito de Riego Santana del municipio de La Florida, Departamento de Nariño.

El objetivo de este estudio fue la determinación de la eficiencia del aprovechamiento del agua de riego disponible por UPA (Unidad Productiva Agrícola), en función del área regada y del requerimiento de los cultivos en el distrito de adecuación de tierras Santana, municipio de La Florida, Nariño evaluando los impactos económicos, productivos, ambientales y sociales aunados al cambio climático. Los indicadores evaluados fueron Demanda y Oferta de agua analizando las consecuencias económicas, sociales y ambientales en los usuarios y la formulación de medidas de adaptación al cambio climático basados en el déficit de agua detectado en el distrito. Se encontró que la demanda hídrica para las 120 hectáreas del distrito, actualmente tiene un déficit de 23% en disponibilidad de agua para riego, debido principalmente a aumento de la evapotranspiración de los cultivos producto del cambio climático de la región. Los valores de caudales encontrados en la oferta hídrica del Rio Curiaco, fuente de abastecimiento del sistema, permanecen estables en temporadas de sequía, permitiendo tomar medidas de adaptación con el objetivo de realizar un uso eficiente del agua de riego en el distrito, para garantizar la disponibilidad del recurso; sin afectar la productividad de los cultivos.

Palabras clave: Sistemas de producción Agrícola, cambio climático, impactos ambientales, impactos sociales, impactos económicos

ABSTRACT

Santos Rodríguez, C.S. Economic, environmental and social impacts of climate change on the productive systems of the Santana Irrigation District of the municipality of La Florida, Department of Nariño.

The objective of this study was to determine the efficiency of the use of available water for irrigation by UPA (Agricultural Productive Unit), depending on the irrigated area and the crop's requirements in the Santana land suitability district, municipality of La Florida Nariño, evaluating the economic, productive, environmental and social impacts added with climate change. The indicators evaluated were supply and demand for water, analyzing the economic, social, and environmental consequences on users, and the definition of measures to adapt to climate change, based on the water deficit detected on the irrigation district. It was found that water demand for the 120 hectares of the irrigation district currently has a 23% deficit in the availability of water for irrigation, mainly due to the increase in crop evapotranspiration as a result of climate change in the region. The water supply flow rates values found in the Curiaco river, the system's supply source, remain stable in dry seasons which allows taking adaptation measures aiming at efficient use of irrigation water in the district, to guarantee the resource availability without affecting crops productivity.

Keywords: Agricultural production systems, climate change, environmental impacts, social impacts, economic impacts

1. INTRODUCCION

Los impactos ambientales, productivos y sociales que está generando el desabastecimiento de agua en los distritos de Riego, afectan negativamente la actividad agrícola y la seguridad alimentaria de las familias (Fischer et al., 2005). Aunado a lo anterior, el cambio climático, presiona el uso de los recursos naturales, por lo cual es importante y urgente establecer gestiones que permitan el uso eficaz de los recursos, ya que el agua es el principal motor para la sostenibilidad de la agricultura. (Zimmerman, R. and Faris, C. 2011)

En Colombia, la agricultura es el renglón número uno de la economía del país y posee el 47% del total de la demanda hídrica nacional (IDEAM, 2015), es por esto, que la presente investigación está enfocada en la investigación de los requerimientos hídricos de un distrito de riego, calculando la demanda y oferta hídrica del mismo con el fin de permitir un manejo integrado del riego, teniendo en cuenta la problemática de cambio climático que afecta directamente en la producción de los cultivos. En el país, este es uno de los temas centrales en formulación de políticas agrícolas y ambientales que propenden por el desarrollo sostenible. (DNP, 2018. Acuerdos de paz).

El distrito de riego Asoasantana objeto de este estudio, es una infraestructura construida en el año de 2012, en la cual los estudios para su construcción, fueron basados en datos meteorológicos de la zona de los años 1998 – 2008, época en la cual los regímenes de lluvia y épocas de sequía eran totalmente diferentes a los actualmente registrados en la zona de estudio,

al igual que el uso de la tierra de los beneficiarios, que han pasado de cafetales a otros cultivos como aguacate o frutales.

Este cambio en el uso actual del agua de riego, afecta considerablemente la aplicación de agua en los cultivos, ya que la evapotranspiración cambia acorde a factores climáticos, tipo de suelo y los consumos hídricos propios de las plantas.

Es fundamental resaltar que esta investigación, además de definir la oferta y demanda del agua de los cultivos, está acompañada de metodologías y estrategias que permite evaluar el manejo del riego y la productividad en las fincas que pertenecen al Distrito de Riego Santana. (Wolters y Bos, 1990; Smith, 2000)

Este trabajo investigativo se desarrolló con el objetivo de generar alternativas de manejo eficiente del riego en el Distrito, mediante la adopción de estrategias de mitigación al cambio climático que afecta actualmente a los productores, debido al aumento en la demanda de agua en la región por un cambio considerable en la evapotranspiración de los cultivos, y que, debido a la imposibilidad de aumentar la capacidad instalada en la infraestructura para suplir los requerimientos hídricos, debido a un costo económico elevado para realizar adecuaciones en el sistema que permita llevar más agua a los predios.

Los resultados mostraron que los agricultores pertenecientes al distrito, requieren un 25% más de agua en época de sequía, para suplir las necesidades de 120 hectáreas de cultivos de café y aguacate. El análisis de la situación permite demostrar que los productores desconocen en gran medida, los efectos del cambio climático en el planeta y que están afectando directamente la disponibilidad de agua de riego; y por esta razón es fundamental la adaptación de medidas que permitan tener un uso eficiente del recurso hídrico.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El cambio climático que se está presentando actualmente en el planeta y evidenciado por diversas investigaciones y estudios que respaldan este fenómeno, trasladan la responsabilidad a las comunidades e instituciones con el fin de crear mecanismos eficientes que permitan hacerle frente a esta problemática y así continuar con prácticas agrícolas sostenibles en el tiempo. Teniendo en cuenta lo anterior, mediante este estudio, se puede determinar cuáles son los impactos del cambio climático sobre el abastecimiento de agua del distrito de Riego Santana, determinando la afectación sobre la productividad de cada finca cafetera. (Adger and Barnett 2009, Hinkel et al. 2009, Hofmann et al. 2011)

En el mundo, se ha hecho evidente el cambio en las temporadas de lluvia y de sequía, impactando directamente el rendimiento de los cultivos, ya que se evidencian problemas directos como pérdidas de cosechas enteras, proliferación de enfermedades y plagas, aumento de heladas que arrasan con los cultivos y que afectan directamente la fertilidad en los suelos. Estas consecuencias traen efectos sociales sensibles a la población productora, ya que se ve disminuida su capacidad adquisitiva y también se ven problemas en la seguridad alimentaria global. (Barnett and Campbell, 2009, Hulme et al. 2009, Arnell 2010, Hofmann et al. 2011).

Así mismo, la escasez de agua en muchas fuentes hídricas, afecta considerablemente la oferta de productos alimenticios a nivel mundial. Los cultivos requieren constantemente agua para una producción estable, es por esto, que los distritos de riego son fundamentales en la actividad agrícola ya que son infraestructuras que distribuyen agua en un área de tierra, con el objetivo único de brindar a los productores agua constante para sus parcelas y así evitar las fluctuantes condiciones climáticas que últimamente han disminuido la productividad del campo. (Adger et al. 2009, Hallegatte y Corfee-Morlot 2011)

El distrito de riego Asosantana, ubicado en el corregimiento de Matituy, municipio de la Florida en el departamento de Nariño, fue construido en el año 2012 con recursos de convocatoria de riego del ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Para la construcción de la infraestructura, la asociación de usuarios formuló un proyecto, en el cual se realiza un análisis de demanda hídrica para 120 hectáreas cultivadas en café. Los resultados obtenidos en esta formulación inicial del proyecto, arrojan datos de módulos de riego de 0,5 lps / hectárea, para el primer decadal de febrero en un análisis de años climatológicos desde 2000 al 2008. (Este estudio).

Actualmente en el distrito de riego se presentan problemas de abastecimiento, aunado al cambio climático actual que se evidencia en periodos de sequía más extremos, además muchos de los usuarios han cambiado los cultivos a otros con más rentabilidad, cambiando los requerimientos de agua en las unidades productivas. Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza un diagnóstico completo del efecto del cambio climático que afecta la región y el abastecimiento de agua para el regadío de los cultivos actualmente establecidos, además de acompañar esta investigación, de

propuestas de tecnologías eficientes que permiten regar los cultivos acordes a los requerimientos de agua actuales y teniendo en cuenta los cambios climáticos recientes para generar planes de adaptación y/o mitigación acordes a las necesidades de los productores para generar estabilidad económica en la zona.

En la asociación de usuarios del distrito de riego Asosantana, cuyo principal producto es café; anteriormente se tenían dos periodos marcados de sequía; en los meses Febrero - Marzo y Agosto – Septiembre, en los cuales se basaron los estudios para la construcción del distrito. Actualmente, y debido precisamente al cambio climático evidente en el planeta, estas dos épocas se han trasladado a otros meses, los cuales afectan directamente la disponibilidad de agua en la zona, y conlleva a bajos rendimientos productivos en la zona.

Adicionalmente, desde la entrada en funcionamiento del distrito, algunos usuarios han cambiado su vocación agrícola a otros sistemas de producción lo cual no está cuantificado y no se evidencia cual es el requerimiento de agua para el correcto abastecimiento en los cultivos aunado a un cambio en la evapotranspiración de los cultivos promedio para el cálculo del balance hídrico del distrito

Teniendo en cuenta lo anterior, la asociación no tiene contemplado ningún plan de adaptación o de implementación de tecnologías que permitan sobrellevar la situación de cambio climático, para que el distrito de riego funcione correctamente y no se pierdan cultivos debido a factores como desabastecimiento hídrico en la fuente, aumento de evapotranspiración en los cultivos, cambios en el uso del agua de riego para los cultivos, y así evitar que la actividad agrícola en la

región se convierta en insostenible y con pérdidas crecientes en términos económicos para los productores.

2.1 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los impactos económicos, ambientales y sociales del cambio climático sobre los sistemas productivos del distrito de riego Santana del municipio de La Florida, departamento de Nariño?

2.2 JUSTIFICACION

En Colombia, el agua dulce se destina al consumo humano, industria y riego entre las más importantes (Gaybor, 2008). En este sentido, el uso del agua en riego es el que más volumen utiliza, pero la mayoría de veces, se realiza en condiciones ineficientes. Esta deficiencia se observa en todos los componentes del sistema desde estructuras de captación, sistemas de conducción (tuberías o canales abiertos) y finalmente en la aplicación en cada unidad productiva. El riego en los cultivos, es el reglón más importante en la productividad y tiene relevancia social, económica y ambiental ya que incrementa, diversifica y mantiene los cultivos, resolviendo los conflictos de pobreza en áreas rurales; generando así mismo empleo y disminuyendo la emigración rural. (Verchot, et al., 2007).

Por lo tanto, hace falta; en el sector agrícola, conocer los factores climáticos que afectan la disponibilidad de agua en los distritos de riego ya que el aprovechamiento ineficiente de este recurso hídrico, desmejora la productividad, la economía local y las condiciones sociales de los

productores por el desconocimiento de medidas que permitan un manejo eficiente del recurso hídrico, en cada una de las fincas. (Zapatta y Mena,2013; Gaybor, 2013)

En consecuencia, es necesario primero conocer el estado actual de la demanda y oferta del distrito de riego, cuantificar los déficits de agua y ofrecer e implementar las medidas necesarias de prevención y control sobre el recurso agua que está siendo afectado por factores como el cambio climático para así poder tener las herramientas necesarias que permitan proponer medidas de mitigación, prevención y control sobre este recurso tan importante. (Koch, I.C., Vogel, C. and Patel, Z. 2007)

Se requiere realizar planes estratégicos, de mitigación y de acompañamiento a las comunidades, con el fin de educar, acompañar y transmitir información respecto los problemas aunados a la falta de agua en procesos productivos, ya que es el recurso vital para lograr rendimientos óptimos en cosechas y así mismo, mejorar la calidad de vida de los núcleos familiares dedicados a actividades agropecuarias.

Se busca con esta investigación, trascender en metodologías complementarias para los distritos de riego, que permitan garantizar el servicio de agua con procesos eficientes de uso y conservación y así, disminuir los impactos ambientales, económicos y sociales que se puedan generar debido al notable cambio climático que afecta el planeta.

3. MARCO TEORICO

3.1 REFERENTE TEORICO

El agua es el recurso natural renovable más importante y fundamental para la vida (UNESCO, 2003) además es estratégico para la competitividad, el crecimiento económico, y bienestar de la sociedad.

Con el fin de asegurar la repartición eficiente del recurso hídrico y reducir los conflictos por este uso; es fundamental el fortalecimiento de la planificación integral del recurso hídrico y mejorar el conocimiento del mismo. Esto es aún más importante en escenarios de incertidumbre que se generan por el cambio climático actual. (Lloret, 2002; Mejia Mendoza, 2016)

Dentro de las causas de los conflictos asociados al agua más comunes; se presentan la afectación de su calidad asociada generalmente, al desarrollo de actividades económicas, la presencia de centros poblados no planificados y a procesos erosivos de la naturaleza; de otra parte, los conflictos que se presentan por la cantidad de agua tienen diferentes causas, dentro de ellas el uso eficiente del recurso hídrico por parte de sectores económicos, las condiciones de la cuenca, como por ejemplo, cauces intermitentes, la captación ilegal del agua, y el reparto inequitativo. (Velásquez, 2009)

De acuerdo a lo anterior, el uso eficiente del agua de riego implica entre otros, caracterizar la demanda del agua (cualificar y cuantificar) para los diversos cultivos y analizar los consumos

con el fin de emprender acciones dirigidas hacia cambios que optimicen su uso, así como a la promoción de prácticas que permitan favorecer la sostenibilidad de los ecosistemas y la optimización del uso del agua evitando los desperdicios. (Allen et al., 2006) y (Brouwer & Heibloem, 1986)

3.1.1 Cambio Climático

Este fenómeno causado por el calentamiento global del planeta trae consecuencias como afectación en la masa de hielo de los polos, conllevando al aumento del nivel del mar, además de afectación directa sobre la fauna existente en los polos. Este cambio climático hace que los fenómenos climatológicos cada vez sean más violentos y prolongados como es el caso de sequías, incendios forestales desbordamiento de ríos y lagos que a su vez trasciende en las especies animales, vegetales y humanas. (Montealegre, 2002)

Así las cosas, el cambio climático en el siglo XXI, es el mayor desafío de la humanidad para alcanzar un desarrollo sostenible, implicando el esfuerzo conjunto y simultaneo de todos los actores con el fin de adaptarse a las nuevas condiciones del clima que se está generando y así poder mitigar los efectos de gases de invernadero. De acuerdo a lo anterior, existen muchas opiniones sobre la relación directa entre el cambio climático y las actividades agrícolas, que afectan directamente los índices de pobreza en el mundo entero. (Ojeda-Bustamante, 2011)

La evidencia muestra que el cambio climático tiene una especial incidencia en las actividades agrícolas (Cline, 2007; Hartel y Rosch, 2010), es decir, que existe una relación entre la temperatura y la precipitación que afecta la productividad de los agricultores que conllevaría a pérdidas de los productos agrícolas.

Esta relación entre cambio climático, crecimiento agrícola y su relación directa con el aumento de la pobreza, se puede evidenciar mucho más en países en desarrollo como los situados en América Latina y esta situación se concentra más en las áreas rurales. (Byerlee, Diao y Jackson, (2005)

Teniendo en cuenta los Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM, año 2000); que establece en uno de sus objetivos “Asegurar agua para todos de manera sostenible”, en la cual se citan las metas que corresponden a:

- a) Acceso universal a agua potable segura, saneamiento e higiene, mejorando la calidad del agua y elevando el nivel del servicio
- b) Uso y desarrollo sostenible de los recursos hídricos, aumentando y compartiendo los beneficios disponibles,
- c) Gobernabilidad del agua robusta y efectiva con más instituciones y sistemas administrativos efectivos
- d) Calidad del agua mejorada y gestión de las aguas residuales teniendo en cuenta las limitaciones medioambientales
- e) Reducción de riesgos de desastres naturales producidos por el agua protegiendo a los grupos vulnerables y minimizando las pérdidas económicas. (Departamento de Asuntos Económicos Sociales y de Naciones Unidas, 2014)

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario lograr tener herramientas sostenibles que generen cambios en el acceso y conservación de agua de manera sostenible para el sostenimiento de la agricultura en el próximo milenio, ya que están de la mano con las afectaciones del cambio climático global.

3.1.2 Demanda y oferta hídrica

3.1.2.1 Demanda hídrica:

Es la cantidad de agua que se requiere para suplir diferentes actividades socioeconómicas, estas pueden ser para uso doméstico, industrial, pecuario, bovino, equipo, avícola, entre otros.

(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2004).

La utilización del recurso implica la sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico, incluidos en este los sistemas de almacenamiento que limitan el aprovechamiento para usos compartidos u otros usos excluyentes. (BOCANEGRA, 2009). La utilización del agua se puede dividir en dos componentes:

1. El agua utilizada en la producción sectorial, en el consumo humano y en los ecosistemas no antrópicos (caudal ecológico y ambiental). La inclusión de este último componente se sustenta en la regulación establecida en el Decreto 3930 de 2010, que define el uso del agua en la preservación de flora y fauna, con la finalidad de mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres, y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos; y el uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje con fines estéticos. (Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1986)
2. El volumen de agua extraída no consumida.

3.1.2.2 Demanda hídrica total nacional

La demanda hídrica agregada total nacional, conforme a los sectores seleccionados, con inclusión del agua extraída no consumida, alcanzó en 2008 un orden de magnitud de 35.877 mm³

En la figura 1, se presentan los estimativos por sectores de la demanda por uso y su participación porcentual con respecto al total nacional. (Allen, G. R., L. Pereira, D. Raes, M. Smith. 2006)

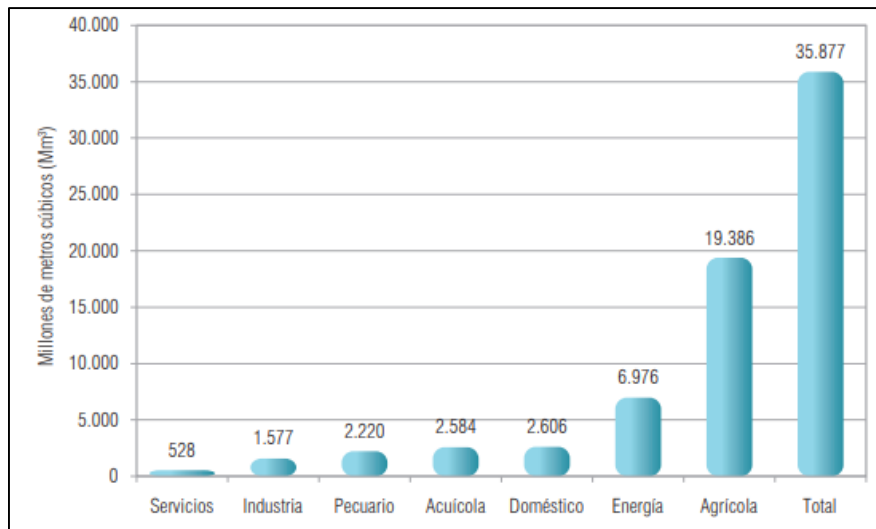


Figura 1. Demanda hídrica sectorial nacional

Fuente: IDEAM.2018

3.1.2.3 Demanda hídrica en el sector agrícola.

En el sector agrícola, el cálculo del uso del recurso hídrico se realiza a partir de dos componentes: a) la estimación del agua extraída con fines agrícolas, mediante la agregación del uso consuntivo y el agua extraída no consumida; y b) el valor agregado por consumo de agua en las actividades de poscosecha. Se excluyen de la medición de demanda agrícola las tierras en descanso (rastrajo, barbecho) y los pastos naturales, cuya demanda se satisface precipitación natural. (Yonts, D. C., D. E. Eisenhauer y D. Varner. 2003)

El uso del agua en la producción agrícola se establece en función de las necesidades de riego de los diferentes cultivos. Está referido a la cantidad de agua y al momento de su aplicación, a fin de alcanzar un equilibrio entre la cantidad de agua requerida por el cultivo, en compensación por la pérdida por evapotranspiración, y la precipitación efectiva. (Perry, C.J., 1996) Entonces, la

necesidad de riego representa la diferencia entre el requerimiento de agua del cultivo y la precipitación efectiva, más un componente de agua adicional por la falta de uniformidad o eficiencia en la aplicación de los sistemas de riego.

El primer cálculo que se necesita es el del uso consuntivo del cultivo. Este se obtiene aplicando el enfoque del coeficiente del cultivo, conforme a la metodología propuesta por la FAO, a partir del método de Penman-Monteith (Serie de Riego y Drenaje de la FAO, Nro. 56); en este, los efectos del tiempo atmosférico son incorporados en la ETp, y las características del cultivo y los efectos promedio de la evaporación del suelo en el coeficiente Kc.

$$ETc = Kc \times ETp$$

donde ETc: evapotranspiración del cultivo [mm d-1]

Kc: coeficiente del cultivo [adimensional]

ETp: evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d-1]

El Kc es básicamente el cociente entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETp); representa el efecto integrado de cuatro características principales que diferencian a un cultivo en particular del cultivo de referencia (pasto).

La Evapotranspiración potencial es el conjunto de pérdidas de evaporación y transpiración de las plantas del suelo medidas en vapor de agua. (De Wit, C.T. and J. Goudriaan. 1978). Depende de varios factores entre estos se pueden encontrar:

1. Orden climático: Temperatura, radiación, humedad relativa, recorrido del viento, brillo solar.
2. Plantas: Cubierta vegetal
3. Edáficos: Tipo de suelo, estado de humedad del suelo

La variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva, es necesario conocer tres valores de K_c : 1) los correspondientes a la etapa inicial ($K_{c\text{ ini}}$), 2) la etapa de mediados de temporada ($K_{c\text{ med}}$) y 3) la etapa final ($K_{c\text{ fin}}$) del cultivo. (Raes, 2009)

Figura 3. Curva del coeficiente del cultivo.

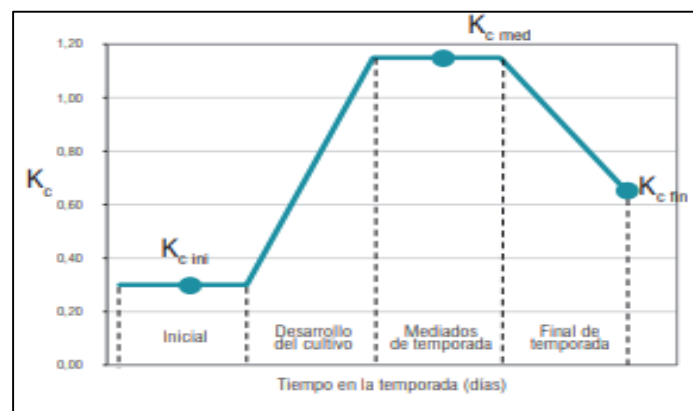


Figura 2. Curva del coeficiente del cultivo.

Fuente: FAO 2006.

Una vez calculado el uso consuntivo, se establece la precipitación efectiva, que es la precipitación final al descontar el valor de infiltración y evaporación. Se obtiene multiplicando la precipitación (mm) y el coeficiente de escorrentía. El coeficiente de escorrentía se obtiene como el cociente entre la escorrentía y la precipitación (ambas expresadas en altura de agua). (Allen, G. 2006). Esta operación estima el valor máximo de caudal de escorrentía provocado por lluvia

como el producto de la superficie de cuenca, un valor máximo de intensidad de lluvia y un factor de escorrentía.

Conociendo estos dos valores: uso consuntivo y precipitación efectiva, se establece el riego requerido o riego bruto. Esta muestra la cantidad de agua que se requiere para suplir los requerimientos de agua en las diferentes fases del cultivo. (Tubiello FN, J-F., SM., Soussana, Howden. 2007). Si el uso consuntivo es menor que la precipitación efectiva, no existe necesidad de riego ya que es suficiente la precipitación. Por el contrario, si el uso consuntivo es mayor o igual a uno (≥ 1), entonces es necesario hacer uso de sistemas de riego.

3.1.3 Oferta hídrica

Se considera oferta hídrica al volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas en la cuenca. La estimación de la oferta hídrica tiene como base la dinámica y los procesos que se dan en el ciclo hidrológico (relación agua, planta suelo), que determinan en un espacio y un período dado la disponibilidad del recurso agua para los requerimientos de las actividades antrópicas. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2004)

Según la resolución 0865 de Julio 22 de 2004 en cumplimiento del artículo 21 del Decreto 155 de 2004, mediante la cual el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial adoptó la metodología establecida por el IDEAM para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales, el caudal medio anual de la corriente es la oferta hídrica de esa cuenca.

La oferta hídrica superficial se refiere al volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo, se cuantifica a través de la escorrentía y rendimientos hídricos ($l/s - km^2$) en las unidades espaciales de análisis definidas en la zonificación hidrográfica de Colombia, clasificada en tres niveles; áreas, zonas y subzonas hidrográficas. Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo, se estima un rendimiento hídrico a nivel nacional de $56 l/s - km^2$ que supera el rendimiento promedio mundial ($10 l/s - km^2$) y el rendimiento de Latinoamérica ($21 l/s - km^2$). (IDEAM, 2014). (Wit De, C.T. and J. Goudriaan. 1978)

A nivel nacional el país se encuentra dividido en cinco áreas hidrográficas: Caribe, Pacífico, Magdalena-Cauca, Orinoco y Amazonas, 41 zonas hidrográficas y 316 subzonas hidrográficas.

Del volumen total anual de precipitación, el 62% se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de $63.789 m^3/s$, correspondiente a un volumen de $2.025 km^3$ al año. Se asume a la escorrentía superficial como la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje para un intervalo de tiempo dado.

De los $63.789 m^3/s$ de escorrentía superficial de Colombia, la cuenca Magdalena-Cauca contribuye con el 14% ($8.595 m^3/s$), la Amazonia con 37% ($23.626 m^3/s$), la Orinoquia con 26% ($16.789 m^3/s$), el Caribe –incluida la cuenca del río Catatumbo– contribuye con el 9% ($5.799 m^3/s$) y el Pacífico aporta el 14% ($8.980 m^3/s$). (IDEAM, 2014)

Para el cálculo de la oferta hídrica superficial, la “metodología de cálculo del índice de escasez”, propuesta por el IDEAM, presenta como alternativa de solución la metodología “relación lluvia escorrentía” o metodología del número de curva, la cual se utilizará en el presente proyecto con

el fin de calcular la oferta hídrica del río Curiaco, con el fin de determinar si es suficiente para el abastecimiento de agua del Distrito de adecuación de tierras Asosantana.

3.2 ANTECEDENTES

3.2.1 Adaptación de la Agricultura de Riego Mundial ante el Cambio Climático

La agricultura bajo condiciones de riego; ha mostrado una tendencia hacia el uso intensivo de insumos agrícolas y semillas mejoradas lo que permite mantener un rendimiento alto en diferentes cultivos en las últimas décadas. Por ejemplo, el rendimiento promedio de maíz en los distritos de riego en México; presenta un incremento anual promedio de 170 kg/ha en los últimos 30 años, en una superficie en crecimientos de cerca de 300 mil hectáreas. El mayor incremento de la superficie dedicada de maíz de riego se ha presentado en el estado de Sinaloa, donde casi el 65% de la superficie sembrada se dedica al maíz. (Grimm, N., Faeth, S. 2008)

En regiones con condiciones climáticas extremas, temperaturas elevadas y poca pluviosidad, como lo es la región de Madagascar, Israel y África, entre otros, y frente a los recientes cambios climáticos, las familias rurales están cada vez son más vulnerables ya que la falta de fertilidad de las tierras limitan la actividad agrícola. En un proyecto experimental en la zona de Madagascar llevada durante 3 años, se ha demostrado la importancia de la utilidad de sistemas de riego por goteo a bajo costo, en donde encontraron los siguientes beneficios para sus habitantes (Moser, C. and Satterthwaite, D. (2008)

- Ahorro de agua de 52 %, de tiempo de 27 %, de producción de 52 %
- Incremento de los ingresos de 135%

Con medidas de mitigación y adaptación al cambio climático; se puede asegurar sosteniblemente las producciones frente a déficits pluviométricos extremos, mejorar la eficiencia del uso del agua, la productividad agrícola, la fertilidad de los suelos y transmitir prácticas agrícolas que favorecen la adaptación de los productores frente al cambio climático. Dentro de las medidas adoptadas para estas regiones; están la adaptación a kits de riego localizado, creación de parcelas de experimentación para microriego y formación en educación ambiental y agrícola con directrices hacia mitigación de problemas producto del cambio climático. (OECD. 2009)

De igual forma, en el planeta, existe una alta preocupación, en el que los efectos del cambio climático podrían aumentar el estrés a los sistemas de producción agrícola, y como consecuencia; la productividad de los cultivos podría disminuir a niveles críticos, poniendo a prueba la sostenibilidad de la agricultura en varias regiones agrícolas. (IFRC. 2009)

La sociedad y en especial las comunidades productivas, pueden intervenir para disminuir el impacto del cambio climático a través de la mitigación y la adaptación. La vulnerabilidad de un sistema de producción agrícola depende directamente de su grado de exposición ante una posible situación que la pueda desestabilizar, ya sea por el cambio de una variable climática y el grado de sensibilidad de este sistema para que pueda responder a los cambios repentinos del entorno actual, acorde a sus condiciones socioeconómicas (Ojeda, et al., 2010). Estimar este grado de afectación de los sistemas productivos, depende de la posibilidad de realizar adaptaciones autónomas y de las políticas de adaptación planificadas promovidas desde los gobiernos u organizaciones privadas, públicas y desde la misma sociedad. (Koch, I.C., Vogel, C. and Patel, Z. 2007)

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales del cambio climático sobre los sistemas productivos del distrito de riego Santana del municipio de La Florida, departamento de Nariño.

4.1 Objetivos específicos

1. Determinar los impactos ambientales del cambio climático sobre los sistemas productivos en la zona de estudio.
2. Evaluar los impactos económicos en la zona productiva del distrito de riego Santana.
3. Estimar los impactos sociales que afectan a los productores pertenecientes al distrito de riego Santana.

5. METODOLOGIA

5.1 TIPO DE ESTUDIO

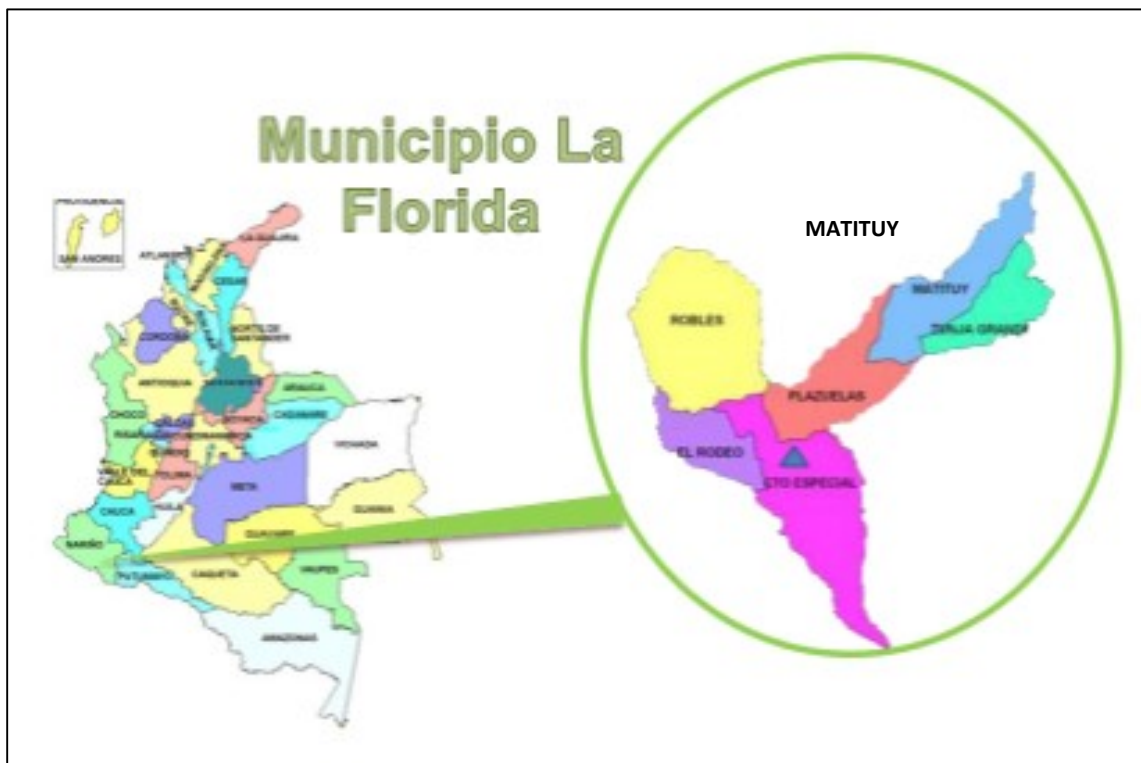
La investigación es de tipo cuantitativa ya que se analizan datos con el fin de probar la afectación del cambio climático en la demanda y oferta de agua en el distrito de riego, analizando las consecuencias económicas, sociales y ambientales en los usuarios. De igual manera teniendo en cuenta el apoyo de los agricultores, la investigación puede tener un enfoque cualitativo, ya que se recogerán las perspectivas de las personas que dependen del sistema de riego.

El diseño de la investigación es preexperimental, ya que se miden variables climatológicas a través de un histórico de 10 años, aunado a análisis productivos para determinar las consecuencias económicas y sociales en la población objeto.

5.2 LOCALIZACION Y ZONA DE ESTUDIO

El Corregimiento de Matituy está ubicado al oriente del Departamento de Nariño a 28 kms. de la ciudad de Pasto, colinda al norte con el Aeropuerto Antonio Nariño, al sur con la Vereda San Francisco bajo y Vereda Granadillo, al oriente con la Vereda Pescador y al occidente con el Cerro de la Espada. (Alcaldía municipal de La Florida. Plan de ordenamiento territorial. 2014)

Figura 3. Ubicación del corregimiento de Matituy, municipio de La Florida. Departamento de Nariño.



Fuente: Conoce La Florida.2015.

La zona de estudio se encuentra delimitada por el distrito de riego Asosantana, que comprende la vereda Santana, conformada por 120 hectáreas de propiedad de los usuarios de la asociación que lleva el mismo nombre.

5.3 POBLACION Y MUESTRA

La población de la investigación “Impactos económicos, ambientales y sociales del cambio climático sobre los sistemas productivos del distrito de riego Santana del municipio de la Florida, departamento de Nariño.”, serán los usuarios asociados al distrito ubicados en el corregimiento de Matituy, en donde se encuentra operando el mencionado distrito.

En la fase correspondiente a las encuestas, se hará una realización de muestreo por conveniencia y priorizando a aquellos agricultores que han cambiado recientemente el uso de suelo de su finca o que tengan diferentes actividades agropecuarias diferentes a la del café.

5.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

La investigación está enfocada a evaluar los impactos sociales, ambientales y económicos en los productores del distrito, debido al cambio climático, por lo tanto, se plantean realizar diferentes fases para cumplir con los objetivos propuestos.

5.4.1 FASE 1. Recopilación de información

5.4.1.1 Análisis climatológico.

En esta fase, inicia con la recolección de datos de IDEAM para modelamiento en CROPWAT y realización de balance hídrico para obtención de la demanda de agua en los cultivos.

Paralelamente se hará un análisis hidrológico de la cuenca con el fin de obtener datos de oferta de agua, utilizando la metodología del servicio de conservación de suelos de USA, para hacer modelos lluvia – escorrentía, que permitan obtener caudales medios, máximos y mínimo de la quebrada Curiaco, fuente abastecedora del distrito.

El Cropwat es un programa informático de la FAO para el **cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos**. Consiste en calcular los turnos, caudales y tiempos de riego basándose en las necesidades de agua del cultivo que viene determinado por el tipo de suelo, clima y cultivo.

Igualmente es una herramienta que permite el cálculo de la evapotranspiración de referencia, útil para realizar el balance hídrico del distrito de riego.

La evapotranspiración de referencia (ET₀), se calcula con el método de Penman-Monteith; Allen et al. (1998) hacen una presentación detallada y es el que utiliza el programa. Debido que está basada en principios físicos, realiza una estimación más aproximada, que los métodos empíricos (Jones y Tardieu, 1998).

Los datos climatológicos que requiere el programa son los siguientes: a) información básica de la estación meteorológica: nombre del país, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud; y b) datos climáticos mensuales de: precipitación (p), temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, insolación (horas brillo sol) y velocidad del viento.

Para el cálculo de la precipitación efectiva (PE) el programa presenta cuatro opciones (un porcentaje fijo de precipitación, precipitación probable a una probabilidad 80% de excedencia, métodos empíricos desarrollados localmente y el método del servicio de conservación de suelo del USDA). Los procedimientos para calcular las necesidades de agua de los cultivos y las necesidades de riego son las que se presentan en Doorenbos y Pruitt (1980); Doorenbos y Kassam (1980).

5.4.2 FASE 2. Desarrollo de entrevistas

Se hará un modelo de entrevistas, con el fin de conocer el estado actual de la producción en el distrito, enfocado a:

- Uso actual del suelo
- Costo promedio de siembra
- Rendimientos financieros en las fincas
- Cantidad de agua requerida
- Manejo del distrito de riego
- Problemas e inconvenientes presentados en épocas de sequía

5.4.3 FASE 3. Determinación de oferta y demanda hídrica

Con la información recolectada anteriormente, se procederá a sistematizar los resultados para cálculo de oferta y demanda hídrica.

La oferta hídrica superficial se refiere al volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo, se cuantifica a través de la escorrentía y rendimientos hídricos ($l/s - km^2$) en las unidades espaciales de análisis definidas en la zonificación hidrográfica de Colombia, clasificada en tres niveles; áreas, zonas y subzonas hidrográficas. Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo, se estima un rendimiento hídrico a nivel nacional de $56 l/s-km^2$ que supera el rendimiento promedio mundial ($10 l/s-km^2$) y el rendimiento de Latinoamérica ($21 l/s-km^2$). (IDEAM, 2014)

Para la presente investigación se realizara el cálculo de oferta hídrica, mediante un modelo de relación lluvia escorrentía, con la aplicación de la curva número, desarrollado por el servicio de conservación de suelos de USA, el cual combina información de suelos, para obtener un índice o valor numérico que se aplica a las precipitaciones, y así obtener un volumen de agua superficial que transita sobre el cauce del río o quebrada hasta la desembocadura.

El número de curva es un parámetro adimensional con valores entre 0 y 100, donde 0 indica un 0% de escurrimiento, es decir que toda la entrada de agua a la cuenca por precipitación se infiltra en el suelo; mientras que un valor de 100, traduce 100% de escurrimiento y 0% de infiltración por precipitaciones, como sucede sobre los cuerpos de agua, donde la precipitación se convierte directamente en escorrentía, Ferrér et al [2].

La demanda de agua se hará mediante el cálculo de balance hídrico directo, teniendo en cuenta los usos consuntivos del distrito, además de la información climatológica procesada. En este balance hídrico se espera resultados de cantidad de agua necesario para el sostenimiento de 120 hectáreas de cultivos y el dato primordial sería el del módulo de riego a nivel decadal.

5.4.4 FASE 4. Argumentación y efectos del cambio climático

Teniendo en cuenta los resultados anteriormente obtenidos, se determinará las tendencias y variables de temperatura y precipitación, a fin de conocer los cambios climáticos ocurridos en la región en los últimos 10 años.

Comparando esta información con la obtenida por los agricultores, se espera tener una percepción general de los impactos sociales, ambientales y económicos que están surgiendo en el distrito de riego y que afectan el normal desarrollo de las actividades productivas de los asociados.

5.4.5 FASE 5. Formulación de estrategias de mitigación

En esta última fase, se hará una revisión bibliográfica general en la cual se revisará estrategias implementadas en el mundo, para usos eficientes de agua de riego y que permitan a los agricultores obtener mejores producciones en sus fincas, mitigando los efectos del clima y adaptándose a los cambios recientes en el territorio.

De igual forma, se espera tener resultados cuantitativos de la cantidad de agua que actualmente demanda el distrito, además de la oferta de la cuenca, con el fin de pronosticar si esta fuente de agua puede abastecer el sistema en los años venideros.

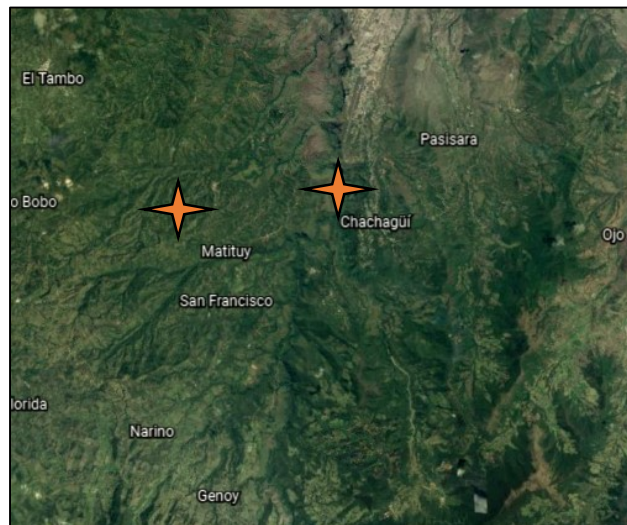
5.4.6 TECNICAS E INSTRUMENTOS

- ***Climatología:*** Con el fin de analizar la demanda y oferta de agua de riego, se solicitará al IDEAM datos meteorológicos de la estación Chachagui. Se requieren a nivel mensual por un periodo de 10 años, datos de temperatura, precipitación, brillo solar, humedad relativa, velocidad del viento y recorrido del viento, con el fin de realizar el balance hídrico del distrito.
- ***Condiciones socioeconómicas de los productores:*** Se realizarán encuestas estructuradas para cuantificar la percepción de los agricultores del distrito en cuanto a las afectaciones que evidencian en los cultivos, producto del cambio climático de la región.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Recolección de datos de Climatología: Con el fin de analizar la demanda y oferta de agua de riego, se solicitará al IDEAM datos meteorológicos de la estación Chachagui. Se requieren a nivel mensual por un periodo de 10 años, datos de temperatura, precipitación, brillo solar, humedad relativa, velocidad del viento y recorrido del viento, con el fin de realizar el balance hídrico del distrito.

Figura 4. Ubicación de la estación meteorológica Chachagui, comparada con la ubicación del proyecto, corregimiento de Matituy.



Fuente: Google Earth.2022

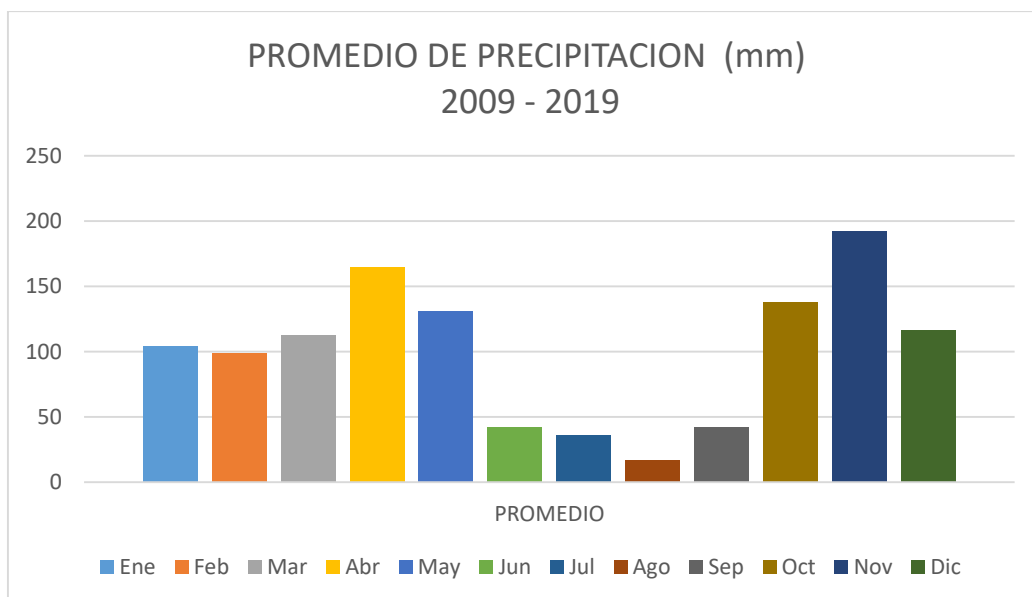
Como se puede observar en la imagen anterior, la estación meteorológica se encuentra cercana a la zona de estudio del proyecto, y guardan las mismas condiciones climatológicas, lo que permite un análisis detallado y certero del objeto del proyecto que influyen en el cambio climático en el distrito de riego Asosantana.

La información climatológica se puede solicitar vía internet, por lo cual se realizó el respectivo trámite ante el IDEAM encontrando la siguiente información (ANEXO 1. Datos meteorológicos Ideam):

1. **Precipitación (p):** Datos promedios mensuales años 2009 -2019,
2. **Temperatura máxima, mínima:** Datos promedio diarios años 2009 -2019
3. **Humedad relativa:** En la estación meteorológica de Chachagui, no existen datos de humedad relativa, por lo cual se tomó un estudio de Climatología aeronáutica aeródromo Antonio Nariño skps – Pasto Colombia 2013, ubicado en Chachagui.
4. **Insolación (horas brillo sol):** Datos promedios mensuales años 2009 -2019.
5. **Velocidad del viento:** Datos promedios mensuales años 2009 -2014. El IDEAM no tiene datos de los años 2015 al 2019, por lo cual se hará el análisis hasta el año 2014.

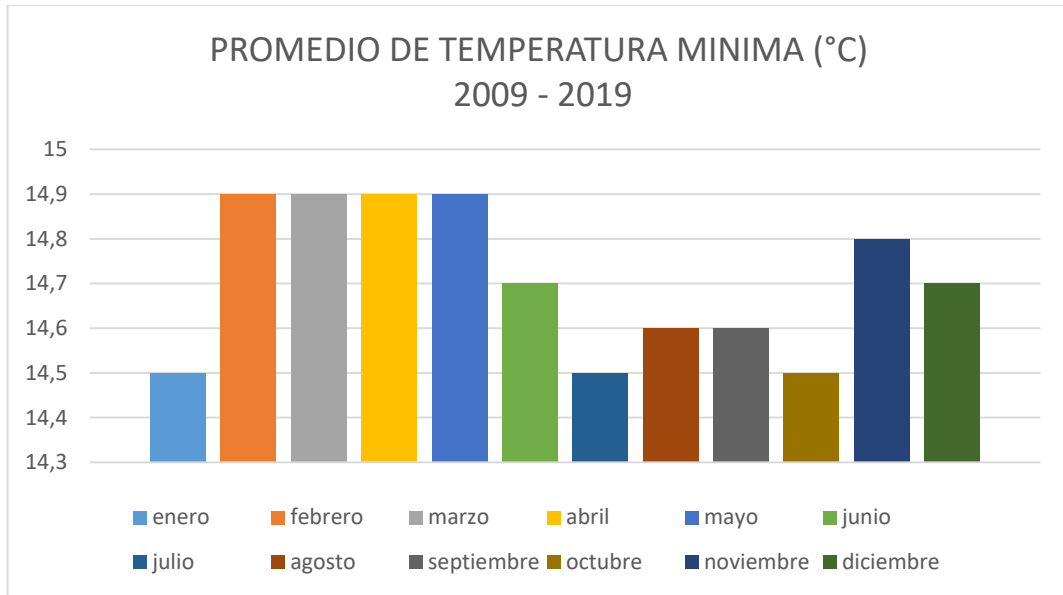
A continuación, en las Figuras 1 a 6, se presentan los datos procesados de cada uno de los parámetros anteriormente citados:

Figura 5. Datos de precipitación mensual promediados de los años 2009 a 2019. Estación meteorológica Chachagui, Departamento de Nariño.



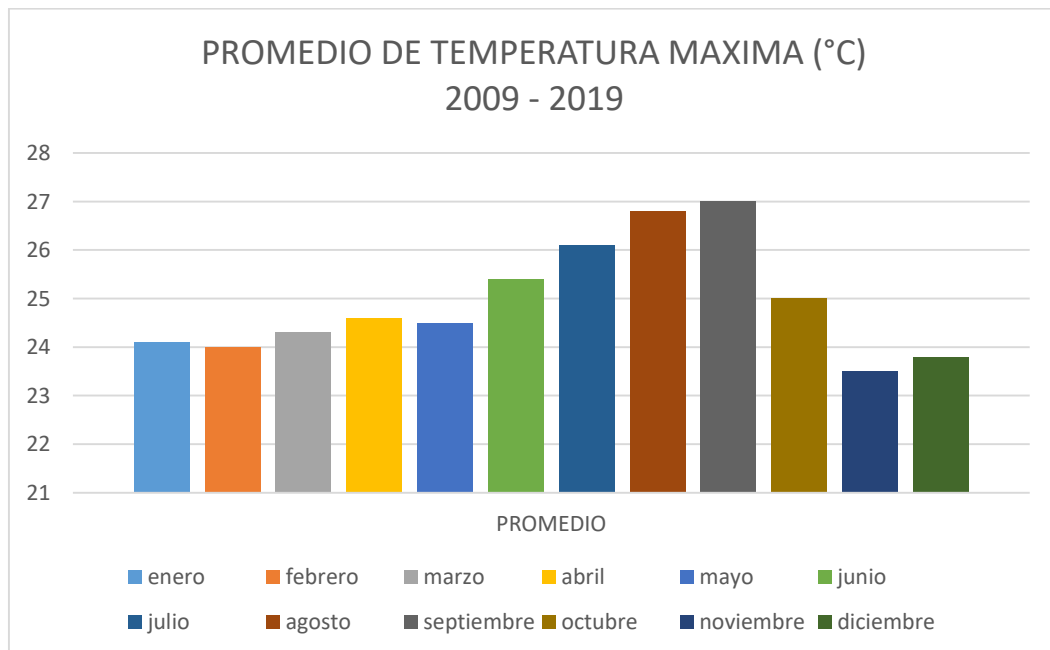
Fuente: IDEAM, 2019

Figura 6. Temperatura mínima promedio de los años 2009 a 2019. Estación meteorológica Chachagui –
Departamento de Nariño



Fuente: IDEAM, 2019

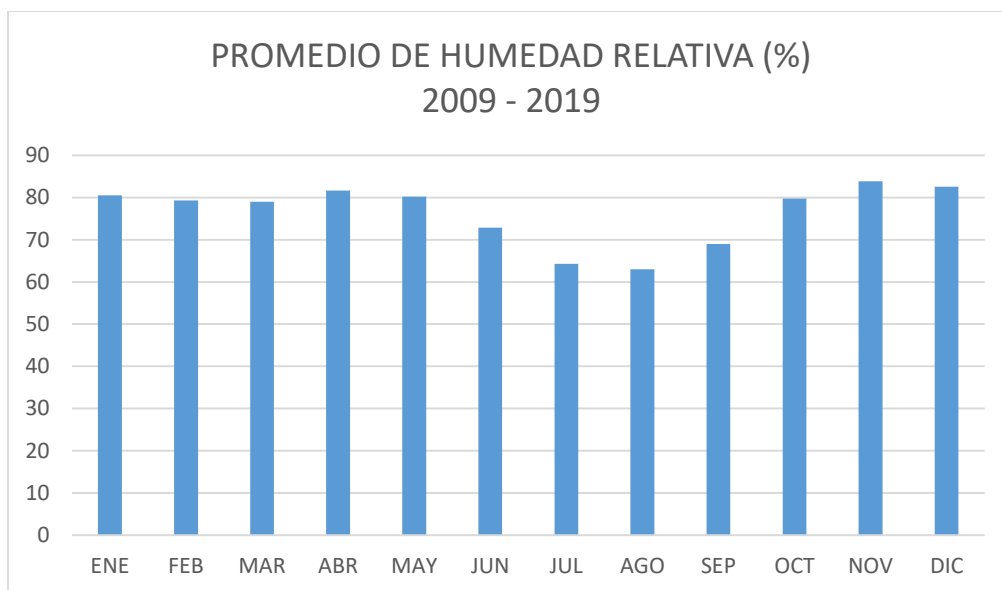
Figura 7. Temperatura Máxima promedio de los años 2009 a 2019. Estación meteorológica Chachagui –
Departamento de Nariño



Fuente: IDEAM, 2019

Figura 8. Humedad Relativa promedio de los años 2009 a 2019. Estación meteorológica Chachagui –

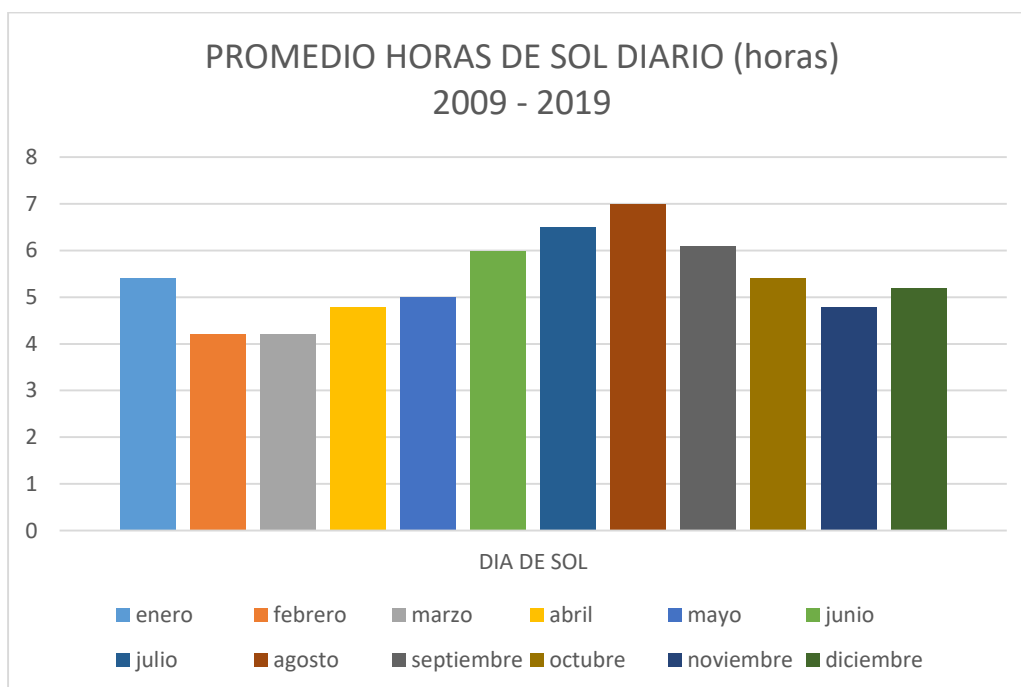
Departamento de Nariño



Fuente: IDEAM, 2019

Figura 9. Brillo Solar promedio de los años 2009 a 2019. Estación meteorológica Chachagui –

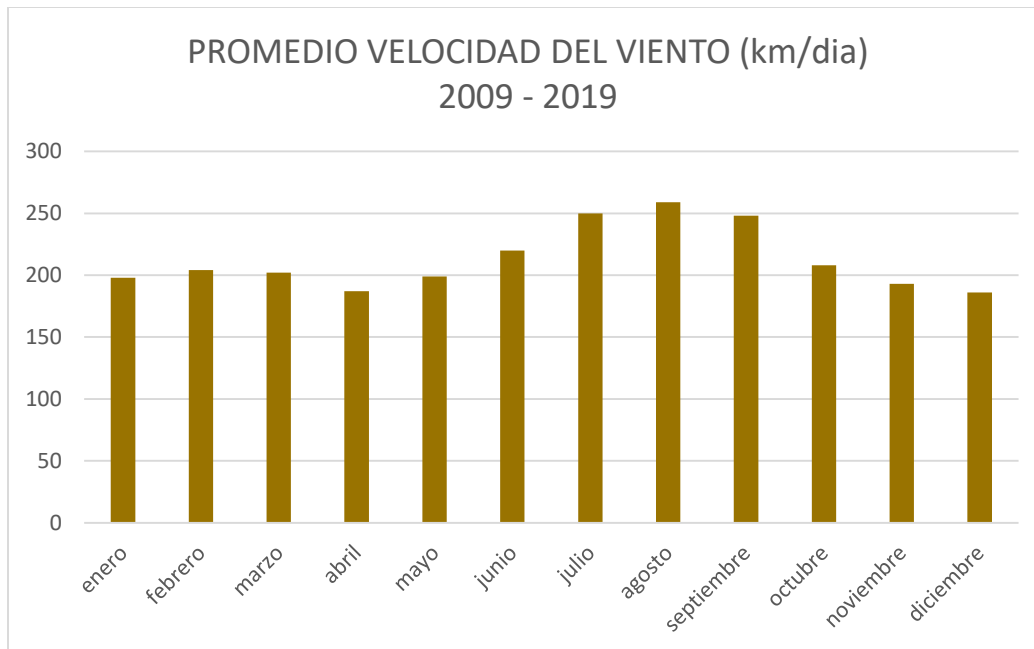
Departamento de Nariño



Fuente: IDEAM, 2019

Figura 10. Velocidad del Viento promedio de los años 2009 a 2019. Estación meteorológica Chachagui –

Departamento de Nariño



Fuente: IDEAM, 2019

6.2 OBTENCION DE LA DEMANDA HIDRICA DEL DISTRITO

El procesamiento de la información climatológica se realizó con los siguientes software, todos de acceso libre:

- Cropwat de la FAO
- Excel
- Arcgis
- Servicio de conservación de suelos de USDA.

Con el fin de obtener los cálculos de demanda, oferta y balance hídrico del distrito, estos software cumplen con el objetivo de cálculo de las condiciones actuales en las que se está regando en el distrito.

En esta fase, se inicia con la recolección de datos de IDEAM para modelamiento en CROPWAT y realización de balance hídrico para obtención de la demanda de agua en los cultivos.

Paralelamente se hará un análisis hidrológico de la cuenca con el fin de obtener datos de oferta de agua, utilizando la metodología del servicio de conservación de suelos de USA, para hacer modelos lluvia – escorrentía, que permitan obtener caudales medios, máximos y mínimo de la quebrada Curiaco, fuente abastecedora del distrito.

El Cropwat es un programa informático de la FAO para el **cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos**. Consiste en calcular los turnos, caudales y tiempos de riego basándose en las necesidades de agua del cultivo que viene determinado por el tipo de suelo, clima y cultivo. Igualmente es una herramienta que permite el cálculo de la evapotranspiración de referencia, útil para realizar el balance hídrico del distrito de riego.

La evapotranspiración de referencia (ET₀), se calcula con el método de Penman-Monteith; Allen et al. (1998) hacen una presentación detallada y es el que utiliza el programa. Debido que está basada en principios físicos, realiza una estimación más aproximada, que los métodos empíricos (Jones y Tardiue, 1998).

Los datos climatológicos que requiere el programa son los siguientes: a) información básica de la estación meteorológica: nombre del país, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud; y b) datos climáticos mensuales de: precipitación (p), temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, insolación (horas brillo sol) y velocidad del viento.

Para el cálculo de la precipitación efectiva (PE) el programa presenta cuatro opciones (un porcentaje fijo de precipitación, precipitación probable a una probabilidad 80% de excedencia, métodos empíricos desarrollados localmente y el método del servicio de conservación de suelo del USDA). Los procedimientos para calcular las necesidades de agua de los cultivos y las necesidades de riego son las que se presentan en Doorenbos y Pruitt (1980); Doorenbos y Kassam (1980).

Con los datos recolectados y procesados en el IDEAM, se procede a realizar la obtención de la Evapotranspiración potencial con la modelación en el software CROPWAT de la FAO:

Tabla 1. Resultados obtenidos de ETo. Estación Chachagui, Periodo 2009 a 2019.

| Eto - Penman - Monteith Mensual | | | | | | | |
|--|-----------------|------------------------|----------------|---------------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Pais : Colombia | | | | | | Estacion: Chachagui | |
| Altitud: 1950 m | | Latitud: 1,20 N | | | | Longitud : 77,30 E | |
| Mes | Temp Min | Temp Max | Humedad | Viento | Insolacion | Rad | Eto |
| | °C | °C | % | km/dia | horas | MJ/m2/dia | mm/dia |
| Enero | 14,5 | 24,1 | 81 | 198 | 5,4 | 17,0 | 3,40 |
| Febrero | 14,9 | 24,0 | 79 | 204 | 4,2 | 15,8 | 3,35 |
| Marzo | 14,9 | 24,3 | 70 | 202 | 4,2 | 16,0 | 3,42 |
| Abril | 14,9 | 24,6 | 82 | 187 | 4,8 | 16,6 | 3,39 |
| Mayo | 14,9 | 24,5 | 80 | 199 | 5,0 | 16,1 | 3,34 |
| Junio | 14,7 | 25,4 | 73 | 220 | 6,0 | 17,0 | 3,74 |
| Julio | 14,5 | 26,1 | 64 | 250 | 6,5 | 17,9 | 4,33 |
| Agosto | 14,6 | 26,8 | 63 | 259 | 7,0 | 19,5 | 4,72 |
| Septiembre | 14,6 | 27,0 | 69 | 248 | 6,1 | 18,8 | 4,46 |
| Octubre | 14,5 | 25,0 | 80 | 208 | 5,4 | 17,6 | 3,66 |
| Noviembre | 14,8 | 23,5 | 84 | 193 | 4,8 | 16,2 | 3,17 |
| Diciembre | 14,7 | 23,8 | 83 | 186 | 5,2 | 16,4 | 3,22 |
| Promedio | 14,7 | 24,9 | 76 | 213 | 5,4 | 17,1 | 3,68 |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

6.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación se define como cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad.

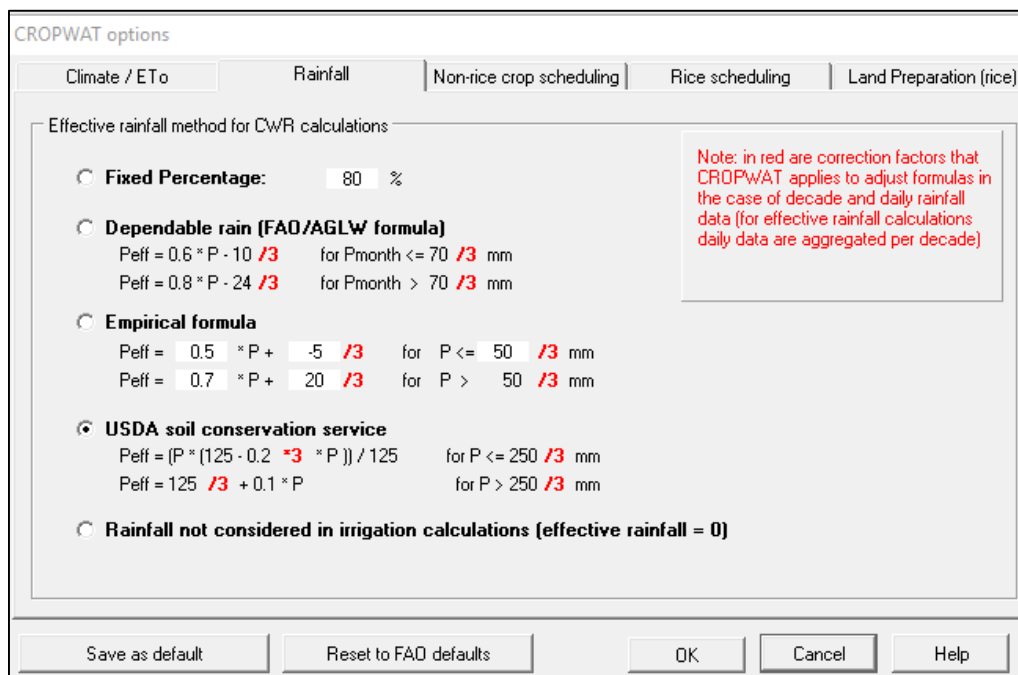
Para el análisis de la precipitación se utilizó la información meteorológica de la estación Chachagui, operada por el IDEAM, ubicada a una altura sobre el nivel del mar de 1950m, en la Latitud 1,4 N y una Longitud de 72 ,30 W, para un periodo de 10 años.

6.3.1 PRECIPITACION EFECTIVA

La precipitación efectiva se denomina como aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración.

Para el cálculo de la precipitación efectiva, se utilizó el software CROPWAT de la FAO utilizando el servicio de conservación de suelos USDA; los datos de entrada para el programa son los mostrados, en el siguiente pantallazo:

Figura 11. Datos de entrada para precipitación efectiva método USDA



. Fuente: Santos R., C. S., 2022

Tabla 2. Resultados de Precipitación efectiva por el método de USDA.

Estación Chachagui, 2009 a 2019.

| Precipitación mensual | | |
|-----------------------|---------------|---------------------------------|
| Estacion: Chachagui | | Método Prec Ef: Metodo USDA S.C |
| Mes | Precipitacion | Precipitacion Efectiva |
| | mm | mm |
| Enero | 104,0 | 86,7 |
| Febrero | 98,6 | 83 |
| Marzo | 112,5 | 92,3 |
| Abril | 165,0 | 121,4 |
| Mayo | 130,6 | 103,3 |
| Junio | 42,1 | 39,3 |
| Julio | 35,5 | 33,5 |
| Agosto | 16,9 | 16,4 |
| Septiembre | 42,0 | 39,2 |
| Octubre | 137,7 | 107,4 |
| Noviembre | 191,8 | 132,9 |
| Diciembre | 116,7 | 94,9 |
| Total | 1193,4 | 950,3 |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

6.4 BALANCE HIDRICO – CALCULO DE LA DEMANDA DEL DISTRITO

A partir de la evapotranspiración potencial y la precipitación efectiva, se calculó el balance hídrico para determinar la demanda del cultivo, que para el proyecto corresponden a café y aguacate, cultivadas en 95 hectáreas y 25 respectivamente. El cálculo del caudal de riego requerido es el siguiente:

Para el cultivo de café, en el mes de Agosto para el tercer decadal, el cálculo es el siguiente:

PRECIPITACION EFECTIVA (USDA) = **6,01 mm**

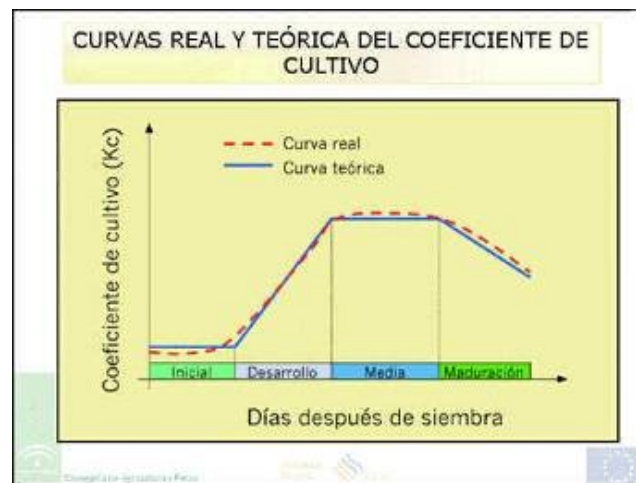
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL = **51,9 mm**

- COEFICIENTE DEL CULTIVO (Kc)

El coeficiente de cultivo (K_c) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

En los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo, tal como se muestran en la Figura 12:

Figura 6. Curvas Real y teórica del coeficiente del cultivo.



Fuente: <https://elriego.com/fundamentos-riego/>

- **INICIAL:** Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del suelo aproximadamente.
- **DESARROLLO:** Desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
- **MEDIA:** Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo.
- **MADURACIÓN:** Desde madurez hasta recolección.

Como se observa en la figura superior, K_c comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de K_c se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración.

Lo mejor es disponer de valores de Kc para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, para los cultivos de café y aguacate, el crecimiento y el rendimiento potencial está regulado por la vía metabólica utilizada para llevar a cabo la fotosíntesis y su relación con la respiración. A continuación, se presentan los Kc utilizados para la obtención de la demanda de agua en el distrito:

Tabla 3. Kc e diferentes cultivos, incluido el café.

| Cultivo | | Kc inicial | Kc medio | Kc final | Altura Max. Cultivo (h)(m) |
|------------------------------------|--------------------------------|------------|-------------|----------|----------------------------|
| Forrajes | | | | | |
| Alfalfa (heno) | Efecto promedio de los cortes | 0,40 | 0,95 | 0,90 | 0,7 |
| | Periodos individuales de corte | 0,40 | 1,20 | 1,15 | 0,7 |
| | Para semilla | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,7 |
| Bermuda (heno) | efecto promedio de los cortes | 0,55 | 1,00 | 0,85 | 0,35 |
| | cultivo para semilla | 0,35 | 0,90 | 0,65 | 0,4 |
| Trebol heno, Bersim | efecto promedio de los cortes | 0,40 | 0,90 | 0,85 | 0,6 |
| | periodos individuales de corte | 0,40 | 1,15 | 1,10 | 0,6 |
| Rye Grass (heno) | efecto promedio de los cortes | 0,95 | 1,05 | 1,00 | 0,3 |
| Pasto del Sudan (anual) | efecto promedio de los cortes | 0,50 | 0,90 | 0,85 | 1,2 |
| | periodos individuales de corte | 0,50 | 1,15 | 1,10 | 1,2 |
| Pastos de pastoreo | pastos de rotación | 0,40 | 0,85 - 1,05 | 0,85 | 0,15 - 0,30 |
| | pastoreo extensivo | 0,30 | 0,75 | 0,75 | 0,1 |
| Pastos (cespec, turfgrass) | época fría | 0,90 | 0,95 | 0,95 | 0,1 |
| | época caliente | 0,80 | 0,85 | 0,85 | 0,1 |
| Caña de azucar | | 0,40 | 1,25 | 0,75 | 3 |
| Frutas tropicales y árboles | | | | | |
| Banana | 1 año | 0,50 | 1,10 | 1,00 | 3 |
| | 2 año | 1,00 | 1,20 | 1,10 | 4 |
| Cacao | | 1,00 | 1,05 | 1,05 | 3 |
| Café | suelos sin cobertura | 0,90 | 0,95 | 0,95 | 2 - 3 |
| | con malezas | 1,05 | 1,10 | 1,10 | 2 - 3 |

Fuente: FAO 2015.

Para el cultivo de Aguacate en estudios realizados en California por Faber et al (1995), presenta los máximos rendimientos cuando se aplican láminas de agua equivalentes al 70% de ETo (Kc = 0,7), por lo cual este será el coeficiente a utilizar en el presente estudio.

6.4.1 USO CONSUNTIVO

Es el uso del agua que no se devuelve en forma inmediata al ciclo del agua. En agricultura, el uso consuntivo es el agua que se evapora del suelo, el agua que transpiran las plantas y el agua que constituye el tejido de las plantas. Es la cantidad de agua que debe aplicarse a un cultivo para que económicamente sea rentable, se expresa en mm/día. Para el cálculo del uso consuntivo se utiliza la siguiente expresión:

$$U_c = ETP \times K_c \quad (\text{Ecuación 1. Cálculo de Uso Consuntivo, } U_c)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial

K_c = Coeficiente del cultivo.

Para el caso del Aguacate en el tercer decadal del mes de Agosto este valor es de :

$$U_c = 51,9 \text{ mm} \times 0,92$$

$$U_c = 47,8 \text{ mm}$$

6.4.2 DEMANDA NETA

La demanda neta del cultivo se refiere a la diferencia existente entre la precipitación efectiva de la zona y el uso consuntivo del cultivo.

$$DN = \text{Precipitación efectiva} - U_c; \quad (\text{Ecuación 2. Cálculo de Demanda Neta, DN})$$

Cuando la precipitación efectiva es mayor que el uso consuntivo, el valor de la demanda neta es 0, es decir, no se necesita agua de riego ya que las lluvias suplen las necesidades de agua del cultivo.

La demanda neta siempre se expresa en valor absoluto positivo.

Para el cultivo de café en el tercer Decadal de Agosto el valor de la Demanda Neta es:

$$DN = 47,8 \text{ mm} - 6,01 \text{ mm}$$

$$DN = 41,75 \text{ mm}$$

6.4.3 EFICIENCIA

Las eficiencias futuras se estiman para una situación posterior a la ejecución del programa de actuación previsto para los regadíos existentes. El programa de actuación de los regadíos existentes tiene la doble dificultad de establecer un estado de conservación, del conjunto de los regadíos, variable en el tiempo, y fijar la superficie concreta a aplicar cada una de las actuaciones cuando la decisión pueda tener origen múltiple. Por todo ello se ha seguido el método siguiente:

- ✓ Las eficiencias de distribución y conducción se establecen a partir del ahorro de agua determinado en el plan de actuaciones establecido en los estudios de caracterización. (98%)
- ✓ La eficiencia de aplicación se relaciona y cuantifica con la conveniencia de cambios en los sistemas de riego estimada en los trabajos de caracterización. (90%)

6.4.4 DEMANDA BRUTA

Se obtiene para cada área mediante el cociente entre las necesidades de agua de los cultivos que integran las correspondientes alternativas y la eficiencia global (aplicación, distribución y conducción) estimada para la situación. Tal como se muestra en la Ecuación 3:

$$DB = \frac{DN}{EC * ED * EA}; \text{ (Ecuación 3. Calculo de Demanda Bruta, DB)}$$

Donde:

DB= Demanda bruta

EC = Eficiencia en conducción

ED = Eficiencia de distribución

EA = Eficiencia en aplicación.

Para el caso de café en el tercer decadal de Agosto, este valor corresponde a:

$$DB = \frac{41,75mm}{0,98 * 0,98 * 0,90};$$

$$DB = 48,3 \text{ mm}$$

6.4.5 JORNADA DE RIEGO

Para el proyecto en mención, se asume una jornada de riego de 18 horas de riego.

6.4.6 MODULO DE RIEGO

Este término se refiere al caudal requerido diario por hectárea sembrada del cultivo específico y se obtiene a partir de la Ecuación 4.:

$$Mr = \frac{DB / 10DIAS \times 10000}{JR \times 3600} \quad \text{(Ecuación 4. Calculo del Módulo de Riego, Mr)}$$

Donde:

Mr = Modulo de riego (lps/ha)

DB = Demanda Bruta (mm)

JR = Jornada de riego (días)

Para el cultivo de café en el tercer decadal de Agosto, el valor de módulo de riego es de:

Mr = 0,75 lps/Ha (Este valor es diario)

6.4.7 CAUDAL REQUERIDO

El caudal requerido es la máxima demanda de agua en el total de las hectáreas sembradas en el distrito, para café en el tercer decadal de Agosto es:

$Q_r = Mr * \# \text{ Has sembradas}$ **(Ecuación 5. Calculo del Caudal Requerido, Qr)**

$Q_r = 0,75 \text{ lps} * 95 \text{ Has}$

Qr = 70,8 lps

Caudal de diseño: 70,8 LPS

A continuación se presentan las tablas de los resultados anuales del cultivo de café en Matituy – Nariño, Distrito de riego Asosantana.

Tabla 4. Balance Hídrico Cultivo: Café – 95 hectáreas – Riego por aspersión

| Parámetros | Unidad | Valor decadal (36 décadas) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------------------------|------|------|---------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | (mm) | Enero | | | Febrero | | | Marzo | | | Abril | | | Mayo | | | Junio | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Precipitación | (mm) | 34,7 | 34,7 | 38,1 | 32,9 | 32,9 | 26,3 | 37,5 | 37,5 | 41,3 | 55,0 | 55,0 | 55,0 | 43,5 | 43,5 | 47,9 | 14,0 | 14,0 | 14,0 |
| Precipitación efectiva método USDA | (mm) | 28,9 | 28,9 | 31,8 | 27,7 | 27,7 | 22,1 | 30,8 | 30,8 | 33,8 | 40,5 | 40,5 | 40,5 | 34,4 | 34,4 | 37,9 | 13,1 | 13,1 | 13,1 |
| ETP (Evapotranspiración Potencial) | (mm) | 34,0 | 34,0 | 37,4 | 33,5 | 33,5 | 26,8 | 34,2 | 34,2 | 37,6 | 33,9 | 33,9 | 33,9 | 33,4 | 33,4 | 36,7 | 37,4 | 37,4 | 37,4 |
| Kc (Coeficiente de Cultivo) | | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Uc (Uso Consuntivo) | (mm) | 16,7 | 16,7 | 18,3 | 16,4 | 16,4 | 13,1 | 16,8 | 16,8 | 18,4 | 34,2 | 34,2 | 34,2 | 33,7 | 33,7 | 37,1 | 37,8 | 37,8 | 37,8 |
| Demanda Neta (Precipitación Efectiva - Uso Consuntivo) | (mm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 24,67 | 24,67 | 24,67 |
| Eficiencia | Conducción | % | | | | | | | | | | | | | | | 98 | 98 | 98 |
| | Distribución | % | | | | | | | | | | | | | | | 98 | 98 | 98 |
| | Aplicación | % | | | | | | | | | | | | | | | 90 | 90 | 90 |
| Demanda bruta | (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | 28,5 | 28,5 | 28,5 |
| Jornada de riego (diaria) | (h) | | | | | | | | | | | | | | | | 18,0 | 18,0 | 18,0 |
| Módulo de Riego (diario) | (lps/ha) | | | | | | | | | | | | | | | | 0,44 | 0,44 | 0,44 |
| Q requerido | (lps) | | | | | | | | | | | | | | | | 41,8 | 41,8 | 41,8 |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

Continuación. Tabla 4. Balance Hídrico Cultivo: Café – 95 hectáreas – Riego por aspersión

| Parámetros | Unidad | Valor decadal (36 décadas) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------|------|-------------|-------------|-------------|
| | (mm) | Julio | | | Agosto | | | Septiembre | | | Octubre | | | Noviembre | | | Diciembre | | |
| | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| Precipitación | (mm) | 11,8 | 11,8 | 13,0 | 5,6 | 5,6 | 6,2 | 14,0 | 14,0 | 14,0 | 45,9 | 45,9 | 50,5 | 63,9 | 63,9 | 63,9 | 38,9 | 38,9 | 42,8 |
| Precipitación efectiva método USDA | (mm) | 11,2 | 11,2 | 12,3 | 5,5 | 5,5 | 6,0 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 35,8 | 35,8 | 39,4 | 44,3 | 44,3 | 44,3 | 31,6 | 31,6 | 34,8 |
| ETP (Evapotranspiración Potencial) | (mm) | 43,3 | 43,3 | 47,6 | 47,2 | 47,2 | 51,9 | 44,6 | 44,6 | 44,6 | 36,6 | 36,6 | 40,3 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | 32,2 | 32,2 | 35,4 |
| Kc (Coeficiente de Cultivo) | | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Uc (Uso Consuntivo) | (mm) | 39,8 | 39,8 | 43,8 | 43,4 | 43,4 | 47,8 | 46,4 | 46,4 | 46,4 | 38,1 | 38,1 | 41,9 | 33,0 | 33,0 | 33,0 | 33,5 | 33,5 | 36,8 |
| Demanda Neta(Precipitación Efectiva - Uso Consuntivo) | (mm) | 28,7 | 28,7 | 31,5 | 38,0 | 38,0 | 41,8 | 33,3 | 33,3 | 33,3 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,9 | 1,9 | 2,0 |
| Eficiencia | Conducción | % | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | | | | 98 | 98 | 98 |
| | Distribución | % | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | | | | 98 | 98 | 98 |
| | Aplicación | % | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | | | | 90 | 90 | 90 |
| Demanda bruta | (mm) | 33,2 | 33,2 | 36,5 | 43,9 | 43,9 | 48,3 | 38,5 | 38,5 | 38,5 | 2,6 | 2,6 | 2,9 | | | | 2,1 | 2,1 | 2,4 |
| Jornada de riego (diaria) | (h) | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | | | | 18,0 | 18,0 | 18,0 |
| Módulo de Riego (diario) | (lps/ha) | 0,51 | 0,51 | 0,56 | 0,68 | 0,68 | 0,75 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | | | | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| Q requerido | (lps) | 48,6 | 48,6 | 53,5 | 64,4 | 64,4 | 70,8 | 56,5 | 56,5 | 56,5 | 3,8 | 3,8 | 4,2 | | | | 3,1 | 3,1 | 3,5 |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

Tabla 5. Balance Hídrico Cultivo: Aguacate – 25 hectáreas – Riego por aspersión.

| Parámetros | Unidad | Valor decadal (36 décadas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------------------------|------|------|---------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------------|-------------|-------------|
| | | Enero | | | Febrero | | | Marzo | | | Abril | | | Mayo | | | Junio | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| Precipitación (75% Probabilidad de excedencia) | (mm) | 34,7 | 34,7 | 38,1 | 32,9 | 32,9 | 26,3 | 37,5 | 37,5 | 41,3 | 55,0 | 55,0 | 55,0 | 43,5 | 43,5 | 47,9 | 14,0 | 14,0 | 14,0 | |
| Precipitación efectiva* 80% | (mm) | 28,9 | 28,9 | 31,8 | 27,7 | 27,7 | 22,1 | 30,8 | 30,8 | 33,8 | 40,5 | 40,5 | 40,5 | 34,4 | 34,4 | 37,9 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | |
| ETP (Evapotranspiración Potencial) | (mm) | 34,0 | 34,0 | 37,4 | 33,5 | 33,5 | 26,8 | 34,2 | 34,2 | 37,6 | 33,9 | 33,9 | 33,9 | 33,4 | 33,4 | 36,7 | 37,4 | 37,4 | 37,4 | |
| Kc (Coeficiente de Cultivo) | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | |
| Uc (Uso Consuntivo) | (mm) | 23,8 | 23,8 | 26,2 | 23,5 | 23,5 | 18,8 | 23,9 | 23,9 | 26,3 | 23,7 | 23,7 | 23,7 | 23,4 | 23,4 | 25,7 | 26,2 | 26,2 | 26,2 | |
| Demanda Neta(Precipitación Efectiva - Uso Consuntivo) | (mm) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | |
| Eficiencia | Conducción | % | | | | | | | | | | | | | | | | 98 | 98 | 98 |
| | Distribución | % | | | | | | | | | | | | | | | | 98 | 98 | 98 |
| | Aplicación | % | | | | | | | | | | | | | | | | 90 | 90 | 90 |
| Demanda bruta | (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | 15,1 | 15,1 | 15,1 |
| Jornada de riego (diaria) | (h) | | | | | | | | | | | | | | | | | 18,0 | 18,0 | 18,0 |
| Módulo de Riego (diario) | (lps/ha) | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| Q requerido | (lps) | | | | | | | | | | | | | | | | | 5,8 | 5,8 | 5,8 |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

Continuación. Tabla 5. Balance Hídrico Cultivo: Aguacate – 25 hectáreas – Riego por aspersión.

| Parámetros | Unidad | Valor decadal (36 décadas) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | (mm) | Julio | | | Agosto | | | Septiembre | | | Octubre | | | Noviembre | | | Diciembre | | |
| | | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| Precipitación (75% Probabilidad de excedencia) | (mm) | 11,8 | 11,8 | 13,0 | 5,6 | 5,6 | 6,2 | 14,0 | 14,0 | 14,0 | 45,9 | 45,9 | 50,5 | 63,9 | 63,9 | 63,9 | 38,9 | 38,9 | 42,8 |
| Precipitación efectiva* 80% | (mm) | 11,2 | 11,2 | 12,3 | 5,5 | 5,5 | 6,0 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 35,8 | 35,8 | 39,4 | 44,3 | 44,3 | 44,3 | 31,6 | 31,6 | 34,8 |
| ETP (Evapotranspiración Potencial) | (mm) | 43,3 | 43,3 | 47,6 | 47,2 | 47,2 | 51,9 | 44,6 | 44,6 | 44,6 | 36,6 | 36,6 | 40,3 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | 32,2 | 32,2 | 35,4 |
| Kc (Coeficiente de Cultivo) | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Uc (Uso Consuntivo) | (mm) | 30,3 | 30,3 | 33,3 | 33,0 | 33,0 | 36,3 | 31,2 | 31,2 | 31,2 | 25,6 | 25,6 | 28,2 | 22,2 | 22,2 | 22,2 | 22,5 | 22,5 | 24,8 |
| Demanda Neta(Precipitación Efectiva - Uso Consuntivo) | (mm) | 19,1 | 19,1 | 21,1 | 27,6 | 27,6 | 30,3 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Eficiencia | Conducción | % | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | | | | | | | | | |
| | Distribución | % | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | | | | | | | | | |
| | Aplicación | % | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | | | | | | | | | |
| Demanda bruta | (mm) | 22,1 | 22,1 | 24,4 | 31,9 | 31,9 | 35,1 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | | | | | | | | | |
| Jornada de riego (diaria) | (h) | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | | | | | | | | | |
| Módulo de Riego (diario) | (lps/ha) | 0,34 | 0,34 | 0,38 | 0,49 | 0,49 | 0,54 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | | | | | | | | | |
| Q requerido | (lps) | 8,5 | 8,5 | 9,4 | 12,3 | 12,3 | 13,5 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | | | | | | | | | |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

Con los resultados anteriores, sumando los dos cultivos café y aguacate, se tiene que la demanda de agua de riego requerida en el distrito Asosantana ubicado en el corregimiento de Matituy, Departamento de Nariño, es de 84,3 LPS para suplir las necesidades de riego en el decadal más crítico del año, donde el déficit de lluvias, además de las condiciones climatológicas, hacen que se requiera de un alto caudal para evitar pérdidas o problemas en los cultivos por déficit de agua.

6.5 DETERMINACIÓN DE OFERTA HÍDRICA MINIMA DE LA QUEBRADA CURIACO

6.5.1 Caracterización de la cuenca de la quebrada Curiaco.

Se determinaron las características físicas de mayor representatividad en el sector, entendiendo éste, como el área tributaria aguas arriba del punto de captación: área, perímetro, longitud del cauce principal, cota superior del cauce principal, cota del punto de captación y longitud axial, a través del sistema de información geográfica SIG, para el estudio de la cuenca que provee de agua al distrito de riego Santana.

6.5.2 Característica Físicas de la Cuenca

Algunas de las características se obtuvieron mediante las siguientes expresiones y se hallan consignadas en la Tabla 12.

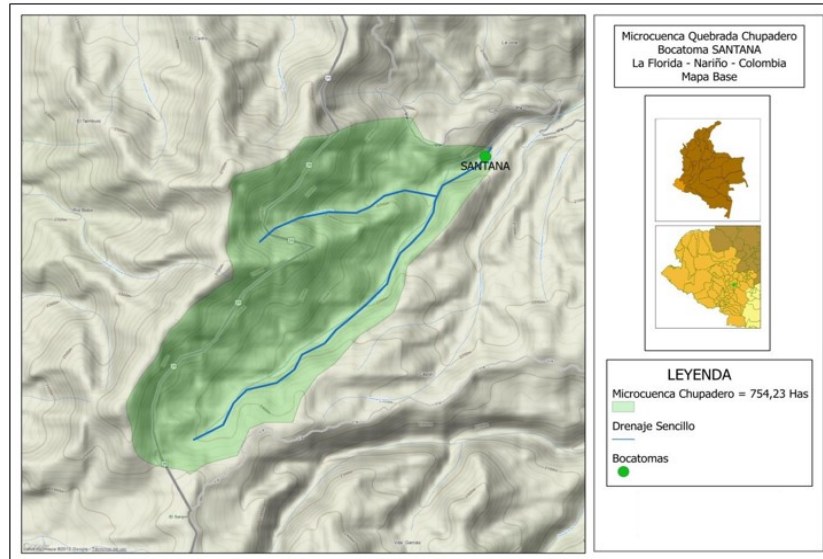
Tabla No. 6. Parámetros Morfométricos de la microcuenca – Río Curiaco.

| | | | |
|--|-----------------------|----------|-----------------------------|
| Área (A) | Has - km ² | 754,23 | 7,5423 |
| Perímetro (p) | Km | 12,67 | |
| Longitud cauce principal (Lc) | Km – m | 4,8 km | 4800 m |
| Cota superior del cauce principal (HM) | Msnm | 2650 | |
| Cota del punto de captación (hm) | Msnm | 2020 | |
| Longitud axial (Lx) | Km | 4,89 | |
| Ancho (a) | $a=A/Lx$ | 1,54 | Km |
| Forma | $f=a/Lx$ | 0,32 | Alargada |
| Coefficiente de compacidad (Kc) | $Kc=0,28(p/A^{1/2})$ | 1,291762 | Oval redonda a oval oblonga |

| | | | |
|--------------------------------------|---|--------|---------|
| Pendiente media del cauce (Pmc) | $Pmc=HM-hm/Lc$ | 0,1313 | m/m |
| Tiempo de concentración Kirpich (Tc) | $Tc=0,000325*((Lc)^{0.77})/(Pmc)^{0.385}$ | 0,49 | Minutos |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

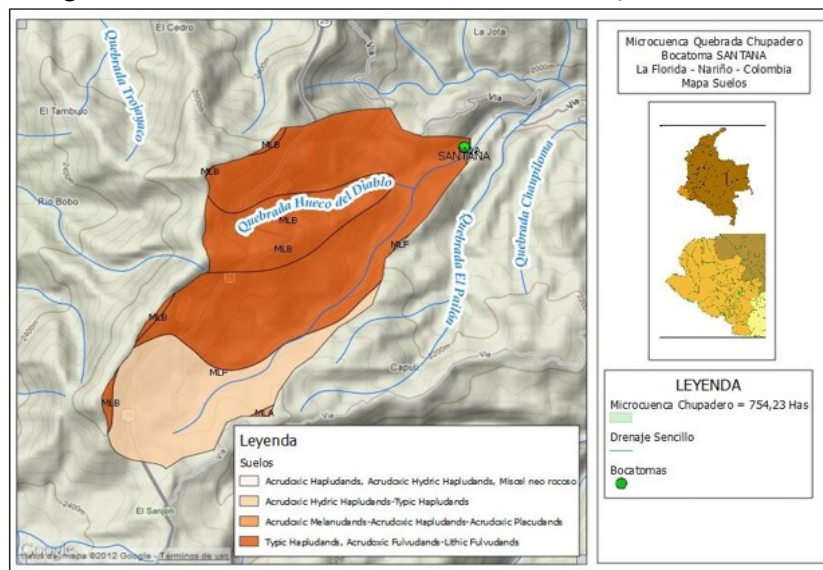
Figura 13. Ubicación de la microcuenca Quebrada Curiaco.



Fuente: Santos R., C. S., 2022

6.5.3 Suelos microcuenca

Figura 14. Clasificación de suelos microcuenca Quebrada Curiaco.



Fuente: Santos R., C. S., 2022

6.5.4 Caudal ecológico

La Resolución N° 865 de Julio 22 de 2004 emanada del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el numeral 3.4.2 "Reducción Por Caudal Ecológico", expresa como porcentaje de descuento, el IDEAM adopta como "Caudal Mínimo Ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio. Acatando esta disposición, para la quebrada Curiaco se obtuvo un caudal ecológico de 65 l/s, valor que se descuenta al calcular el caudal disponible para el cálculo de la demanda de la quebrada.

6.5.5 CONCESIÓN DE AGUAS

La Corporación Autónoma Regional de Nariño Corponariño, mediante la resolución 0076 del 26 de marzo de 2009 otorgó la concesión de aguas Para el Distrito de Riego Santana, el caudal concedido con cargo de la quebrada Curiaco se estima en 65 LPS.

Tabla 7. CAUDALES MENSUALES (M3/S) QUEBRADA CURIACO

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2009 | 0,310 | 0,299 | 0,300 | 0,307 | 0,288 | 0,279 | 0,275 | 0,267 | 0,278 | 0,365 | 0,494 | 0,315 |
| 2010 | 0,260 | 0,300 | 0,296 | 0,306 | 0,287 | 0,278 | 0,273 | 0,268 | 0,272 | 0,355 | 0,460 | 0,311 |
| 2011 | 0,280 | 0,299 | 0,298 | 0,307 | 0,289 | 0,276 | 0,276 | 0,266 | 0,273 | 0,357 | 0,482 | 0,312 |
| 2012 | 0,307 | 0,296 | 0,297 | 0,308 | 0,290 | 0,282 | 0,273 | 0,267 | 0,274 | 0,369 | 0,490 | 0,316 |
| 2013 | 0,309 | 0,298 | 0,301 | 0,311 | 0,291 | 0,280 | 0,274 | 0,268 | 0,277 | 0,362 | 0,469 | 0,312 |
| 2014 | 0,311 | 0,300 | 0,302 | 0,309 | 0,292 | 0,277 | 0,276 | 0,266 | 0,275 | 0,366 | 0,470 | 0,313 |
| 2015 | 0,308 | 0,297 | 0,299 | 0,307 | 0,288 | 0,279 | 0,277 | 0,267 | 0,272 | 0,365 | 0,465 | 0,318 |
| 2016 | 0,307 | 0,296 | 0,296 | 0,311 | 0,287 | 0,281 | 0,274 | 0,266 | 0,275 | 0,360 | 0,470 | 0,316 |
| 2017 | 0,306 | 0,298 | 0,301 | 0,309 | 0,289 | 0,280 | 0,272 | 0,268 | 0,276 | 0,361 | 0,494 | 0,317 |
| 2018 | 0,307 | 0,299 | 0,299 | 0,310 | 0,291 | 0,281 | 0,278 | 0,266 | 0,273 | 0,352 | 0,460 | 0,315 |
| MEDIA | 0,301 | 0,298 | 0,299 | 0,309 | 0,289 | 0,279 | 0,275 | 0,267 | 0,275 | 0,361 | 0,475 | 0,315 |
| MAXIMO | 0,311 | 0,300 | 0,302 | 0,311 | 0,292 | 0,282 | 0,278 | 0,268 | 0,278 | 0,369 | 0,494 | 0,318 |
| MINIMO | 0,260 | 0,296 | 0,296 | 0,306 | 0,287 | 0,276 | 0,272 | 0,266 | 0,272 | 0,352 | 0,460 | 0,311 |

| Q, CURIACO | l/seg | m3/seg |
|---------------------|-------|--------|
| Caudal Mínimo Medio | 260 | 0,267 |
| Caudal Medio | 312 | 0,312 |
| Caudal Máximo | 494 | 0,494 |

| CAUDAL ECOLOGICO |
|------------------|
| 65 l/seg |

Fuente: Corponariño 2019.

6.5.6 ANALISIS DE CAUDALES MINIMOS DE LA FUENTE

Con los registros de precipitación diaria de la Estación Chachagui 2009 - 2019, las características de la microcuenca y la aplicación del modelo SOIL (Lluvia - Escorrentía), se obtuvo los rendimientos decadales y mensuales correspondientes a la quebrada Curiaco.

Con la serie de caudales generados para la quebrada Curiaco se obtuvo los Caudales Decadales, Medios Decadales, Mensuales y Medios Mensuales. Mediante la distribución de Gumbel aplicada a la serie de Caudales Decadales calculada para la quebrada Curiaco, se obtuvo la serie de Caudales Mínimos Decadales para un periodo de retorno TR = 5 años y una probabilidad de ocurrencia del 25 %, con lo cual se asegura caudales iguales o mayores con una probabilidad de 75%.

Los cálculos que soportan los datos consignados en el Anexo Estudio Hidrológico para la quebrada Curiaco.

Caudales Medios Mensuales y Medios Decadales.

Tabla 8. Caudal medio mensual disponible

| MES | Q MEDIO MENSUAL* | CAUDAL ECOLOGICO | USO ACTUAL | Q MEDIO MENSUAL DISPONIBLE |
|-----|------------------|------------------|------------|----------------------------|
| | l/s | l/s | l/s | l/s |
| ENE | 284,06 | 65,00 | 65,00 | 154,06 |
| FEB | 365,15 | 65,00 | 65,00 | 235,15 |
| MAR | 635,67 | 65,00 | 65,00 | 505,67 |
| ABR | 646,15 | 65,00 | 65,00 | 516,15 |
| MAY | 559,48 | 65,00 | 65,00 | 429,48 |
| JUN | 488,83 | 65,00 | 65,00 | 358,83 |
| JUL | 287,84 | 65,00 | 65,00 | 157,84 |
| AGO | 213,12 | 65,00 | 65,00 | 83,12 |
| SEP | 250,75 | 65,00 | 65,00 | 120,75 |
| OCT | 408,79 | 65,00 | 65,00 | 278,79 |
| NOV | 379,08 | 65,00 | 65,00 | 249,08 |
| DIC | 400,57 | 65,00 | 65,00 | 270,57 |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

Tabla 9. Caudal medio decadal disponible

| MES | Q MEDIO DECADAL* | | | Q MEDIO DECADAL DISPONIBLE** | | |
|-----|------------------|----------|----------|------------------------------|----------|----------|
| | Decada 1 | Década 2 | Década 3 | Decada 1 | Década 2 | Década 3 |
| | l/s | l/s | l/s | l/s | l/s | l/s |
| ENE | 310,04 | 274,99 | 276,66 | 180,04 | 144,99 | 146,66 |
| FEB | 328,36 | 374,41 | 370,18 | 198,36 | 244,41 | 240,18 |
| MAR | 622,93 | 573,62 | 724,01 | 492,93 | 443,62 | 594,01 |
| ABR | 627,62 | 621,96 | 688,88 | 497,62 | 491,96 | 558,88 |
| MAY | 552,41 | 549,58 | 583,85 | 422,41 | 419,58 | 453,85 |
| JUN | 506,81 | 481,51 | 478,16 | 376,81 | 351,51 | 348,16 |
| JUL | 281,91 | 285,99 | 298,58 | 151,91 | 155,99 | 168,58 |
| AGO | 194,18 | 211,92 | 235,70 | 64,18 | 81,92 | 105,70 |
| SEP | 230,32 | 227,65 | 294,29 | 100,32 | 97,65 | 164,29 |
| OCT | 319,83 | 443,79 | 479,96 | 189,83 | 313,79 | 349,96 |
| NOV | 420,61 | 389,61 | 327,02 | 290,61 | 259,61 | 197,02 |
| DIC | 329,29 | 565,93 | 326,94 | 199,29 | 435,93 | 196,94 |

| | | |
|--|-------|-----|
| CAUDAL ECOLOGICO (l/s)= | 65,00 | l/s |
| OTROS USOS (l/s) = | 65,00 | l/s |
| *Caudal Medio Decadal incluido Flujo Base | | |
| ** Caudal disponible, una vez descontado el caudal ecológico y el correspondiente a otros usos | | |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

Los Caudales Décadales disponibles reportados en la tabla anterior, corresponden a valores realizando el descuento por concepto de caudal ecológico y otros usos actuales que para el caso es 65 l/s y 65 l/s respectivamente.

6.5.7 Caudales Mínimos Decadales Y Mínimos Mensuales

La serie de Caudales Mínimos Decadales se obtuvo mediante la distribución de frecuencia de Gumbel, aplicada a la serie de Caudales Decadales calculada para la quebrada Curiaco, para un periodo de retorno TR = 5 años, con lo cual se asegura caudales iguales o mayores para el Distrito de Riego Santana, con una probabilidad del 75 %. Los Caudales Mínimos Mensuales, se

obtuvieron a partir de los Caudales Mínimos Decadales, como media de las tres décadas correspondientes a cada mes.

Tabla 10. Caudal disponible en la Quebrada Curiaco

| MES | DECADA | RENDIMIENTO DECADAL (m3/decada) | Q DECADAL (l/s)* | Q ECOLOGICO (l/s) | OTROS USOS (l/s) | Q DISPONIBLE (l/s) |
|-----|--------|---------------------------------|------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| | DEC | DEC | | | USOS DISTRITO DE RIEGO | DISPONIBLE |
| ENE | 1 | 67.608,60 | 267,19 | 65,00 | 65,00 | 137,19 |
| | 2 | 49.476,85 | 246,20 | 65,00 | 65,00 | 116,20 |
| | 3 | 30.315,76 | 224,02 | 65,00 | 65,00 | 94,02 |
| FEB | 1 | 0,00 | 252,70 | 65,00 | 65,00 | 122,70 |
| | 2 | 48.160,71 | 308,44 | 65,00 | 65,00 | 178,44 |
| | 3 | 26.706,75 | 283,61 | 65,00 | 65,00 | 153,61 |
| MAR | 1 | 0,00 | 500,19 | 65,00 | 65,00 | 370,19 |
| | 2 | 23.426,01 | 527,31 | 65,00 | 65,00 | 397,31 |
| | 3 | 53.867,72 | 562,54 | 65,00 | 65,00 | 432,54 |
| ABR | 1 | 84.864,52 | 604,14 | 65,00 | 65,00 | 474,14 |
| | 2 | 53.261,86 | 567,56 | 65,00 | 65,00 | 437,56 |
| | 3 | 49.783,68 | 563,54 | 65,00 | 65,00 | 433,54 |
| MAY | 1 | 36.093,00 | 527,05 | 65,00 | 65,00 | 397,05 |
| | 2 | 43.821,31 | 535,99 | 65,00 | 65,00 | 405,99 |
| | 3 | 36.703,36 | 527,75 | 65,00 | 65,00 | 397,75 |
| JUN | 1 | 0,00 | 449,99 | 65,00 | 65,00 | 319,99 |
| | 2 | 0,00 | 449,99 | 65,00 | 65,00 | 319,99 |
| | 3 | 0,00 | 449,99 | 65,00 | 65,00 | 319,99 |
| JUL | 1 | 0,00 | 258,18 | 65,00 | 65,00 | 128,18 |
| | 2 | 0,00 | 258,18 | 65,00 | 65,00 | 128,18 |
| | 3 | 0,00 | 258,18 | 65,00 | 65,00 | 128,18 |
| AGO | 1 | 0,00 | 188,67 | 65,00 | 65,00 | 58,67 |
| | 2 | 0,00 | 188,67 | 65,00 | 65,00 | 58,67 |
| | 3 | 0,00 | 188,67 | 65,00 | 65,00 | 58,67 |
| SEP | 1 | 0,00 | 215,07 | 65,00 | 65,00 | 85,07 |
| | 2 | 0,00 | 215,07 | 65,00 | 65,00 | 85,07 |
| | 3 | 35.368,33 | 256,00 | 65,00 | 65,00 | 126,00 |
| OCT | 1 | 36.397,43 | 278,88 | 65,00 | 65,00 | 148,88 |
| | 2 | 115.732,03 | 370,71 | 65,00 | 65,00 | 240,71 |
| | 3 | 164.349,12 | 426,98 | 65,00 | 65,00 | 296,98 |
| NOV | 1 | 113.296,44 | 266,34 | 65,00 | 65,00 | 136,34 |
| | 2 | 97.366,35 | 247,90 | 65,00 | 65,00 | 117,90 |
| | 3 | 94.576,74 | 244,67 | 65,00 | 65,00 | 114,67 |
| DIC | 1 | 46.281,26 | 249,41 | 65,00 | 65,00 | 119,41 |
| | 2 | 185.970,03 | 411,09 | 65,00 | 65,00 | 281,09 |
| | 3 | 60.062,98 | 265,36 | 65,00 | 65,00 | 135,36 |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

Tabla 11. Caudales Mínimos Mensuales TR = 5 años

| MES | Q DECADAL DISPONIBLE * | | |
|-----|------------------------|----------|----------|
| | Década 1 | Década 2 | Década 3 |
| | l/s | l/s | l/s |
| ENE | 137,19 | 116,20 | 94,02 |
| FEB | 122,70 | 178,44 | 153,61 |
| MAR | 370,19 | 397,31 | 432,54 |
| ABR | 474,14 | 437,56 | 433,54 |
| MAY | 397,05 | 405,99 | 397,75 |
| JUN | 319,99 | 319,99 | 319,99 |
| JUL | 128,18 | 128,18 | 128,18 |
| AGO | 58,67 | 58,67 | 58,67 |
| SEP | 85,07 | 85,07 | 126,00 |
| OCT | 148,88 | 240,71 | 296,98 |
| NOV | 136,34 | 117,90 | 114,67 |
| DIC | 119,41 | 281,09 | 135,36 |

Fuente: Santos R., C. S., 2022

Como puede observarse en las tablas 16 y 17 la fuente quebrada Curiaco presenta una oferta hídrica constante en la mayoría de los meses, con una fuerte caída en caudales en los meses de agosto y septiembre, sin embargo, y debido al respeto de los 65 l/s de caudal ecológico, se muestra como una fuente estable para la concesión de aguas dada para el distrito de Santana que es de 65 l/s.

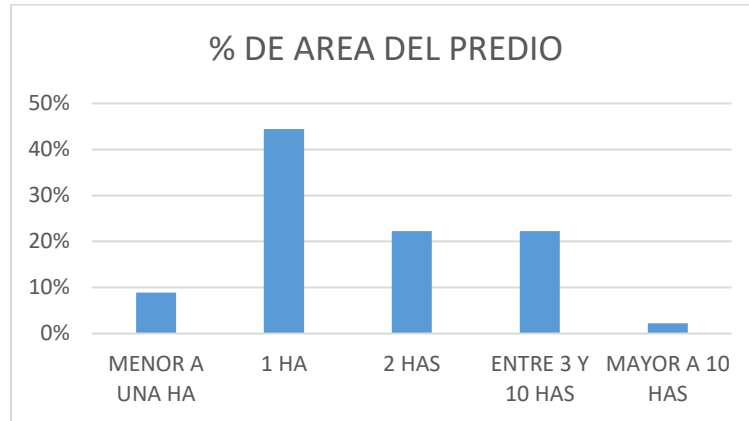
6.6 ANALISIS DE ENCUESTAS

Se realizaron 45 encuestas estructuradas a los usuarios del Distrito de Riego Santana; las cuales se dividieron en las siguientes temáticas:

6.6.1 Componente Productivo

- El 53% de las áreas cultivadas, son menores a 1 hectárea, el promedio de área cultivada es de 2,6 ha.

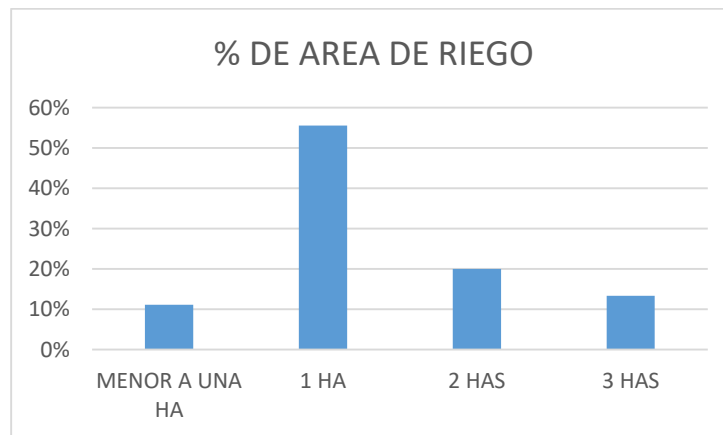
Figura 15. Porcentaje de área del predio de los encuestados.



Fuente: Santos R., C. S., 2022

- De esta área cultiva, el 67% tiene un área de riego efectiva de entre 1/4 de hectárea y 1 hectárea.

Figura 16. Porcentaje de área de riego de los encuestados.

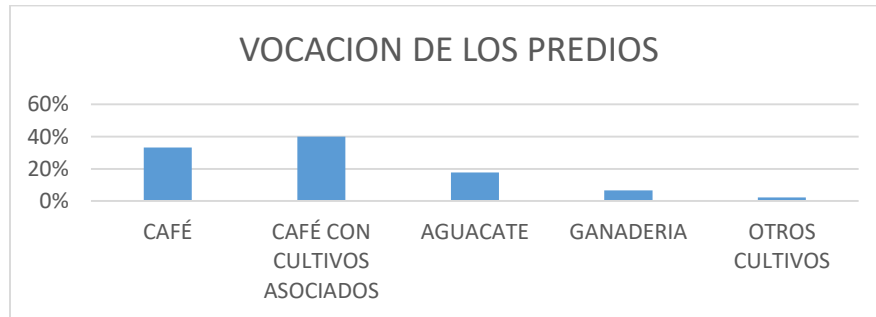


Fuente: Santos R., C. S., 2022

- Los asociados de distrito, utilizan el riego en un 84% de la totalidad del área a irrigar dentro de sus predios.
- En el distrito de riego, el 97% de los usuarios encuestados utilizan el sistema de riego por aspersión, solo un usuario utiliza un sistema mixto de aspersión y goteo.

- En promedio, los usuarios utilizan el riego 16,6 horas al día.
- Actualmente, el 18% de los usuarios ha cambiado su actividad agrícola por aguacate y el 73% aún tiene como principal fuente de ingresos el cultivo de café y café asociado con otros cultivos transitorios (plátano, maíz, yuca)

Figura 17. Vocación de los predios de los encuestados.



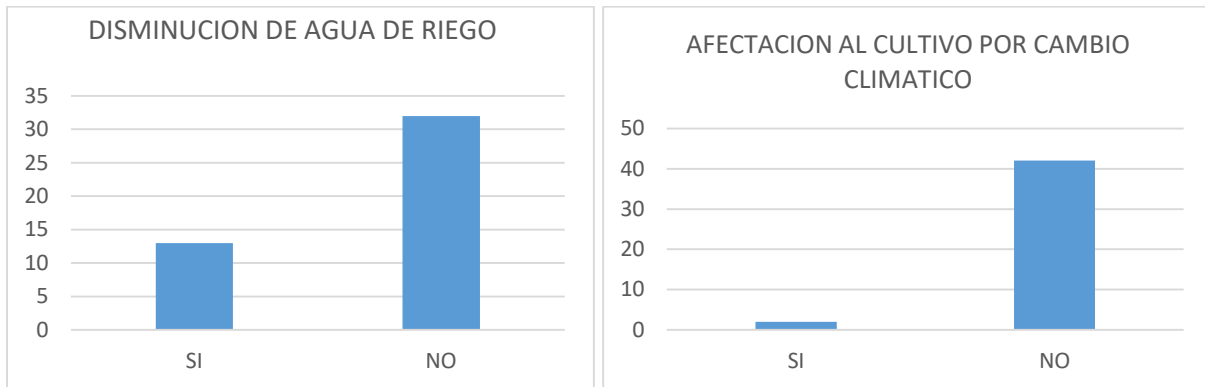
Fuente: Santos R., C. S., 2022

6.6.2 Componente Ambiental y Cambio Climático

La percepción de eventos climático o afectaciones por cambios en el ambiente entre los usuarios, solo se percibe por la disminución de agua de riego en 13 de los 45 usuarios, los demás no advierten o no perciben alguna afectación que perjudique el rendimiento en los cultivos.

De igual forma, solo dos de los encuestados ha sentido afectaciones en sus predios por cuestiones netamente de periodos de sequia y perciben solo perdidas menores en su productividad.

Figura 18 y 19. Percepción de disminución de agua de riego y afectación al cultivo por cambio climático.



Fuente: Santos R., C. S., 2022

6.6.3 Componente Social y de trabajo

Dentro de las encuestas realizadas, se indaga a los productores del Distrito de Riego, acerca de la relación entre las actividades productivas y su relación con los demás asociados, encontrando que apenas el 20% de la muestra se encuentra vinculado a alguna asociación productiva y el 31% ocasionalmente, participa en actividades agrícolas de manera colectiva.

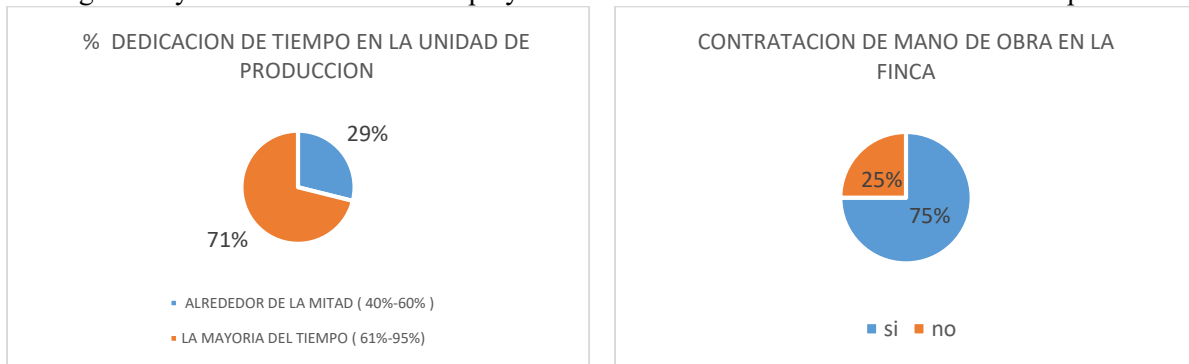
Figura 20 y 21. Pertenencia a la organización. Participación de los encuestados en organizaciones y actividades colectivas.



Fuente: Santos R., C. S., 2022

En cuanto a la variable de trabajo, se reporta en la muestra, que el 71% de los encuestados ocupa la mayoría de su tiempo en trabajos propios de la actividad agrícola y el restante en alrededor de la mitad de sus horas efectivas de trabajo. Se identifica que la mayoría de los productores contrata mano de obra adicional en sus fincas, para completar los trabajos agrícolas requeridos.

Figura 22 y 23. Dedicación de tiempo y contratación de mano de obra en la unidad de producción.



Fuente: Santos R., C. S., 2022

6.6.4 Matriz DOFA

Con el propósito de indagar sobre el impacto que genera los efectos del cambio climático en el Distrito de riego Asosantana, se hace uso de una herramienta analítica que permite trabajar con la información recolectada en campo, examinando debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas del entorno para la generación de metodologías que permiten la optimización del recurso hídrico del distrito, tal como se observa en la Figura 24.

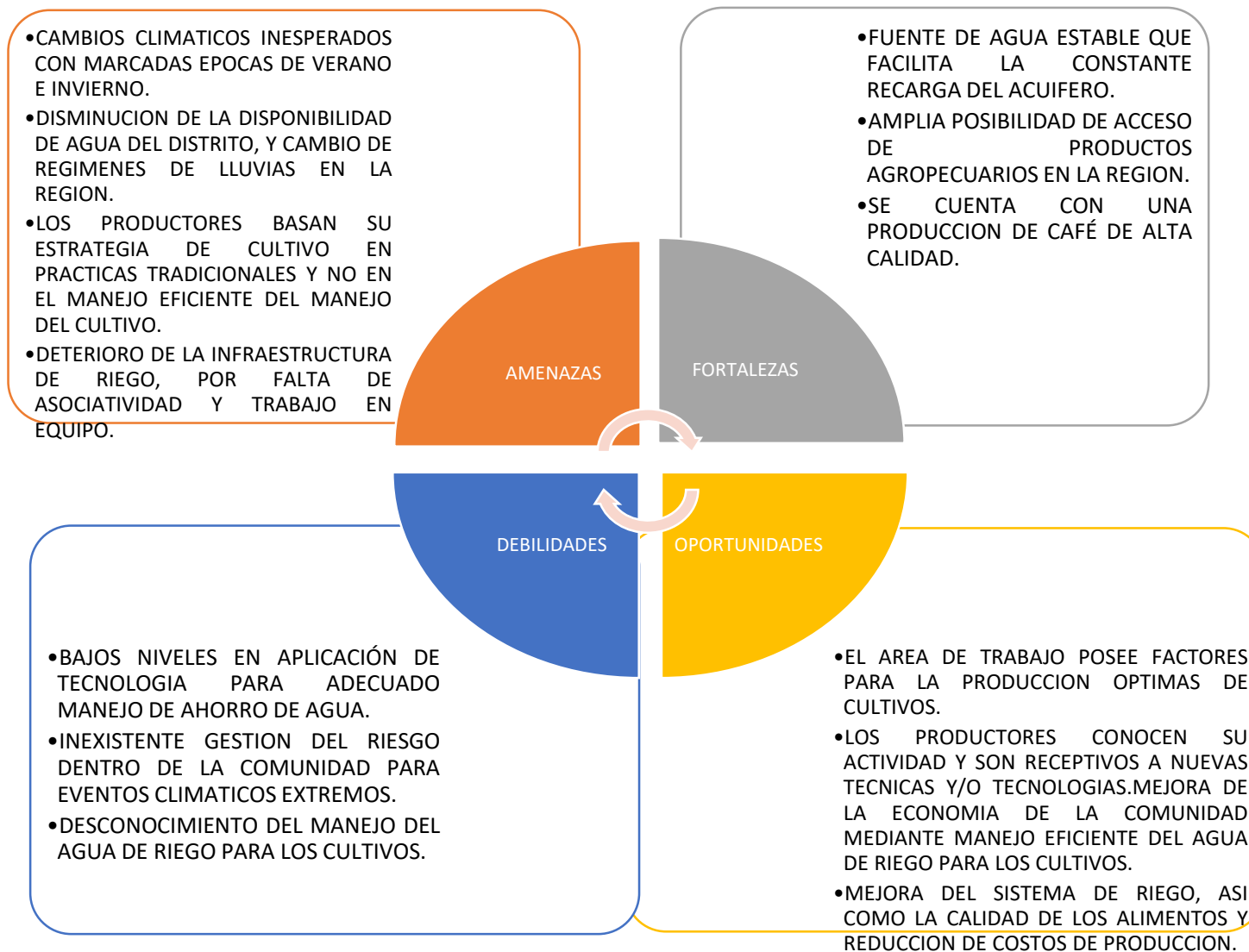


Figura 24. Matriz Dofa. Efectos del cambio climático en el distrito de Riego Asosantana. **Fuente:** Santos R., C. S., 2022

7. DISCUSION

En Colombia, las regiones que poseen infraestructura de riego; enfrentan cada vez más problemas de escasez; aunado a la incertidumbre en la disponibilidad de recurso hídrico, aumento de solicitudes de concesiones de agua por usuarios no agrícolas, y una elevada demanda social y conciencia ambiental que incluye la protección de los sistemas y su desarrollo sostenible.

Factores como la baja eficiencia del riego y el uso excesivo de fertilizantes químicos, entre otros, han incrementado la degradación de los suelos en varias zonas que antes se consideraban como de alta rentabilidad. Ante estos fenómenos, combinado con una muy probable intensificación del cambio climático, los problemas de desgaste de los suelos y escasez de agua podrían poner en riesgo la sostenibilidad de muchas unidades de producción agrícola.

Los productores y usuarios de distritos; pueden intervenir para disminuir el impacto del cambio climático a través de dos acciones: mitigación y adaptación. La vulnerabilidad de un sistema de producción agrícola depende de su exposición ante situaciones externas o internas, a través del cambio de una variable climática y la respuesta que se pueda obtener ante las situaciones cambiantes del entorno actual, acorde a sus condiciones socioeconómicas (Ojeda, et al., 2010). Evaluar el grado de afectación de estos sistemas; depende de la realización de adaptaciones autónomas y de políticas de estado de planificación promovidas desde los gobiernos y/o organizaciones privadas y públicas.

Es por esto, que se hace muy importante hacer una evaluación detallada del funcionamiento de Distritos de Riego en el país, en el cual se propenda a una mejor utilización y evitar que estos sistemas colapsen o desmejoren sustancialmente su funcionamiento poniendo en riesgo la productividad de las fincas.

Es de anotar, que el costo en infraestructura para la construcción de un Distrito de Riego, actualmente se considera alrededor de \$40.000.000 por hectárea (Plan Nacional de Riego 2020 – 2039 – UPRA) un costo elevado y que no permite que la mayoría de los agricultores, puedan acceder a la construcción de sus distritos, dependiendo únicamente del apoyo estatal en los proyectos que se prioricen desde gobierno. En este sentido, desde el año 2018, en el país no se ha construido un solo distrito de riego nuevo en el país, ya que los recursos esta destinados solo a tres grandes proyectos: Ranchería en La Guajira, Tesalia Paicol en Huila y Triangulo del Tolima, ninguno de estos tres distritos de gran escala se encuentran actualmente en funcionamiento.

El periódico La Nación en su edición del 24 de Enero de 2022; realiza una investigación y encuentra un detrimento patrimonial para el Distrito de Tesalia Paicol por alrededor de 62.825 millones de pesos, que le ha costado a la nación los sobrecostos en construcción a una infraestructura que aún no opera. (Areiza R. 2022)

Así mismo, el portal El Nuevo Día, informa el retraso en las obras en el Triángulo del Tolima, el cual debía estar en operación en el año 2000, y a la fecha no se ha podido brindar agua en condiciones óptimas a 7500 familias que esperan una solución a la escasez de recursos hídrico para riego en la región. (El Nuevo día, 2021)

En este sentido, se puede ilustrar la importancia de conservar la infraestructura instalada, ya que el Estado Colombiano actualmente; no apoya la construcción de distritos de riego de pequeña

escala (hasta 500 hectáreas), lo cual, al ser un sistema pequeño, tendría mayores probabilidades de éxito que los de gran escala que aún no funcionan.

Es importante que las comunidades que actualmente poseen estos sistemas de riego de importancia tan elevada en la agricultura, inicien procesos de conservación a largo plazo, manejen eficientemente el agua, se creen lazos de concientización ecológica sostenible y establezcan criterios de equidad para conservar de una forma adecuada la infraestructura instalada, ya que el arreglo, reconstrucción o ampliación de la capacidad instalada, llevaría a unos sobrecostos económicos que difícilmente podría solventar la comunidad productiva, generando a lo largo de los años, si no hay un cambio en la forma de manejo de los distritos, al deterioro y culminación de proyectos productivos que están actualmente en funcionamiento.

Realizar este estudio, permite obtener datos precisos acerca de la escasez de agua de un distrito, de donde proviene, cual es la causa que lo está afectando, cuantificar estos déficits y, por último, recomendar prácticas sostenibles, que permitan seguir utilizando un recurso de agua por muchos años más, beneficiando económica y socialmente a los usuarios del Distrito de Riego Santana.

Así mismo se puede replicar la metodología utilizada en la presente investigación, para que otros distritos de riego en el país, cuantifiquen sus pérdidas, relacionadas con cambio climático u otros factores que afecten la disponibilidad del agua, y se generen programas de mitigación y uso eficiente de agua para no perder los procesos productivos que giran alrededor de los Distritos de Riego.

8. ESTRATEGIAS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO DEL DISTRITO DE RIEGO ASOSANTANA

En condiciones secas y temperaturas más calientes proyectadas por efecto del cambio climático en el mundo entero, la agricultura siempre tendrá el reto de incrementar o mantener la producción actual con menos agua a través de acciones de adaptación, en el que se apliquen técnicas que permitan una mayor eficiencia en el uso del agua.

Para lograr un ahorro de agua eficiente, se requiere conocer primero el uso que se le dará en la zona de riego, como lo encontrado en el presente estudio en el cual, analizando la demanda y oferta del distrito, el agua de riego debe estar enfocado en los siguientes aspectos:

- Satisfacer las necesidades de transpiración de los cultivos ya que tienen una variabilidad temporal y espacial en cada ciclo productivo.
- Suministrar la evaporación del agua del suelo, necesaria para los procesos de conservación de propiedades físicas y químicas de los suelos, de los cuales depende la fertilidad del mismo.
- Compensar la variabilidad en la aplicación del riego y en las propiedades del suelo, cultivo y ambiente.

En la selección de acciones de adaptación al cambio climático; se debe tener cuidado en no promover el uso de tecnología costosa u obsoleta, y en considerar todas las condiciones locales con el fin de evitar impactos negativos, recursos o infraestructura requerida.

Las estrategias de adaptación para la agricultura en el distrito de riego Santana son las siguientes:

- Manejo sustentable y sostenible del agua, en el cual se pueden incluir técnicas para conservación del agua su cosecha y tecnificación del riego. En el distrito de riego

Santana, el 97% de los usuarios tiene como sistema de riego aspersión, lo cual genera grandes pérdidas en agua. Frente a un sistema de riego por goteo, las pérdidas en aspersión se calculan en alrededor 40% estimadas en traslados por vientos, pérdidas en percolación y falta de uniformidad en la aplicación. Es importante, iniciar un proceso de capacitación que permita acceder a nuevas tecnologías en riego y bajar el consumo de agua a interior del predio.

- Manejo sustentable del suelo, labranza de conservación y manejo integrado de nutrientes del suelo. La labranza de conservación reduce la evapotranspiración, compactación y erosión de los suelos, mano de obra y necesidades de equipo, permitiendo un consumo de agua menor que en sistemas tradicionales de labranza. (López, Gutiérrez, Berumen. 2000)
- Manejo del cultivo. Incluye la diversificación de cultivos y variedades, desarrollo de nuevas variedades, y manejo integral de plagas y enfermedades.
- Desarrollo de capacidades, lo cual puede incluir la creación o fortalecimiento de organizaciones de productores, servicios de soporte tecnológico a los productores y desarrollo de capacidades en los usuarios para los diversos actores del sector agrícola.

9. CONCLUSIONES

En el distrito de riego Asosantana, bajo los sistemas de producción que actualmente se están cultivando en el corregimiento de Matituy, se encontró que la demanda hídrica en las 120 hectáreas del distrito tiene un déficit de 23% para atender los requerimientos hídricos de las unidades agrícolas productivas; es decir, no disponen de agua suficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos; con consecuencias en el crecimiento, desarrollo y productividad esperados de los cultivos que están bajo riego.

El déficit que se detectó, proviene de un efecto del cambio climático en el que se evidencia un aumento en la evapotranspiración de los cultivos, afectando la cantidad de agua requerida para solventar las necesidades de riego óptimas para la productividad de los cultivos. Teniendo en cuenta la imposibilidad de aumentar el tamaño de la infraestructura para cubrir el déficit debido al costo proyectado en construcción, es importante que los usuarios inicien procesos de adaptación al cambio climático que permitan un uso eficiente de agua de riego que permitan continuar con los procesos productivos de la región.

En el distrito de riego Asosantana, se evidencia que la repartición del agua, aunque es equitativa, no es eficiente, dado que a los agricultores se les entrega la misma cantidad de agua, es decir, 0,5 LPS; así tengan diferentes áreas de riego. Como consecuencia, se evidencia un desperdicio de

agua en áreas de riego menores a 1 hectárea, ya que el agricultor no aprovecha el recurso en el predio puesto que el distrito tiene una capacidad o módulo de 0,5 lps / ha.

La oferta hídrica del distrito, proveniente de la quebrada Curiaco, se determina como estable, ya que, respetando su caudal ecológico de 65 LPS, se mantiene constante en épocas de sequía lo cual sugiere que puede seguir suministrando el agua de riego a lo largo de los años en el distrito de riego.

En cuanto al análisis social y productivo, se evidencia en los usuarios un alto desconocimiento y desinterés en las consecuencias del cambio climático que pueda afectar la operación del distrito de riego, por lo cual es necesario la capacitación de los productores frente a estrategias de adaptación, que incluya temáticas respecto a tecnología de punta, diversificación de cultivos, manejo sustentable del suelo, manejo integral de plagas y enfermedades, entre otros.

Los resultados de esta investigación sugieren; que el cambio climático tiene efectos negativos sobre los recursos hídricos en el Distrito de Riego Santana; entonces la cuantificación de estos impactos es de vital importancia con el fin de generar estrategias y acciones, que permitan dar respuestas inmediatas y eficientes a las afectaciones del recurso, asociadas a la variabilidad climática presentada con el fin de servir de base para una gestión correcta del recurso hídrico y una planificación de las unidades productivas con una visión de largo plazo; en resumen, planificar el uso del agua es parte de los retos que genera el cambio climático mundial.

Los impactos en el cambio climático, afectarían a poblaciones sin estrategias de adaptación, y en el distrito de Riego Santana se podría ver reflejado en problemas de seguridad alimentaria, pérdida de ingresos, aumento en los precios de los alimentos, impactos en la salud y por último; desplazamientos de la población hacia centros urbanos desencadenando aumento de cinturones de miseria en las ciudades; por la pérdida progresiva de la disponibilidad de agua haciendo imposible la producción agrícola sostenible. El cambio climático es, una problemática social, por sus causas sociales y sus consecuencias sociales. (Greenpeace, 2018). Por lo tanto, no es un problema solo del ambiente, por lo que debe tener resultados basados en la misma sociedad, acompañado de políticas públicas y con trascendencia económica efectiva. El desafío del Cambio Climático en el Distrito de Riego, es un reto al modelo productivo que está implementado en la actualidad que incluya la percepción positiva de los agricultores, cambios en su forma de cultivar, acompañamiento educativo y procesos de adaptación y mitigación para evitar consecuencias negativas en la sociedad.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de estrategias y/o medidas de adaptación al cambio climático con la ejecución de actividades tendientes al buen manejo del recurso hídrico y con especial atención a eventos extremos ya que serán más frecuentes como se identificó en el análisis climatológico de la zona.

El riego en la agricultura enfrenta muchos riesgos económicos y sociales que pueden aumentar en el futuro por el impacto del cambio climático, las proyecciones mundiales indican ambientes más calientes y más secos. Uno de los objetivos es la aplicación de métodos de adaptación en las zonas de riego; como el convencimiento a actores en decisiones de agricultores, políticas públicas y directivos de asociaciones de usuarios de riego, de que los cambios en la climatología de la región son reales y se intensificarán a medida que pase el tiempo, para lo cual se requiere realizar planificaciones a corto, mediano y largo plazo, que permitan un manejo y mitigación adecuado para continuar teniendo servicio de agua de riego.

Algunas de las actividades de adaptación a corto plazo; pueden estar orientadas a la mejora de las prácticas agrícolas en la actualidad, muchas de ellas simples: rotación de cultivos, cambios de fechas en la siembra de los cultivos y en las variedades que se usan y uso de métodos para la conservación de la humedad del suelo. A mediano y largo plazo, será necesaria la adaptación de

los sistemas agrícolas y el servicio de agua de riego a las nuevas condiciones climáticas que se presenten en el futuro.

Las medidas adaptativas a largo plazo provocarán cambios y ajustes a los sistemas de producción agrícola requiriendo la directa intervención del Estado Colombiano para su realización planeación e implementación de la mano con el sector productivo. Sin este apoyo; las posibilidades de éxito en las acciones a implementar a largo plazo serán limitadas e ineficientes.

Es importante que el Estado, establezca planes de construcción de infraestructura de riego en el país, enfocados a distritos de pequeña escala, ya que estos sistemas tienen probabilidades de éxito mejores a los de gran escala, por el tiempo de construcción y los costos elevados que conllevan. Actualmente, a la política en el país, le falta la inclusión de programas y planes de educación ambiental hacia usuarios de distritos de riego, que promuevan el uso eficiente de agua y a la conservación óptima de las estructuras construidas, para crear conciencia ambiental en los productores sin tener que recurrir a sobrecostos por falta de agua en el futuro.

Otras de las medidas que se pueden establecer por parte del Estado, es el desarrollo de nuevas variedades de semillas resistentes al estrés hídrico y térmico, promoción en el ajuste de paquetes de tecnología a las nuevas condiciones del clima que conduzcan a una reconversión productiva, el mejoramiento de tecnologías para la aplicación eficiente de insumos agrícolas (fertirriego), el ajuste de políticas y leyes para la implantación de acciones de adaptación estructurales en los distritos de riego, como lo son reguladores de caudales y presiones, micromedición para control de agua y construcción de reservorios de agua, entre otros.

REFERENCIAS

Alcaldía municipal de La Florida. Plan de ordenamiento territorial. (2014)
<http://www.laflorida-narino.gov.co/municipio/corregimiento--corregimiento-de-matituy>

Allen. R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO.

Allen, G. R., L. Pereira, D. Raes, M. Smith. 2006. Estudio FAO Riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie cuadernos técnicos. FAO. Roma, Italia. 298 pp.

Areiza. R., (2022). ¿Quién responde por el Distrito Tesalia – Paicol?. La Nación.
<https://www.lanacion.com.co/quien-responde-por-el-distrito-tesalia-paicol/>

Barcena, Prado, Samaniego, Perez, (2015) Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). La economía del cambio climático en América Latina y El Caribe.

Bautista J., (2013). El derecho humano al agua y Saneamiento frente a los objetivos de desarrollo del milenio. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 7-8.

Bautista Justo, (2013). Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). El derecho humano al agua y saneamiento frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)

Brouwer, C., & Heibloem, M. (1986). Irrigation Water Needs. En: Irrigation Water Management Training manual No.3. FAO.

Cline, Hartel y Rosch, (2010), Reflexiones metodológicas del análisis del cambio climático.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37608/1/S1500008_es.pdf

Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1986. Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage paper No. 33. Roma, Italia. 189 pp.

El Nuevo día. (2021). Proyecto de distrito para el sur del Tolima, sigue siendo un ‘Triángulo’ de enredos. <http://www.elnuevodia.com.co/nuevodia/especiales/470325-proyecto-de-distrito-para-el-sur-del-tolima-sigue-siendo-un-triangulo-de-enredos>

FAO (2015). AQUASTAT. Perfil de país. Colombia.
<http://www.fao.org/3/ca0572es/CA0572ES.pdf>

Flores. (2014) Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Políticas climáticas en países desarrollados. Impacto en América Latina.

Fonseca F., Aguilar D.,(2015). Actualización del manual de normas técnicas básicas para la realización de proyectos de adecuación de tierras. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), 23, 121-125.

Galindo L., Samaniego J., Alatorre J., Ferres J., Reyes O. Alderete, E., Vega, (2014). Cambio climático, agricultura y pobreza en América Latina. Una aproximación empírica. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) 7-12.

De Wit, C.T. and J. Goudriaan. 1978. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. Simulation monograph. PUDOC, Wageningen, The Netherlands

González, Saldarriaga, Jaramillo (2010). Estimación de la demanda de agua. Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>

Grimm, N., Faeth, S., Golubewski, N., Redman, C., Wu, J., Bai, X., Briggs, J. (2008) Global Change and the Ecology of Cities. Science 319 (5864): 756-760.

IFRC (2009) Climate Change Adaptation Strategies for Local Impact. Key Messages for

UNFCCC Negotiators. Geneva, Switzerland, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC)

Inforesources Focus (2006). Agua para la Alimentación. Una cuestión de supervivencia.

Koch, I.C., Vogel, C. and Patel, Z. (2007) Institutional dynamics and climate change adaptation in South Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12(8): 1323-1339.

Matthews, T. (2012) Responding to climate change as a transformative stressor through metro-regional planning. *Local Environment* 17 (10): 1089-1103.

Moser, C. and Satterthwaite, D. (2008) Towards Pro-poor Adaptation to Climate Change in the Urban Centers of Low-and Middle-income Countries. *Climate Change and Cities Discussion Paper 3*, IIED.

OECD (2009) Policy Guidance on Integrating Climate Change Adaptation into Development Cooperation. 28-29.

Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, M. ÍñiguezCovarrubias, J.M. Montero. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*. 2011. 45(1):1-11.

Ojeda, W., P. Martínez, y L. Hernandez. 2008b. Repercusiones del cambio climático en la agricultura de riego. Capítulo 6 del libro “Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México”. A. Aguilar y P. Martínez (eds). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Pp 73-83

Perry, C.J., 1996. Quantification and measurement of a minimum set of indicators of the performance of irrigation systems. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Raes, D., P. Steduto, T. C. Hsiao and E. Fereres. 2009. AquaCrop. Reference Manual. FAO, Rome, Italy. 218 pp.

Sánchez- Rodríguez, R. (2010) —El Cambio Climático y el Futuro de la Ciudad de México. Retos y Oportunidades. || Lezama, J.L. y Graizbord, B., eds. El Medio Ambiente Hoy. Una Visión de Futuro. Mexico en los Albores del Siglo XXI, El Colegio de México, México; 2010: 193-226.

SIAC. Sistema de información ambiental de Colombia. <http://www.siac.gov.co/ofertaagua>
Tubiello FN, J-F., SM., Soussana, Howden. 2007. Crop and pasture response to climate change. Proc Natl Acad Sci USA. 104(50):19686–19690.

USAID (2007) Adapting to Climate Variability and Change. A Guidance Manual for Development Planning. Washington, D.C. United States International Development Agency (USAID).

UPRA (2020). Plan Nacional de Riego 2020 – 2039. Bogotá: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.

Yonts, D. C., D. E. Eisenhauer y D. Varner. 2003. Managing Furrow Irrigation Systems. Guide G97-1338-A. Cooperative Extension. Institute of Agricultural and Natural Resources. University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, USA

Wit De, C.T. and J. Goudriaan. 1978. Simulation of Assimilation, Respiration and Transpiration of Crops. Simulation Monographs. PUDOC, Wageningen, The Netherlands.

Zimmerman, R. and Faris, C. (2011) Climate change mitigation and adaptation in North American cities, *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3: 181–187.