



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 17 de noviembre del 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad Pitalito

El suscrito:

Carlos Augusto Hoyos Gomez, con C.C. No. 1083903177,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor de la tesis y/o trabajo de grado o pasantía supervisada

titulado ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA E IMPACTO EN LA CAFICULTURA DE LA COMUNIDAD ALTO DE LA CRUZ DEL MUNICIPIO DE PITALITO

presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de

ingeniero agrícola;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA E IMPACTO EN LA CAFICULTURA DE LA COMUNIDAD ALTO DE LA CRUZ DEL MUNICIPIO DE PITALITO

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
HOYOS GOMEZ	CARLOS AUGUSTO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MUJICA RODRIGUEZ	EDINSON

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: Agrícola

CIUDAD: PITALITO

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022 NÚMERO DE PÁGINAS:103

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos_X_ Ilustraciones en general_X_ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas_X_ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros_X_

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: no se requiere de ningún software especial

MATERIAL ANEXO: CD's

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>cambio climático</u>	1. <u>Climate Change</u>		
2. <u>vulnerabilidad</u>	2. <u>Vulnerability</u>		
3. <u>variabilidad climática</u>	3. <u>climate variability</u>		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La presente investigación se enfoca en el análisis de vulnerabilidad a la variabilidad climática que puede llegar a presentar el café, ya que, es sensible a las variaciones climáticas extremas, puesto que, las fluctuaciones de la temperatura y la precipitación aumentan los niveles de infestaciones de plagas y enfermedades sobrepasando el umbral de daño económico; reflejándose en los rendimientos de la producción, afectando la economía de las familias caficultoras de la zona, por lo tanto, la variabilidad climática es una de las amenazas más importantes sobre el sector caficultor.

En los últimos años se han presentado cambios del clima principalmente en la temperatura y precipitación, los cuales han producido consecuencias negativas en los medios de vida, al igual que ha generado un impacto en la agricultura, dificultando así la disponibilidad de alimentos de productores creando inestabilidad económica, social, ambiental e inseguridad alimentaria. Por tal motivo desde esta dimensión, este documento busca dar aporte compilando un conjunto de líneas estratégicas y medidas a nivel ecológico, social y económico, de asistencia técnica en la caficultura para afrontar los efectos de la variabilidad climática, que se han promovido en torno a la protección y gestión hacia un sector cafetero laboyano más resiliente al clima.

Basados en lo anterior, se presentó la necesidad de realizar una investigación que tuvo como objetivo analizar la variabilidad climática y su impacto en la caficultura de la comunidad vulnerable



alto de la cruz corregimiento de Bruselas, lo anterior se logra por medio de un reconocimiento en campo, y aplicando una encuesta semiestructurada aplicada a los caficultores de la zona para conocer la situación que presenta la comunidad, jornadas de capacitación y sensibilización en temas referentes al cambio y variabilidad climáticos basados en la literatura.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The present investigation focuses on the analysis of vulnerability to climatic variability that coffee can present, since it is sensitive to extreme climatic variations, since fluctuations in temperature and precipitation increase the levels of infestations of coffee. pests and diseases exceeding the economic damage threshold; reflecting on production yields, affecting the economy of coffee-growing families in the area, therefore, climate variability is one of the most important threats to the coffee sector.

In recent years there have been changes in the climate, mainly in temperature and precipitation, which have produced negative consequences on livelihoods, as well as having an impact on agriculture, thus hindering the availability of food for producers, creating instability. economic, social, environmental and food insecurity. For this reason, from this dimension, this document seeks to contribute by compiling a set of strategic lines and measures at the ecological, social and economic level, of technical assistance in coffee growing to face the effects of climate variability, which have been promoted around the protection and management towards a more climate-resilient coffee sector in Laboya.

Based on the above, the need was presented to carry out an investigation that aimed to analyze climate variability and its impact on coffee growing in the vulnerable community of Alto de la Cruz corregimiento de Bruxelles, the above is achieved through field recognition. , and applying a semi-structured survey applied to coffee growers in the area to learn about the situation presented by the community, training and awareness sessions on issues related to climate change and variability based on the literature.



APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado: Damaris Perdomo medina

Firma:

Damaris Perdomo M

Nombre Jurado: Luisa marcela cerquera Barrera

Firma:

Luisa Marcela Cerquera B.

Nombre Jurado: Damaris Perdomo medina

Firma:

Damaris Perdomo M



**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA E IMPACTO EN LA
CAFICULTURA DE LA COMUNIDAD ALTO DE LA CRUZ DEL MUNICIPIO DE
PITALITO**

**PRESENTADO POR:
HOYOS GOMEZ CARLOS AUGUSTO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PITALITO-2021**



**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA E IMPACTO EN LA
CAFICULTURA DE LA COMUNIDAD ALTO DE LA CRUZ DEL MUNICIPIO DE
PITALITO**

Presentado por:

HOYOS GOMEZ CARLOS AUGUSTO

Trabajo de grado presentado a la facultad de ingeniería como requisito para optar al título
de ingeniero agrícola

Dirigido por:

EDINSON MUJICA RODRÍGUEZ

Magister en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PITALITO-2021**



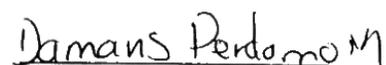
Nota de aceptación



Firmar del director

EDINSON MUJICA RODRÍGUEZ

Magister en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua



Firmar del jurado

DAMARIS PERDOMO MEDINA



Firmar del jurado

LUISA MARCELA CERQUERA BARRERA



DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino, a ti Dios padre todo poderoso, por guiar mis pasos hacia mi meta, por escucharme y permitirme realizar uno de mis mayores sueños, por ser mi compañía y mi consuelo en los momentos más difíciles por darme la fortaleza y sabiduría para lograr mis objetivos.

A mis padres Lucelly y Carlos quienes me han apoyado en este mi proyecto de vida por brindarme apoyo incondicional y aconsejarme de la mejor manera, a mi hermana Angie Paola por colaborarme en esos momentos arduos de trabajo cuando más lo necesite con su colaboración, compañía y apoyo en este proceso tan importante de vida.

Carlos Augusto Hoyos Gómez



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la salud, la sabiduría, la paciencia y las fuerzas para poder cumplir cada uno de los objetivos propuestos, y por guiarme hasta el final de mi trabajo de grado, bendiciéndome y respaldándome en cada momento. A nuestros padres y familia, por apoyarme siempre, y creer en que podría alcanzar tan anhelada meta, por su esfuerzo, su paciencia y sobre todo por su amor hacia mí, dando lo mejor para que pudiera lograrlo.

Un especial agradecimiento a mi profesor y tutor Edinson Mujica Rodríguez, que siempre estuvo dispuesto a transmitir con humildad y profesionalismo el conocimiento suficiente para cumplir los objetivos propuestos.

Carlos Augusto Hoyos Gómez



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1. Objetivo general	16
1.2. Objetivos específicos	16
2. MARCO TEORICO	17
2.1. Precipitación.....	17
2.2. Vulnerabilidad	17
2.3. Variabilidad climática	17
2.4. Evapotranspiración mediante el método del tanque tipo A.....	18
2.5. Balance hídrico.....	19
2.6. Variabilidad climática en Colombia.....	20
2.6.1. Fenómeno del niño en las regiones cafeteras de Colombia.....	21
2.6.2. El clima cafetero del departamento del Huila.....	23
2.6.3. La variabilidad interanual de la precipitación de Colombia.....	24
3. METODOLOGIA	25
3.1. Localización.....	25
3.2. Muestra de estudio y periodo de evaluación.....	26
3.3. Recolección y procesamiento de información hidro-meteorológica.....	27
3.4. Análisis de consistencia de la información hidrometeorológica.....	27
3.4.1. Análisis de homogeneidad de datos.....	28
3.4.2. Prueba de outliers o datos dudosos (outliers).....	30
3.5. Completamiento de datos faltantes	32
3.5.1. Regresión lineal.....	33
3.5.2. Método del promedio.....	34
3.5.3. Completación por razones promedio con estaciones vecinas.....	34
3.5.4. Método de la relación normalizada con datos de la misma estación.....	35
3.5.5. Método del inverso de la distancia al cuadrado	36
3.6. Análisis comparativo de la calidad de la predicción de las precipitaciones estimadas en cada método.....	37



3.7. Elección del mejor método.....	37
3.8. Cálculo y análisis del balance hídrico, precipitación y temperatura media.....	37
40	
3.10. Elaboración y aplicación de encuesta socioeconómica	42
3.10.1. Análisis de eventos extremos “niño y niña”	43
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
4.1. Recolección y procesamiento de información meteorológica.	45
4.2. Análisis de homogeneidad de datos.....	46
4.3. Análisis de datos dudosos	47
4.4. Completación de datos faltantes.....	49
4.4.1. Análisis comparativo de la calidad de la estimación	49
4.5. Análisis comparativo de la calidad de estimación de las precipitaciones obtenidas en cada método con las precipitaciones reales.	51
4.5.1. Coeficiente de determinación (R ²)	51
4.6. Análisis del balance hídrico, precipitación y temperatura media.....	51
4.8. Presentación, análisis e interpretación de resultado de encuesta socioeconómica	61
5. ACCIONES DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN FRENTE A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA	78
5.1.1 Estrategias de adaptación a la variabilidad climática a nivel biofísico	80
5.1.2 Estrategias de adaptación a la variabilidad climática a nivel socio-cultural	82
5.1.3 Estrategias de adaptación a la variabilidad climática a nivel económico productivo.	83
5.1.4 Estrategias de adaptación a la variabilidad climática a nivel político institucional....	84
6. CONCLUSIONES	85
7. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS.....	94



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente del tanque evaporímetro tipo A K_p , fuente: FAO Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos	20
Tabla 2. Valores de kn para la prueba de datos dudosos, (Fuente: U.S. Water Resources Council, 1981. Tabla de valores de kn para una distribución normal.)	35
Tabla 3. Distribución de lluvia.	42
Tabla 4. Estaciones medidoras de parámetros climatológicos.	46
Tabla 5. Estación Sevilla (precipitación mensual total) periodo de 1986 a 2020.	96
Tabla 6. Análisis de homogeneidad de datos.	46
Tabla 7. Análisis de homogeneidad de datos.	47
Tabla 8. Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm)	50
Tabla 9. Coeficientes de determinación (R^2)	51
Tabla 10. Resumen daos históricos promedios mensuales periodo de 1986-2017.	52



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tanque evaporímetro tipo A, fuente: FAO Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Mapa de localización del alto de la Cruz, corregimiento de Bruselas Pitalito (2021).....	¡Error! Marcador no definido.6
Figura 3. Representación gráfica de climograma	¡Error! Marcador no definido.39
Figura 4. Curvas IDF típicas	¡Error! Marcador no definido.0
Figura 5. Ubicación estaciones meteorológicas (2022).	¡Error! Marcador no definido.5
Figura 6. Análisis de consistencia estación, Sevilla.....	48
Figura 7. Análisis de consistencia estación, Sevilla.....	48
Figura 8. Análisis de consistencia estación, Sevilla.....	48
Figura 9. Análisis de consistencia estación, Sevilla.....	49
Figura 10. Análisis de consistencia estación, Sevilla.....	49
Figura 11. Balance hídrico promedio estación Sevilla, serie histórica de 1986-2017.	53
Figura 12. Cuartiles, máximos y mínimos mensuales de para la variable agua retenida en el suelo o almacenaje (AR) para el período 1986-2017 en estación Sevilla	54
Figura 13. Balance hídrico histórico estación Sevilla, serie histórica de 1986-2017.....	55
Figura 14. Balance hídrico año 2015 estación Sevilla.....	56
Figura 15. Climograma estación Sevilla	57
Figura 16. Temperatura media estación Sevilla	58
Figura 17. Curvas IDF estación Sevilla	60
Figura 17. “análisis poblacional”	62
Figura 18. “Recibe información de variabilidad climática de la zona”	62
Figura 19. “principales fuentes de información sobre los cambios del clima”	63
Figura 20. “empleo de información climática para toma de decisiones en el cultivo de café”	65
Figura 21. “como caficultor como emplea la información sobre clima para tomar decisiones en el cultivo de café”	66
Figura 22. “cuál de los Niveles de afectación por eventos climáticos “El Niño” y “La Niña” afectan principalmente”	67
Figura 23. Secuencia de anomalías de precipitación Ppt promedio anual registrada durante el período 1986-2020.	68



Figura 24. Secuencia de anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) promedio anual registrada durante el período 2000-2020	68
Figura 25. Características y magnitud del evento de remoción en masa que se presentó en el caserío Alto de la Cruz del municipio de Pitalito.....	72
Figura 26. principales afecciones extremas que ha vivido como caficultor por el cambio climático.....	75
Figura 27. cuáles son los principales aspectos que afectan al cultivo del café con la variabilidad climática.....	76
Figura 28. otros aspectos que afectan a las comunidades cafeteras.....	77
Figura 29. Elementos clave de un proceso de adaptación a la variabilidad climática (IPCC, 2007) 80	
Figura 30. Líneas de adaptación y mitigación frente a la variabilidad climática.....	80



LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Guía de entrevista semiestructurada- percepción de productores.....	94
Anexo 2. Estaciones medidoras de parámetros climatológicos.....	96
Anexo 3 .análisis de consistencia	100
Anexo 4. Resumen datos históricos del balance hídrico periodo de 1986-2017.	101



RESUMEN

La presente investigación se enfoca en el análisis de vulnerabilidad a la variabilidad climática que puede llegar a presentar el café, ya que, es sensible a las variaciones climáticas extremas, puesto que, las fluctuaciones de la temperatura y la precipitación aumentan los niveles de infestaciones de plagas y enfermedades sobrepasando el umbral de daño económico; reflejándose en los rendimientos de la producción, afectando la economía de las familias caficultoras de la zona, por lo tanto, la variabilidad climática es una de las amenazas más importantes sobre el sector caficultor.

En los últimos años se han presentado cambios del clima principalmente en la temperatura y precipitación, los cuales han producido consecuencias negativas en los medios de vida, al igual que ha generado un impacto en la agricultura, dificultando así la disponibilidad de alimentos de productores creando inestabilidad económica, social, ambiental e inseguridad alimentaria. Por tal motivo desde esta dimensión, este documento busca dar aporte compilando un conjunto de líneas estratégicas y medidas a nivel ecológico, social y económico, de asistencia técnica en la caficultura para afrontar los efectos de la variabilidad climática, que se han promovido en torno a la protección y gestión hacia un sector cafetero laboyano más resiliente al clima.

Basados en lo anterior, se presentó la necesidad de realizar una investigación que tuvo como objetivo analizar la variabilidad climática y su impacto en la caficultura de la comunidad vulnerable alto de la cruz corregimiento de Bruselas, lo anterior se logra por medio de un reconocimiento en campo, y aplicando una encuesta semiestructurada aplicada a los caficultores de la zona para conocer la situación que presenta la comunidad, jornadas de capacitación y sensibilización en temas referentes al cambio y variabilidad climáticos basados en la literatura.

Del mismo modo se contemplaron acciones de mitigación como lo fueron el Seguimiento a reportes de eventos, divulgación de la información, identificación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo, Prevención, control y reducción y prácticas que conducirán al corregimiento de Bruselas hacia la competitividad, la sostenibilidad y ante todo generar cada día mayor consciencia para forjar un territorio prospero para todas las generaciones venideras en temas del cambio climático y seguridad alimentaria.

Palabras claves: cambio climático, vulnerabilidad, variabilidad climática.



SUMMARY

The present investigation focuses on the analysis of vulnerability to climatic variability that coffee can present, since it is sensitive to extreme climatic variations, since fluctuations in temperature and precipitation increase the levels of infestations of coffee. pests and diseases exceeding the economic damage threshold; reflecting on production yields, affecting the economy of coffee-growing families in the area, therefore, climate variability is one of the most important threats to the coffee sector.

In recent years there have been changes in the climate, mainly in temperature and precipitation, which have produced negative consequences on livelihoods, as well as having an impact on agriculture, thus hindering the availability of food for producers, creating instability. economic, social, environmental and food insecurity. For this reason, from this dimension, this document seeks to contribute by compiling a set of strategic lines and measures at the ecological, social and economic level, of technical assistance in coffee growing to face the effects of climate variability, which have been promoted around the protection and management towards a more climate-resilient coffee sector in Laboya.

Based on the above, the need was presented to carry out an investigation that aimed to analyze climate variability and its impact on coffee growing in the vulnerable community of Alto de la Cruz corregimiento de Bruxelles, the above is achieved through field recognition. , and applying a semi-structured survey applied to coffee growers in the area to learn about the situation presented by the community, training and awareness sessions on issues related to climate change and variability based on the literature.

In the same way, mitigation actions were contemplated, such as the Follow-up of event reports, information disclosure, identification of threats, vulnerability and risk, Prevention, control and reduction and practices that will lead to the district of Brussels towards competitiveness, sustainability and above all, generate greater awareness every day to forge a prosperous territory for all future generations on issues of climate change and food security.

Key words: Climate Change, Vulnerability, climate variability



INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática hace referencia a las variaciones en los valores promedios del clima a escala temporal y espacial, más allá de los eventos individuales del tiempo. Como ejemplos de variabilidad climática se cuentan sequías extendidas, inundaciones y condiciones resultantes de los eventos de El Niño y La Niña- Oscilación del sur (ENSO). Los eventos naturales El Niño y La Niña, se producen por la interacción entre la atmósfera y el océano. Las principales características son el incremento y disminución de la temperatura, respectivamente, en las aguas superficiales del océano Pacífico en una gran área de la región ecuatorial situada entre los 10° Norte y 10° Sur. Como resultado del calentamiento y enfriamiento del océano, se afecta el clima terrestre, con disminución de las lluvias en algunas regiones y el incremento en otras, asociadas a cambios en el brillo solar y de la temperatura (Jaramillo & Arcila, 2009).

Estudios liderados por el IDEAM para la presentación de la Primera, Segunda y Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, han evidenciado que Colombia ha aumentado su vulnerabilidad frente al cambio climático y la variabilidad climática, por el aumento de las alteraciones sobre el medio biofísico, en especial de coberturas vegetales y el recurso hídrico, lo que ha incrementado la probabilidad de ocurrencia de amenazas como inundaciones, sequías, desertificación y degradación de suelos, incendios y deterioro en ecosistemas forestales, especialmente en zonas de alta montaña (Schütze *et al.* 2011).

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM 2002), la condición de vulnerabilidad toma importancia en un país como Colombia, si se considera que las condiciones topográficas, de clima e hidrología del país lo hacen propenso al impacto de fenómenos de erosión, deslizamientos, avalanchas y amenazas hidro-meteorológicas, tales como: crecientes torrenciales, desbordamientos, inundaciones, huracanes y tormentas ya que gran proporción de las áreas agrícolas cultivadas se ubican en zonas de alto riesgo climático asociadas a ecosistemas de alta montaña.

Si bien, en la última década las variaciones climáticas afines con los fenómenos “El Niño” y “La Niña” (2010-2011) han traído serios retos para la agricultura colombiana, manifestando que muchos agricultores no tienen la capacidad de manejar indudablemente el riesgo y de adaptarse a fluctuaciones climáticas, Deantonio (2017). Lo cual plantea un escenario aún más complicado, si se tiene en cuenta que los expertos proyectan aumentos en la variabilidad climática con un aumento



de la temperatura promedio anual para el 2050 de 2.5 °C y un aumento de las precipitaciones en un 2.5% a mediados de siglo Lau *et al.*, (2013), que representarán retos frente al manejo de suelos, escenarios más largos de inundación, generación de plagas, entre otros.

De acuerdo con Vergara (2011), el análisis de una población mediante su percepción del clima y el comportamiento permite conocer perspectivas de la población sobre su espacio y recursos, la identificación de las necesidades y potencialidades de esta población, convirtiéndose en un instrumento que fortalece y empodera a la comunidad para motivar su desarrollo y reducir su vulnerabilidad.

El cambio climático se suma a desafíos de tipo ambiental, productivos y de mercado que afronta la caficultura en la actualidad. Algunos de estos cambios (incremento de la temperatura, incertidumbre en el comienzo de las lluvias, entre otros), ya se están experimentando en la región (Aguilar *et al.*, 2005). Por la importancia del café en Colombia y los pronósticos de cambio e impactos sobre el cultivo, es relevante conocer si los caficultores han empezado a percibir cambios en temperatura y patrones de lluvia, si relacionan esos cambios con la productividad del café y si toman medidas específicas de manejo para adecuarse a las variaciones percibidas.

La percepción de cambios en el clima por productores, permite entender mejor el proceso de adaptación que está en marcha y sus debilidades, sin embargo, existe poca información sobre como los productores están percibiendo y experimentando el cambio climático de la región (Zuluaga *et al.*, 2015). Parte de los estudios realizados en la región se centran en percepción, impactos y estrategias adaptativas en respuesta a eventos hidrometeorológicos extremos como, lluvias torrenciales o sequías (Tucker *et al.*, 2010). Es así como, reconociendo la importancia de la industria cafetera para la economía del país, la alta vulnerabilidad de los sistemas rurales a los fenómenos de variabilidad climática y el interés de la Política Nacional de Cambio Climático (Murillo *et al.*, 2017) de promover un desarrollo más resiliente al clima, por ello este documento busca dar su aporte. Por ello, nace la necesidad de realizar el presente estudio para mejorar las condiciones de vida de los caficultores de la zona, proponiendo acciones de adaptación y mitigación que se tomaron teniendo en cuenta un reconocimiento en campo, aplicando encuestas a los caficultores para conocer la situación que presenta la comunidad y cuál es la capacidad de recuperación que poseen y cuales estrategias han adoptado para lograr una variabilidad del clima.



1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Analizar la variabilidad climática y su impacto en la caficultura de la comunidad vulnerable alto de la cruz corregimiento de Bruselas

1.2. Objetivos específicos

- Analizar la variabilidad climática en la zona de estudio y la afectación en la caficultura.
- Identificar la percepción de variabilidad climática y analizar las acciones llevadas a cabo por los caficultores ante los cambios climáticos.
- Realizar recomendaciones a los caficultores para mejorar sus sistemas de producción.



2. MARCO TEORICO

2.1. Precipitación

Según Mejía *et al.*, (2001), es una variable hidrológica que manifiesta más claramente su carácter aleatorio, variando más drásticamente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial). Es común que, en un determinado periodo de tiempo, mientras que en una zona ocurre una lluvia, en otra zona próxima no hay precipitación ninguna. La forma más común y la que mayor interés tiene en la ingeniería, es la lluvia que viene a ser la causa de los más importantes fenómenos hidrológicos su cuantificación correcta es uno de los desafíos que el hidrólogo o el ingeniero enfrentan.

2.2. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad no está definida únicamente en términos de amenazas o impactos, sino también por las vías de desarrollo de una sociedad, su grado de exposición física, la distribución de sus recursos, los desastres padecidos previamente y sus instituciones sociales y gubernamentales (IPCC, 2007). Al ser el recurso hídrico el eje articulador de todos estos componentes, la vulnerabilidad depende en gran medida de la forma en cómo éste se gestione.

2.3. Variabilidad climática

Según IDEAM, (2018), la variabilidad climática y cambio climático en Colombia, la variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc. del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados.

El clima varía en escalas de tiempo y espacio. A través de los años, desde épocas remotas, se han presentado fluctuaciones del clima en diversas escalas de tiempo. Tales fluctuaciones se originan, generalmente, por modificaciones en la forma de interacción entre los distintos componentes del sistema climático y por cambios en los factores radiactivos forzantes Pabon y Montealegre (2013). La Normal Climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el clima; generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años. A la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio se le conoce como “anomalía”. En diferentes años, los

valores de las variables climatológicas (temperatura, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de lo normal. La secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías.

La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa). En palabras de (Montealegre & Pabon, 2002); dentro de las escalas temporales de la variabilidad climática.

2.4. Evapotranspiración mediante el método del tanque tipo A

El tanque tipo A tiene una superficie cilíndrica, con profundidad 25 cm y una superficie expuesta a la atmósfera de diámetro interno de 121 cm. El tanque está generalmente acompañado de un pluviómetro para definir las entradas de precipitación al tanque. La estimación de la evaporación (E) se realiza a través de un enfoque simplificado (Cumming, 2001).

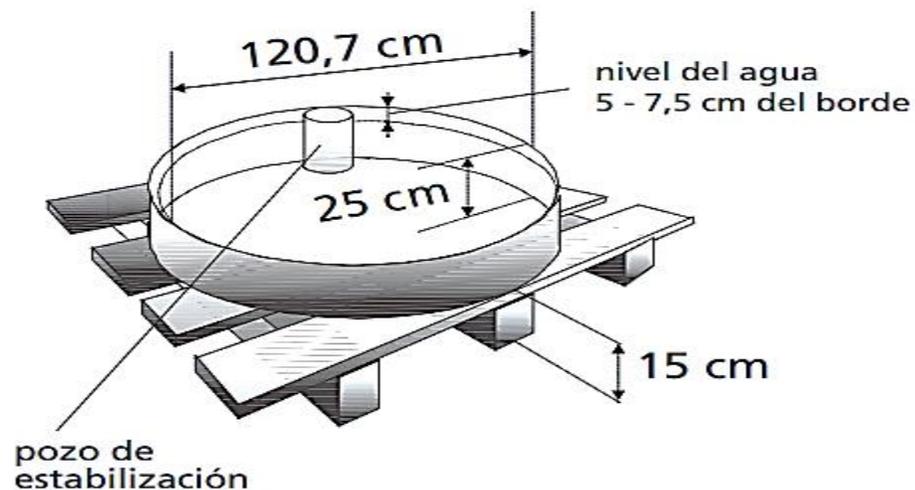


Figura 1 Tanque evaporímetro tipo A. Fuente: FAO Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

La ETo puede determinarse por varios métodos (directos e indirectos), de entre los cuales, en el presente estudio, se aborda el método estándar del tanque evaporímetro Clase A (Allen *et al.*, 2006). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), recomienda utilizar el método estándar FAO56 para determinar ETo, debido a que se ajusta tanto

para zonas áridas como templadas o tropicales (Allen *et al.*, 2006). El tanque evaporímetro Clase A fue desarrollado en los Estados Unidos por el Servicio Nacional del Clima (Doorenbos & Pruitt, 1977), es muy utilizado en zonas agrícolas para planificar la aplicación del agua de riego, debido a que mide el efecto integrado del clima, es de fácil lectura y es muy económico (Allen *et al.*, 2006).

Para estimar ETo a partir del tanque evaporímetro se necesita conocer el coeficiente del tanque, Según FAO (para condiciones ambientales mundiales promedio), el coeficiente Kp varía entre 0.40 y 0.85 (Allen *et al.*, 2006).

Coeficientes del tanque evaporímetro (K_p) para el tanque Clase A para diversas localizaciones y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa (Serie FAO Riego y drenaje No. 24)									
Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo				
	HR media	baja < 40	media 40-70	alta > 70	baja < 40	media 40-70	alta > 70		
Velocidad del viento ($m\ s^{-1}$)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del barbecho a barlovento (m)				
Baja	1	,55	,65	,75	1	,7	,8	,85	
	< 2	10	,65	,75	,85	10	,6	,7	,8
	100	,7	,8	,85	100	,55	,65	,75	
Moderada	1 000	,75	,85	,85	1 000	,5	,6	,7	
	1	,5	,6	,65	1	,65	,75	,8	
	2-5	10	,6	,7	,75	10	,55	,65	,7
Alta	100	,65	,75	,8	100	,5	,6	,65	
	1 000	,7	,8	,8	1 000	,45	,55	,6	
	1	,45	,5	,6	1	,6	,65	,7	
Muy alta	5-8	,55	,6	,65	10	,5	,55	,65	
	100	,6	,65	,7	100	,45	,5	,6	
	1 000	,65	,7	,75	1 000	,4	,45	,55	
> 8	1	,4	,45	,5	1	,5	,6	,65	
	10	,45	,55	,6	10	,45	,5	,55	
	100	,5	,6	,65	100	,4	,45	,5	
	1 000	,55	,6	,65	1 000	,35	,4	,45	

Tabla 1 Coeficiente del tanque evaporímetro tipo A K_p . Fuente: FAO Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

2.5. Balance hídrico

El balance hídrico superficial de oferta y demanda es una herramienta para evaluar cuantitativamente, en las dimensiones espacial y temporal, los recursos hídricos en una unidad geográfica (UNESCO, 1982). Las técnicas para su evaluación proveen medios útiles desde una perspectiva científica y práctica. Su potencial es tal que permiten la inferencia de posibles efectos de los múltiples niveles de interacción de los parámetros del ciclo hidrológico (Soria *et al.*, 2008),



proveen medios para definir magnitudes de variables no cuantificables por métodos o cálculos directos (Shuttleworth, 1993) y proporcionan información para identificar deficiencias y fortalezas en las redes de monitoreo e identificar errores sistemáticos en las mediciones (UNESCO, 1982).

En ingeniería, los estudios de balance hídrico proveen medios para asesorar las condiciones para atender los requerimientos del sistema intervenido (García *et al.*, 1999).

Cuando el análisis resultante sugiere la existencia de déficit en el sistema, las soluciones se enfocarán hacia el diseño de estrategias de almacenamiento de agua en época de lluvias para su utilización durante la época de estiaje, la planificación de estrategias para lograr una distribución equitativa principalmente durante la época de carencia, el análisis de posibilidades de transferencia del recurso desde otros sistemas, el reúso o reciclaje de agua, la necesidad de definir estrategias alternativas para proveer el recurso y la administración de la energía necesaria para que aquellas alternativas sean viables, entre otros (García *et al.*, 1999).

2.6. Variabilidad climática en Colombia

García *et al.*, (2012). definen que los fenómenos de variabilidad climática que gobiernan el clima de Colombia, están controlados en gran medida por la Zona de Congruencia Intertropical, por la dinámica de los océanos Pacífico y Atlántico y por la dinámica de las cuencas del Amazonas y el Orinoco. Lo anterior resulta en una compleja respuesta hidrológica que, entre otros aspectos, dificulta la construcción de escenarios de cambio climático que apoyen la toma de decisiones para determinar el comportamiento de los recursos hídricos ante presiones de cambio y variabilidad climáticos con bajos niveles de incertidumbre. Colombia tiene regímenes de precipitación y de variabilidad climática muy significativos a lo largo y ancho del país: en el sur de Colombia, la estacionalidad entre lluvia y menos lluvia está invertida con respecto a la del centro del país, mientras que, en la región Andina, los regímenes de precipitación tienen una tendencia bimodal y en la región Caribe la tendencia es unimodal. Con un régimen climático que varía significativamente entre regiones, los efectos de las alteraciones climáticas no se perciben de manera homogénea en el territorio nacional.

Durante los últimos años, múltiples estudios han reportado el incremento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos de variabilidad climática en el mundo. El Centro Internacional de Desastres indica que entre 1900 y 2005 la ocurrencia de desastres asociados con



fenómenos hidrometeorológicos ha crecido de manera exponencial, tendencia que se ha exacerbado desde los años 70 y 80. Se podría argumentar que, a partir de estos desastres, el mundo empezó a enfrentar nuevos escenarios de riesgo y de clima, independientemente de la certeza científica con la que se pueda demostrar la relación existente entre el cambio climático y los fenómenos de variabilidad climática (García *et al.*, 2012).

Colombia no ha sido ajena a los cambios dramáticos del clima global. En el año 2010, el país evidenció uno de los periodos más críticos en términos de anomalías en precipitación frente al promedio anual. El mes de julio de 2010 fue el más lluvioso de los últimos 30 años, debido a que persistieron las lluvias por encima de lo normal en la región Caribe, Andina y Pacífica. Asimismo, en diciembre de 2010, se presentaron inundaciones severas por los efectos de la Niña. Este último fenómeno también tuvo una actividad significativa durante el año 2011 y se anuncia, con la probabilidad de 65%, el desencadenamiento del fenómeno del Niño para finales de este año y principios del 2013 (García *et al.*, 2012).

En aras de contribuir con la generación de conocimiento sobre los impactos de estas condiciones sobre los recursos hídricos del país, el IDEAM ha realizado múltiples análisis para determinar cuál es el efecto que genera las anomalías de precipitación y de temperatura asociados con la variabilidad climática, sobre los caudales de las corrientes principales.

2.6.1. Fenómeno del niño en las regiones cafeteras de Colombia.

El evento de El Niño se puede presentar en forma recurrente, con intervalos que pueden ocurrir entre cada dos y siete años; normalmente inicia su formación entre abril y junio, y alcanza su máximo desarrollo ocho meses después, entre diciembre y febrero. La Niña tiene una duración media de doce meses, pero puede prolongarse hasta tres años y se presenta en forma recurrente pero no periódica y ocurre una o dos veces cada diez años (Jaramillo *et al.*, 2000).

La incidencia de El Niño en la zona cafetera de Colombia está asociada principalmente a la deficiencia hídrica en el suelo y a sus efectos sobre el cultivo del café; por el contrario, La Niña está asociada a excesos hídricos en el suelo. Los efectos de los dos eventos sobre la zona cafetera, no se pueden generalizar, es así como en algunas regiones con bajo brillo solar y altas precipitaciones el efecto de El Niño puede ser benéfico para la producción de café, por los incrementos en el brillo solar. En otras regiones puede ejercer una acción perjudicial, como



ejemplo, en zonas cálidas, con suelos de baja retención de humedad y en regiones con lluvias menores a 1.500 mm al año, regiones que se verían favorecidas con eventos La Niña (Jaramillo & Arcila, 2009).

Los efectos de El Niño sobre la zona cafetera, no se pueden generalizar, es así como en algunas regiones con bajo brillo solar y altas precipitaciones su efecto puede ser benéfico para la producción de café, por los incrementos en el brillo solar. En otras regiones puede ejercer una acción perjudicial, como, por ejemplo, en zonas cálidas, con suelos de baja retención de 60 Humedad del suelo (%) 20 cm 50 40 30 20 10 0 humedad y en regiones con lluvias menores a 1.500 mm al año.

En la región cafetera de Colombia el evento del Niño se disminuye las cantidades de lluvia esperadas, especialmente durante los meses de diciembre, enero, febrero, junio, julio y agosto. Por efectos de disminución de la precipitación y disponibilidad de agua en el suelo, e incrementos en la temperatura y el brillo solar se afecta el desarrollo vegetativo y productivo del café. En las regiones donde normalmente se presentan altas cantidades de lluvia anual (>2.500 mm) los excedentes de lluvia y disminución del brillo solar, por efectos de La Niña, pueden ejercer una acción perjudicial para la producción de café y, adicionalmente, un aumento en 5 la incidencia y severidad de enfermedades. Otros efectos asociados a este evento son los procesos erosivos por sobresaturación de los suelos y las altas pendientes, que dan origen a movimientos en masa y derrumbes, ocasionando daños a la infraestructura vial y en las construcciones Jaramillo & Arcila, 2009).

Acorde a (Riaño, 2014), el promedio de temperaturas en las regiones cafetaleras de Colombia se ha incrementado en cerca de un grado en 30 años y, en algunas áreas montañosas el incremento a representado el doble. Las lluvias en estas áreas fueron más de 25% por encima del promedio en los últimos 25 años. Con temperaturas elevadas, el brote de plantas se trunca o sus frutos maduran demasiado pronto como para lograr una alta calidad. El calor también trae consigo plagas, como la roya, un hongo que no podría sobrevivir en el clima fresco de antes, pero sí en el nuevo. Las intensas lluvias dañan las frágiles plantas Arábica, y los períodos de sequía que permiten a la planta florecer y producir granos ocurren con menos frecuencia. Por ello, aun medio grado puede hacer una gran diferencia para el café, afectando el crecimiento y el aumento de plagas y enfermedades (Ross, 2012) .Situación que debe ser analizada en departamentos como el Huila,



en donde el café se consolida como el principal aportante al Producto Interno Bruto (PIB) y primer producto en exportación del departamento (Delgado *et al.*, 2000).

Este escenario, hace de la adaptación al cambio climático y a la variabilidad climática, una tarea prioritaria para un país como Colombia y sus sistemas agrícolas; definida por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC (2007), como “el ajuste en los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos actuales esperados, o sus impactos, que reducen el daño causado y que potencia las oportunidades benéficas. Se puede decir entonces, que la adaptación consiste en los procesos que los individuos, las comunidades o los países generan ante los cambios ambientales, es decir, el grado como se afrontan y se reducen los efectos del cambio climático y la vulnerabilidad a la que se enfrentan”.

En el caso de Pitalito, como cualquier otro municipio del Huila, se enfrenta a los retos del cambio y variabilidad climáticos. El municipio hace parte del Plan Huila 2050, preparándose para el cambio climático, el cual es el punto de partida para generar una visión de largo plazo. Esta visión es compartida por los diferentes actores huilenses incluyendo la Gobernación y la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) así como diversas entidades públicas y privadas que conforman el Consejo Departamental de Cambio Climático del Huila.

2.6.2. El clima cafetero del departamento del Huila

El café del Huila se cultiva en el sur de la Región Andina por comunidades campesinas en 35 municipios, los cuales albergan más de 83.000 familias que cultivan 144.895 hectáreas de café arábico de las variedades Castillo, Colombia, Caturra, Típica, Borbón y Tabí. Desde el 16 de abril de 2013, nuestro café cuenta con ‘Denominación de Origen’ y se caracteriza por tener una impresión global balanceada, con notas dulces, acidez y cuerpo medio/alto, fragancia y aroma intenso, con sensaciones frutales y acarameladas.

Así mismo este café es cultivado y cosechado en 10 municipios, por 39.698 familias campesinas entre el nacimiento del río Magdalena, afluente más importante del país, lo que genera una particularidad en su condición climática.



En esta sub región, se encuentran ubicados los dos municipios con mayor área sembrada de café en Colombia, Pitalito y Acevedo.

La caficultura del departamento está ubicada entre los 1.200 y 2.000 m de altitud, con temperatura media anual de 18,9°C y brillo solar de 1.450 horas al año. Al analizar solo estos tres aspectos climáticos, podría deducirse que son las condiciones adecuadas para el establecimiento del cultivo a libre exposición solar, pero son la precipitación anual y las deficiencias hídricas marcadas, en períodos continuos del año, los que podrían ser limitantes para el cultivo, bajo este sistema (IGAC, 2017). En este sentido, las deficiencias hídricas en el suelo donde se cultiva el café, superiores a 150 mm, por más de tres o cuatro meses continuos, son perjudiciales para el desarrollo vegetativo y productivo del cultivo; y ante esta situación, las alternativas son establecer riego en estas épocas o la implementación de sistemas de producción de café con el acompañamiento de árboles o en sistemas agroforestales (Ramírez *et al.*, 2010).

La precipitación es un factor importante que tiene un efecto significativo en la floración y, por tanto, en la producción y en su época de maduración. El consenso de varios autores indica que una precipitación anual entre 1800 y 2500 mm es ideal para el C. arabica y que el mínimo absoluto para esta especie se ubica cerca de los 1200 mm. Precipitaciones superiores a los 3000 mm deben considerarse inapropiadas para el cultivo económico del café (Mora, 2008).

2.6.3. La variabilidad interanual de la precipitación de Colombia.

El análisis de la información histórica de la precipitación en el país permite identificar variaciones de diferente escala relacionadas con la variabilidad climática (IDEAM, 1997). En particular, es posible encontrar oscilaciones interanuales. Existen claras evidencias de la influencia de los procesos termodinámicos de los océanos Atlántico y Pacífico en la variabilidad de la precipitación en diferentes regiones de Colombia (Montealegre, 2009).



3. METODOLOGIA

El estudio combina técnicas cuantitativas y cualitativas para la recolección y el tratamiento de la información en donde los productores de la comunidad se reunieron para dialogar sobre los principales problemas que se les han presentado y que están a la vez presentes en sus parcelas y sus familias. La información primaria proviene de una encuesta a una muestra de los hogares caficultores complementada con la información climatológica de la zona. Empleando las respuestas de los productores a la encuesta aplicamos técnicas del análisis multivariado de datos para el análisis de condiciones de vulnerabilidad de los productores cafeteros.

En este punto se elaboró entrevistas semiestructuradas, en la cual se abordó temáticas relacionadas a cambios suscitados en el clima y su incidencia en el rendimiento de los cultivos, eventos extremos de clima (sequías, lluvias intensas, vientos fuertes, eventos extremos, etc.), rentabilidad del cultivo, situación socioeconómica. De esta manera, se pudo conocer las experiencias y percepciones de los productores acerca de los cambios suscitados en el clima, la atención institucional que reciben actualmente, la situación socioeconómica y la importancia del cultivo.

3.1. Localización.

Vereda Alto De La Cruz: La vereda Alto de la Cruz pertenece al corregimiento de Bruselas y se ubica al sur de su casco urbano, sobre los 1.725 m.s.n.m. Sus límites son: al norte con Las Brisas, El Mesón, El Diamante y el casco urbano de Bruselas, al sur con El Encanto y la vereda Paraíso de Palestina, al oriente con Las Brisas y Nazaret y con La Cristalina y Santafé al occidente. Cuenta con 420 habitantes distribuidos en 80 familias y 70 viviendas, cuyo principal sustento se deriva de la producción de café, plátano, yuca, maíz, frijol y lulo, los cuales se comercializan en Bruselas y Pitalito.

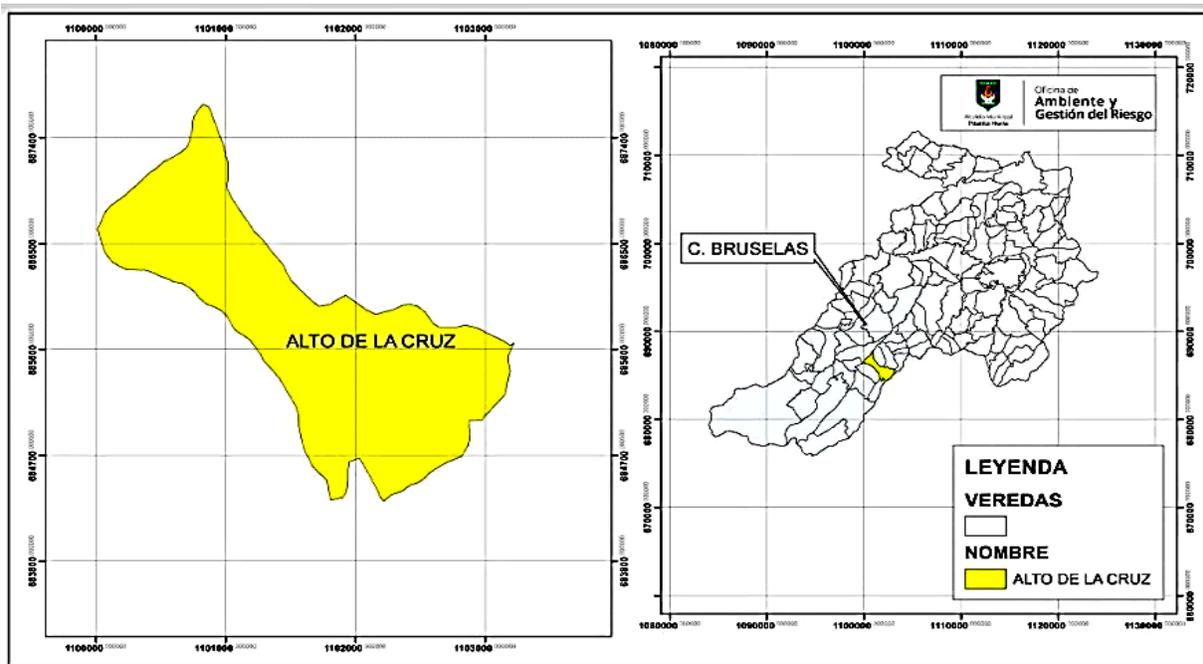
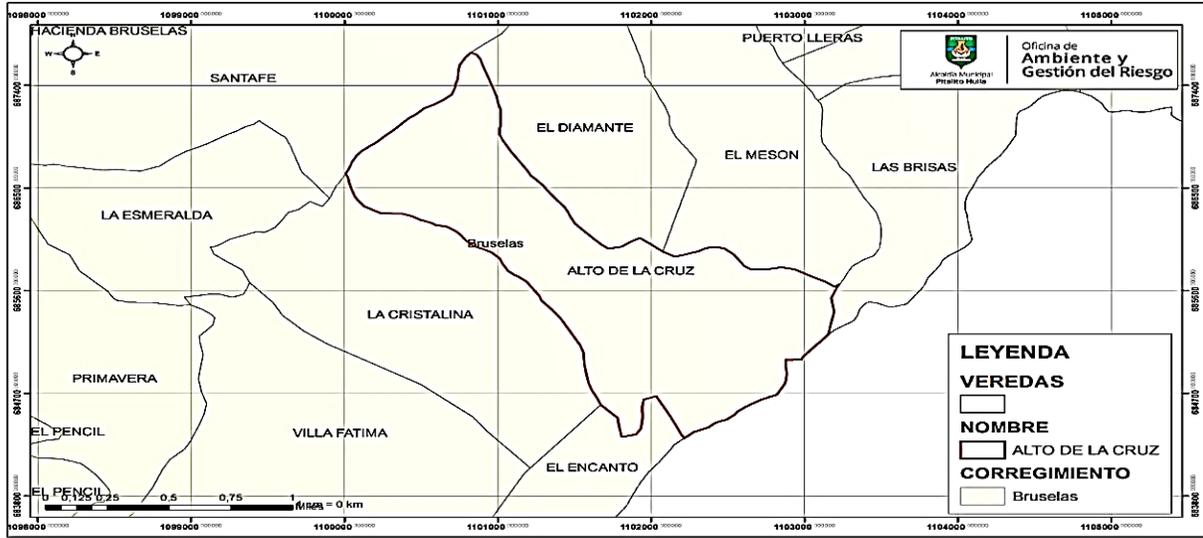


Figura 2 Mapa político del Municipio de Pitalito-Huila tomado de Mapa de localización del alto de la Cruz, corregimiento de Bruselas Pitalito (2021).

3.2. Muestra de estudio y periodo de evaluación.

El estudio se realizó con una población de 60 familias de la comunidad del alto de la cruz del corregimiento de Bruselas del municipio de Pitalito de las cuales se les procedió a realizar la



respectiva encuesta participativa que se realizó en cada una de familias. Dicha información en campo fue registrada entre el período abril a septiembre del 2021.

3.3. Recolección y procesamiento de información hidro-meteorológica.

El análisis climatológico realizado se puede resumir en los siguientes pasos:

- ✓ En primera instancia se identificó las estaciones hidro climatológicas del IDEAM de las cuales se solicitaron los parámetros climatológicos de precipitación y temperatura de la zona de estudio y de sus alrededores, en efecto se trabajó con la estación de Sevilla la más cercana al alto de la cruz y con 4 estaciones cercanas para efectos de completación de datos.
- ✓ Cálculo de datos faltantes de la estación de estudio mediante métodos tales como: regresión lineal, promedió aritmético, relación normalizada de estaciones vecinas, relación normalizada con datos de la misma estación, para identificar el método más eficiente en cuanto a el coeficiente de correlación de los datos hallados en los métodos evaluados.
- ✓ Después de realizar el análisis de información correspondiente a temperatura máxima y mínima de la estación de estudio Sevilla la más cercana a la zona de estudio mediante diagramas.
- ✓ Análisis de los registros climatológicos del IDEAM en la zona de estudio con el fin de identificar periodos con variabilidad climática prolongados, máximos y/ o mínimos históricos y su repercusión en la caficultura.

3.4. Análisis de consistencia de la información hidrometeorológica.

Según Aliaga (1983), define la inconsistencia es sinónimo de error y se presenta como saltos y tendencias, y no Homogeneidad es definido como los cambios de los datos vírgenes con el tiempo. Así, por ejemplo, la no homogeneidad en los datos de precipitación es creados por fuentes principales; a) Movimiento de las estaciones en una distancia horizontal, b) Movimiento en una distancia vertical y c) Cambio en el medio ambiente de una estación como árboles, construcción de casas, entre otros. Antes de iniciar cualquier análisis o utilizar los datos observados en las estaciones pluviométricas, hay necesidad de realizar ciertas verificaciones de los valores de precipitación.



Así mismo el proceso de recolección de datos puede tener variaciones por diversos factores entre los que se distinguen:

- ✓ Cambio del tipo de sensor o de instrumento
- ✓ Cambio del observador o cambio en la hora de observación
- ✓ Datos perdidos por descuido del observador
- ✓ Deterioro de los sensores
- ✓ Uso de coeficientes de calibración incorrectos
- ✓ Variación en el suministro de energía o en el comportamiento electrónico de los instrumentos

Los datos hidrológicos en general, están constituidos por una larga secuencia de observaciones de alguna fase del ciclo hidrológico obtenidas para un determinado lugar. No obstante que un registro largo sea lo deseable, se debe reconocer que cuanto más largo es el período de registro, mayor será la posibilidad de error. Una serie generada en esas condiciones, si los errores o cambios fueran apreciables, es inconsistente, o carece de homogeneidad. (Quisque, 2012). El análisis de homogeneidad de la información hidro-meteorológica es uno de los aspectos más importantes que se realizó los cuales se describirán a continuación:

3.4.1. Análisis de homogeneidad de datos.

El análisis de homogeneidad de datos se realiza de acuerdo con la metodología presentada por (Salas *et al.*, 1980), empleando la prueba estadística t de Student, el cual indica que cuando la pérdida de homogeneidad es un abrupto cambio en la media, esta prueba es muy útil y poderosa para detectar este tipo de inconsistencias.

Para obtener mejores resultados, se recomienda que la muestra total se divida en dos partes con tamaños iguales para que las medias sean muy similares. Se considera que una muestra es homogénea si el valor del estadístico t_d de la prueba t de Student que se calcula con la siguiente ecuación:

➤ **Desviación estándar ponderada**

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (Ecu.1)$$



- X_1 media de la muestra 1
 - X_2 media de la muestra 2
 - n_1 número de registros de la muestra 1
 - n_2 número de registros de la muestra 2
 - S_1 varianza de la muestra 1
 - S_2 varianza de la muestra 2
- **Desviación de las diferencias de los promedios**

$$S_{\bar{d}} = S_p * \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecu. 2})$$

- **Cálculo del T, calculado (Tc) según:**

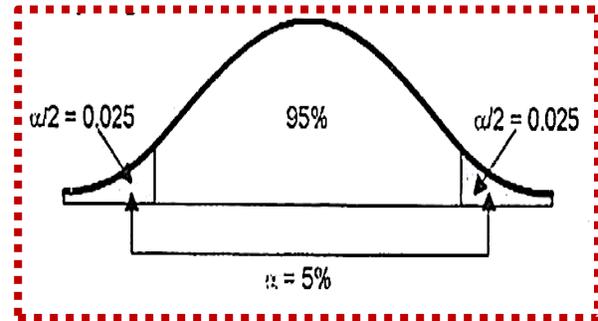
$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}} \quad (\text{Ecu.3})$$

- **Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:**

- **Grados de libertad**

$$GL = GL_1 + GL_2 \quad (\text{Ecu.4})$$

Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%



➤ **Nota: A considerar si**

- Si $|t_c| \leq t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente)
En este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección.
- Si $|t_c| > t_t (95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente)
En este caso, siendo las medias $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ estadísticamente, se debe corregir la información.

3.4.2. Prueba de outliers o datos dudosos (outliers).

Son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante (Chow, 1994). Estos pueden darse debido a errores en la toma del registro o en la recolección de datos causan dificultad al momento de ajustar una distribución a los datos. Las siguientes ecuaciones de frecuencia pueden utilizarse para detectar datos dudosos altos y bajos.

Los Outliers son datos que se alejan significativamente de la tendencia de la información y que afectan de una manera considerable la magnitud de los parámetros estadísticos de la serie, especialmente en muestras pequeñas. Para detectar los datos dudosos, se calcularon umbrales superiores e inferiores para cada serie de datos de caudales máximos de las estaciones analizadas, de acuerdo con las siguientes ecuaciones de frecuencia, recomendadas por Ven Te Chow:

$$yH = \bar{y} + K_n * s_y$$

$$yL = \bar{y} - K_n * s_y$$

(Ecu.5)



Donde:

yH es el umbral de dato dudoso alto

yL es el umbral de dato dudoso bajo

Kn es tal como se muestra en la tabla 3 para un tamaño de muestra n .

El procedimiento de la selección de este procedimiento de detección de valores atípicos se basó en el ensayo de varios procedimientos en un logaritmo simulado log-Pearson los cuales constatan de pasos sencillos y aplicativos por medio de programas como Excel:

- ✓ La selección de este procedimiento de detección de valores atípicos se basó en el ensayo de varios procedimientos en un logaritmo simulado log-Pearson y en los datos de precipitación observadas y la comparación de los resultados.
- ✓ Si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos.
- ✓ Si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos
- ✓ Cuando la asimetría de la estación esta entre -0.4 y +0.4, deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

Con esta metodología solo se pueden determinar los Outliers en estaciones que tienen más de 10 registros. Para las estaciones que contaban con más de 10 datos de registro, los valores que se encontraran fuera de los umbrales, serian analizados, para verificar si en la fecha de registro existió algún evento meteorológico que pudiera haber afectado la respuesta hídrica de la cuenca, tal como huracán, tormenta particular, o en caso contrario, años Niño, que pudieran dar una explicación del porque el dato se encontraba fuera del rango de los umbrales.

En caso de encontrar explicación lógica, el dato fue considerara como válido, y en caso contrario el dato seria descartado.

En la Tabla.5 se presentan los resultados de los umbrales y los Outliers registrados para las estaciones de estudio analizadas.



Tabla 2 valores de kn para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U.S. Water Resources Council, 1981. Tabla de valores de kn para una distribución normal.)

(NOTA: Se aclara que el desarrollo de las pruebas mencionadas con anterioridad, se abarca detalladamente dentro del (Desarrollo metodológico o resultados) contenido en el presente proyecto.)

3.5. Completamiento de datos faltantes

Una vez definidos los períodos de registro homogéneos por parámetro climatológico y determinada la estación finalmente a utilizar en la zona de estudio y sus alrededores, se ha procedido a completar aquellos registros a nivel mensual que no fueron medidos o que no se encuentran en el reporte original del IDEAM en la estación de Sevilla como referente a estación principal con información de las estaciones circundantes bajo frutal, la candela, insfopal, laguna.

Muchas estaciones medidoras tienen períodos faltantes en sus registros, debido a la ausencia del observador o a fallas instrumentales. A menudo es necesario estimar algunos de estos valores faltantes para lo cual existen muchas formas de suplir estas deficiencias y el grado de aceptación de uno de estos métodos va a depender de la cantidad de observaciones faltantes en el registro de datos.

Por lo tanto, antes de elegir un método para la completación de datos faltantes se debe revisar la homogeneidad y consistencia de estos. Para completar una serie climática o hidrológica, hay que tener en cuenta lo siguiente: Los métodos de completación de datos faltantes hidrológicos que se presenta en esta investigación, son los siguientes:



- ✓ Completación de datos mediante regresión lineal.
- ✓ Completación de datos mediante promedio.
- ✓ Completación de datos mediante el método de razones normales.

3.5.1. Regresión lineal

Este método es uno de los más utilizados; se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales. Se requiere establecer una regresión y correlación lineal con la estación patrón consistente, mediante una ecuación lineal de dos variables:

$$\hat{y} = a + b * x \quad (\text{Ecu.6})$$

Donde:

y: Valor estimado de la precipitación para la estación carente (mm)

x: Valor de precipitación registrado en la estación patrón (mm)

a, b: Constantes de regresión.

Este método, a pesar de ser de muy fácil aplicación, no puede ser aplicado indiscriminadamente, dado que es necesario saber si la calidad del ajuste es buena o mala. Una mala calidad del ajuste, puede llevar a la generación de información sin consistencia, lo cual, en lugar de mejorar la situación, la empeora por la agregación estadística de datos no representativos de la realidad que se pretende estimar (ROSTLAC, 1982)

Por esta razón, es posible utilizar el coeficiente de correlación como una forma de establecer la calidad de los datos. Con la determinación del coeficiente de correlación (R), se puede estimar el grado de correlación lineal que existe entre las estaciones en estudio, y cuyo valor oscila entre -1 R 1 , donde el valor 0 indica una correlación nula, en tanto los valores 1 y -1 , denotan una correlación total. En términos hidrológicos, se considera aceptable una regresión cuyo valor de R sea mayor a $0,8$ ó menor que $-0,8$ (Pizarro, 1993). Además, deben utilizarse distintos métodos estadísticos, que permitan evaluar la calidad de los ajustes obtenidos.



3.5.2. Método del promedio

El método de los promedios es un método sencillo que se utiliza para obtener los datos faltantes de una estación ya sea mensual o anual de los datos, siendo la relación de los promedios de datos es igual a la relación de los datos parciales para ello se toman los datos comunes en cada estación mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\tilde{y}}{\tilde{x}} = \frac{y}{x} \quad (\text{Ecu.7})$$

$$y = \frac{\tilde{y}}{\tilde{x}} * x \quad (\text{Ecu.8})$$

\tilde{y} : dato parcial de la estación faltante.

\tilde{x} : dato parcial de la estación completa.

X: estación de referencia completa.

Y: estación incompleta.

3.5.3. Completación por razones promedio con estaciones vecinas.

Es complementario al método anterior, y se define por la siguiente base conceptual. Si en una zona cualquiera, la precipitación normal de la estación X, difiere en más de un 10% con alguna de las estaciones vecinas, entonces es necesario aplicar la siguiente ecuación (ROSTLAC, 1982):

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right] \quad (\text{Ecu.9})$$

Donde:

Px: Dato perdido para el día, mes o año en la estación x

Nx: Precipitación media diaria, mensual o anual en la estación faltante x

N1...Nn: Precipitación media diaria, mensual o anual en las estaciones auxiliares (medias de todas las series históricas)



n: número de estaciones consideradas

P1...Pn: precipitación registrada en las estaciones auxiliares del día, mes o año en la falta el dato en la estación x

Lo que se logra al aplicar este método, es realizar una estimación para la estación faltante, en función de las relaciones entre las precipitaciones de un período en estudio y las precipitaciones normales (Pizarro *et al*, 1993).

Cabe señalar que se entiende por precipitación normal, el promedio de los últimos treinta años; de no contarse con los registros de esta duración, se puede establecer un periodo común a las estaciones en análisis, que se sugiere sea mayor o igual a 20 años en lo posible.

3.5.4. Método de la relación normalizada con datos de la misma estación

Cuando no se dispone de estaciones cercanas o circundantes a la estación incompleta, o bien las existentes no cuentan con observaciones de los datos (meses faltantes), se puede estimar el valor mensual faltante por medio del Método de la relación normalizada con datos de la misma estación que permitirá estimar los registros mensuales faltantes de la estación de estudio. (Herrera G., 2009).

El lugar de tomar los datos de las estaciones adyacente, se procede a tomar los datos de los meses restantes dentro del mismo año mediante el planteamiento de ecuaciones que permitirán encontrar el dato faltante, la ecuación planteada será de la siguiente forma:

$$\frac{X_i}{N_i} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i + \sum_{j=1}^m X_j}{P} \quad (\text{Ecu.10})$$

Donde:

i = 1,2, 3...n (meses o periodos) de datos faltantes

Ni=Promedio de precipitación mensual a lo largo del periodo de registro para el mes i

Xi=Dato faltante (precipitación de un mes determinado para un año determinado)

Xj=Precipitación para los meses en los cuales, si existe registro, dentro del mismo año al que pertenece Xi

P=Promedio anual de precipitación para todo registro existente

Pi = Precipitación de la estación i en el periodo j (mm)

Di = Distancia entre estación y celda correspondiente (Km)



3.5.5. Método del inverso de la distancia al cuadrado

El Método de la Distancia al cuadrado es uno de los más recientes. Su importancia radica en la fácil aplicación en un S.I.G. Este método sería similar al de la Media Aritmética, pero con el agregado de una ponderación por distancia. Pizarro y Ramírez (2000), señalan que dicha ponderación, al tener un factor cuadrático, recibe una influencia bastante fuerte del monto pluvial de las estaciones más cercanas y al considerar una serie o variedad de puntos de estimación, puede formar concentraciones concéntricas de los montos estimados en torno a las estaciones.

Asu vez es un método muy utilizado en estudios hidrológicos y geográficos, también conocido como U.S. National Weather Service (WS), Ramírez *et al.*, (2015). En este caso, la influencia de la lluvia en una estación para el cálculo de esta en cualquier punto es inversamente proporcional a la distancia comprendida entre la estación y las estaciones auxiliares (OMM, 2011). La ventaja más importante del WS es que utiliza datos diarios, agrupados en periodos de cinco o diez días, mensuales o anuales, (Toro-Trujillo *et al.*, 2015).

La información para la aplicación de este método no va más allá de poseer la ubicación exacta de los puntos de medición, además de la información pluvial. Entre los inconvenientes que se vislumbran, está el que sólo considera distancias, pero no direccionalidad de la precipitación, la cual a su vez puede ser influida por condiciones tanto del terreno como atmosféricas. Además, su estimación va a depender en forma importante, de la separación que tengan las estaciones en la respectiva zona.

Pizarro *et al.*, (2000), señalan que este método divide la cuenca o área de estudio en celdas, considerando que la precipitación dentro de una celda sin medida, es una función de la precipitación de las celdas próximas que poseen medidas y del inverso de la distancia que las separa elevada al cuadrado.

$$P_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * (1/D_i^2)}{\sum_{i=1}^n (1/D_i^2)} \quad (\text{Ecu.11})$$

Donde:

P_{mj} = Precipitación media del área en el periodo j (mm)

P_{ij} = Precipitación de la estación i en el periodo j (mm)



D_i = Distancia entre estación y celda correspondiente (Km)

3.6. Análisis comparativo de la calidad de la predicción de las precipitaciones estimadas en cada método

Una vez obtenida la información faltante, se realizó una comparación entre los valores reales y los valores estimados por los diversos métodos de completación. Se analizó los resultados generados por cada uno de los métodos comparándolos entre sí para detectar similitudes y diferencias. Para esto se aplicarán las siguientes medidas de bondad de ajuste:

Mediante el Coeficiente de determinación (R^2) se analizó la bondad del ajuste de los modelos. Este coeficiente expresó el porcentaje de la variación total de las precipitaciones reales que son explicados por el método de completación.

3.7. Elección del mejor método

Una vez que se obtuvieron los resultados, se pudo analizar el comportamiento de cada tipo de método, por estación, de manera de conocer cuál de ellos se encontró más próximo a las precipitaciones reales y qué método arrojó los mejores resultados para cada estación en particular. El fundamento estadístico en los cuales se basó este estudio, para elegir el método más adecuado, es el siguientes:

Mayor valor del Coeficiente de Determinación (R^2).

3.8. Cálculo y análisis del balance hídrico, precipitación y temperatura media

El balance hídrico se estimado mediante el método del tanque evaporímetro, usando plantillas de Excel en la interpretación de resultados. El tanque evaporímetro Clase A, proporciona una medida integrada del efecto de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo que ocurre en una superficie libre de agua, a pesar de que existen varios factores que difieren entre la evaporación y la transpiración, como: reflexión de la radiación solar, almacenamiento de calor en el agua contenida en el tanque, turbulencia alrededor del tanque, transferencia de calor a través de las paredes del tanque y localización (variables que influyen en el balance energético), el tanque evaporímetro puede utilizarse para estimar E_{To} en forma confiable cuando las lecturas de la lámina de agua se realizan correctamente (Allen *et al.*, 2006).



La ETo se determina a través de la utilización de un coeficiente empírico derivado de las condiciones físicas y ambientales que rodean al tanque, el cual varía entre 0.40 y 0.85, ya mencionado anteriormente el cual podemos encontrar en la tabla.1 según las condiciones ambientales de Pitalito, con un k_p de 0,85.

El K_c integra las características que distinguen el cultivo real del cultivo de referencia. Representa cuatro factores distintivos: la altura del cultivo, el albedo de la superficie suelo-cultivo, la resistencia del follaje o manto de las hojas y la evaporación del suelo expuesto. El K_c está limitado únicamente a un cierto rango climático (la mayoría de los efectos climáticos son asumidos por el ETo), por lo que se define básicamente de acuerdo con las características del cultivo y su variación estacional durante el periodo de crecimiento. Estos aspectos permiten que en general se acepte valores de K_c estandarizados para ciertos climas y tipos de cultivos (Allen *et al.*, 2006).

El consumo de agua de la vegetación agrícola y natural se estima a través del enfoque K_c ETo (Allen *et al.*, 2006):

$$ETc = Kc * Kp * Eto \quad (Ecu.12)$$

Donde:

ETc=balance hídrico mm

Kc=coeficiente del cultivo

ETo=evaporación total del mes mediante el tanque tipo A.

Como resultado se obtienen la época y la magnitud de deficiencias (DEF) y excesos (EXC) hídricos. A partir de los valores encontrados con el cálculo de balance hídrico se computaron las frecuencias porcentuales mensuales de las situaciones de EXC, DEF. Para cada mes, se ordenaron las situaciones hídricas de menor a mayor, considerando como negativas a las DEF, positivas a los EXC. Luego se determinaron para la variable agua retenida en el suelo o almacenaje (AR) se determinaron los cuartiles para cada mes del año, y las distribuciones de frecuencias porcentuales para valores de AR por arriba de 125 mm y por debajo de este valor. El valor de 125 mm corresponde al 50% del máximo de AR, y en términos generales, ante situaciones hídricas con AR menores a este valor los cultivos sufrirán estrés que condicionarán su rendimiento final

Por consiguiente, se realizó el análisis de los climogramas, los cuales son gráficos que nos permiten representar las temperaturas y las precipitaciones de un lugar determinado a lo largo de todo un año o periodo de tiempo determinado. En el climograma, entonces, representamos conjuntamente los comportamientos anuales de la precipitación y de la temperatura de un determinado lugar. El climograma consta de tres ejes, uno horizontal y dos verticales, que conforman una especie de "caja". Para hacerla debemos seguir los siguientes pasos.

En primer lugar, trazamos el eje horizontal, que dividimos en 12 partes iguales, conforme a los meses del año. Debajo de cada segmento escribimos las iniciales de cada mes. En segundo lugar, indicamos en el eje vertical izquierdo (que se traza perpendicular al eje horizontal, desde su extremo izquierdo) la escala para las precipitaciones, y en el eje vertical derecho, la escala para las temperaturas, de acuerdo con nuestra.

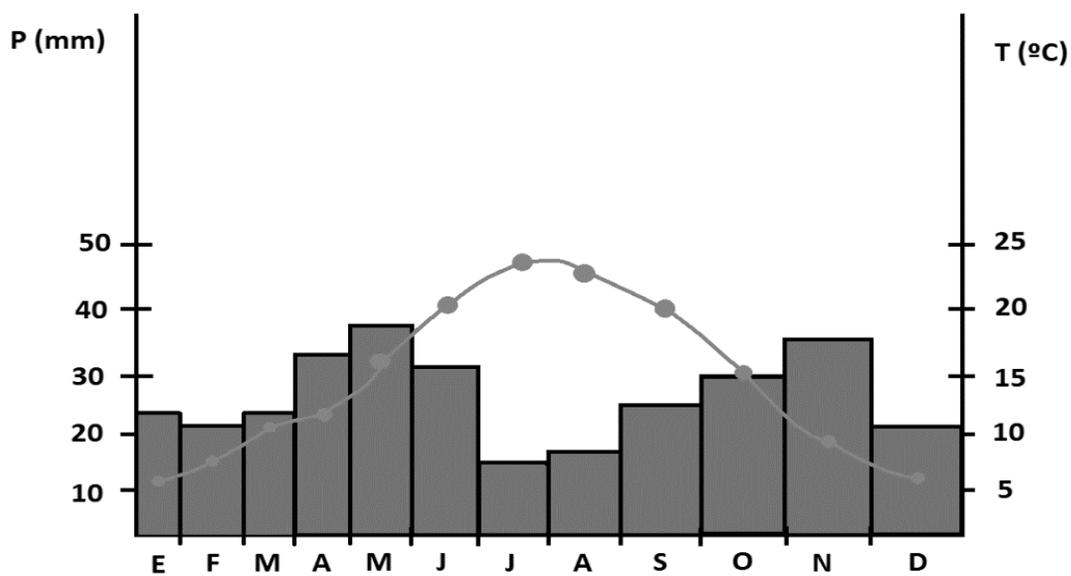


Figura 3 Representación gráfica de climograma.

3.9. Cálculo de curvas IDF con datos históricos de precipitación

El modelo hidrológico desarrollado, requirió también las tormentas de diseño asociadas a diferentes períodos de retorno, que se calcularon con base a las curvas Intensidad – Duración –

Frecuencia o IDF representativas de la cuenca en estudio dependiendo de las estaciones existentes y de los registros de lluvia máxima en 24 horas utilizando las curvas regionalizadas de Intensidad – Duración – Frecuencia regionalizadas para Colombia (Vargas & Díaz Granados, 1998).

Las curvas intensidad – duración – frecuencia, IDF, son arreglos en los cuales se presentan las lluvias (estimadas como intensidad de precipitación) contra su duración y el periodo de retorno, como se presenta en la Figura 4.

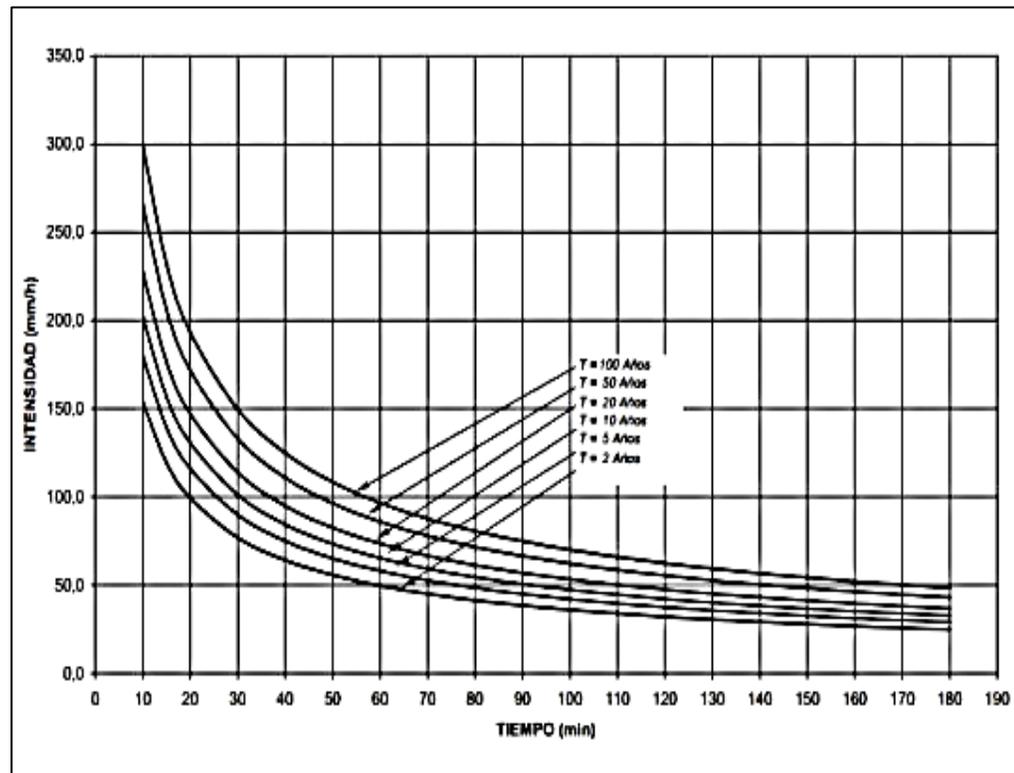


Figura 4 Curvas IDF típicas.

➤ Para el cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia con datos históricos de precipitación se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Definir una estación provista de pluviógrafo, representativa de la cuenca hidrográfica de análisis.
- Inicialmente se debe estimar mediante la distribución probabilística seleccionada (mejor ajuste) la precipitación máxima en 24 horas corresponde al periodo de retorno elegido.
- La distribución de Valores Extremos, es tipo de distribución probabilística que se asocia a eventos hidrológicos extremos (lluvia o caudal).



- El proceso se realiza mediante las siguientes ecuaciones.

$$X_T = \mu + \alpha y_T$$

(Ecu.12)

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} * s}{\pi}$$

(Ecu.13)

$$y_T = -\ln \left[\ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right]$$

(Ecu.14)

$$\mu = \bar{x} - (0.5775 * \alpha)$$

(Ecu.15)

Dónde:

μ = Es la moda de la distribución

x =Es la media de la distribución

s = es la desviación estándar

- Desagregar la lámina total de lluvia diaria en laminas parciales, por cada hora a lo largo del día, de acuerdo con el perfil de SCS considerado, en el cual usamos el tipo dos

Tabla 3. distribución de lluvia.

Distribución de lluvia SCS									
Tormenta de 24 horas						Tormenta de 6 horas			
		P_t/P_{24}							
Hora t	$t/24$	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III	Hora t	$t/6$	P_t/P_6	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2.0	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020	0.60	0.10	0.04	
4.0	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043	1.20	0.20	0.10	
6.0	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072	1.50	0.25	0.14	
7.0	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089	1.80	0.30	0.19	
8.0	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115	2.10	0.35	0.31	
8.5	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130	2.28	0.38	0.44	
9.0	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148	2.40	0.40	0.53	
9.5	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167	2.52	0.42	0.60	
9.75	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178	2.64	0.44	0.63	
10.0	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189	2.76	0.46	0.66	
10.5	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216	3.00	0.50	0.70	
11.0	0.459	0.624	0.624	0.235	0.250	3.30	0.55	0.75	
11.5	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298	3.60	0.60	0.79	
11.75	0.489	0.669	0.655	0.357	0.339	3.90	0.65	0.83	
12.0	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500	4.20	0.70	0.86	
12.5	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702	4.50	0.75	0.89	
13.0	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751	4.80	0.80	0.91	
13.5	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785	5.40	0.90	0.96	
14.0	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811	6.00	1.0	1.00	
16.0	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886				
20.0	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957				
24.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000				

Fuente: U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, 1973, 1986

Fuente: U.S. Depto. agricultura, soil conversation service,1973)

- Determinar las intensidades asociadas a cada hora
- Establecer las intensidades máximas de lluvia para las diferentes ecuaciones consideradas (5min,10min,30min,60min,120min...etc.).
- Repetir el proceso para otro periodo de retorno y trazar las curvas IDF
- Obtenidas las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia, se estimaron los hietogramas de lluvia organizados por el método de graficas para dar una secuencia más crítica al aguacero de diseño.

3.10. Elaboración y aplicación de encuesta socioeconómica

La encuesta fue semiestructurada y transaccional o transversal (Vidal, 2007); diseñada para obtener información mediante la valoración de indicadores que permitieron identificar la percepción que tienen los caficultores de las actuales condiciones de la zona de estudio los cuales se identificaron de la siguiente manera:

- ✓ Datos generales del encuestado
- ✓ Elementos relacionados con la variabilidad climática



- ✓ Como la variabilidad climática está afectando el cultivo de café
- ✓ Aspectos en los que se ve más afectado por la variabilidad climática
- ✓ Consideración sobre las alternativas para hacer frente a la variabilidad climática
- ✓ Prácticas o tecnologías implementadas o a implementar en la finca
- ✓ Causas por las que no se implementan prácticas de adaptación
- ✓ Accesibilidad de fuentes de información sobre cambio y variabilidad climática
- ✓ Participación de la familia en el proceso productivo

Posteriormente, una vez analizados los datos obtenidos de la encuesta justo a la información climatológica se proponen medidas de adaptación y acciones de mitigación al cambio climático en el sector cafetero definidos mediante indicadores de evaluación como: producción, pérdida de árboles, área sembrada.

3.10.1. Análisis de eventos extremos “niño y niña”

Para conocer cuánto aumentaron o disminuyeron las precipitaciones y los caudales medios mensuales de una cuenca o zona de estudio, ante la ocurrencia de un evento extremo asociado a ENOS, se determinaron los periodos en los cuales ocurrieron dichos eventos (El Niño y La Niña); luego se hizo uso de la ecuación (3.16) para calcular las anomalías promedio de las variables precipitación y temperatura, estimando estadísticos de la media durante los eventos de El Niño y La Niña, con respecto a años normales (noENOS).

- **Cálculo de índices de anomalías de precipitación y temperatura**

Se construyen índices mensuales, trimestrales, estacionales y de periodo extendido que detectan anomalías o alteraciones del comportamiento de la precipitación y alteraciones del comportamiento de la temperatura del aire, con respecto a la media multianual (período 1986-2020) para efectos de anomalía de precipitación y un periodo de 2000-2020 debido a falta de datos por parte del IDEAM. Las anomalías son calculadas como el cociente, expresado en porcentaje (%), entre un dato de precipitación o temperatura del año correspondiente y su valor promedio acumulado el cual se grafica en la figura 9 y 10.



Posteriormente se construye el índice acumulado trimestral, estacional o para cualquier período de tiempo definido en términos de meses, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{anomalía de ppt} = \frac{\text{ppt año} - \text{ppt acumulado}}{\text{ppt acumulado}} * 100$$

(Ecu.16)

$$\text{anomalía de temp} = \text{temp prom} - \text{temp mes}$$

(Ecu.17)

Donde:

Ppt = Precipitación total del año (mm)

Ppt acumulado = Precipitación acumulado total del periodo histórico (mm)

Temp prom=temperatura acumulado promedio

Temp mes=temperatura del mes

A partir de los índices mensuales, trimestrales, estacionales o acumulados de periodo extendido, se analizan diferentes épocas de alteración de la precipitación durante los eventos de El Niño y La Niña, para la zona de estudio del alto de la cruz, obteniéndose la determinación de la probabilidad de afectación por déficit severo, déficit, excedente o excedente severo y de la probabilidad de comportamiento normal para eventos El Niño y La Niña típicos de los eventos extremos presentados (eventos estándar, es decir, sin considerar la intensidad de las anomalías registradas en fuentes de información confiables que puedan dar a conocer el comportamiento de dichos eventos en el periodo histórico).



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente proyecto se estableció dentro del marco del eje entornos resilientes, que se está desarrollando dentro de la ruta de Cambio de Pitalito, como el primer municipio de Colombia en contar con una visión y estrategia de desarrollo compatible con el clima de largo plazo. La visión se centra en hacer un proceso con la gente consciente del clima del futuro, encaminando una ruta de cambio, prospectiva y positiva. A través de un proceso, con los diversos actores del municipio, se escogieron los cuatro ejes de esta ruta: caficultura adaptada al clima del futuro, conservación de la biodiversidad, manejo de cuencas y uso eficiente de agua, y energía y biomasa. (Alcaldía de pitalito, 2015).

El cambio climático es un reto y a la vez una gran oportunidad de transformar el territorio y pensar en el largo plazo. Las proyecciones de país muestran una Colombia con 2.14 grados centígrados más de temperatura promedio, lo cual afectará desigualmente al Huila y a Pitalito. Así mismo, los cambios en precipitación pueden causar retos en términos de sequías e inundaciones, que cambiarán la forma en que se proyecta el territorio y las opciones productivas. La Ruta de Cambio responde a esta necesidad de entender los retos del cambio climático, proponiendo acciones que deben tomar los laboyanos, para ser el primer municipio de Colombia con una visión de desarrollo compatible con el clima. (Alcaldía de pitalito, 2015).

4.1. Recolección y procesamiento de información meteorológica.

La información general consultada y la información de los parámetros que se miden en cada una de las estaciones, se presenta a continuación en el anexo 1, en donde se incluye la información de precipitación. Dicha información fue consultada y obtenida en el (IDEAM) del cual se utilizó información climatológica de las estaciones cercanas a la zona de estudio para efectos de completación de datos.

Se tomó como referencia principal la estación de Sevilla en términos de datos de precipitación, evaporación y temperatura, ubicada en la cuenca alta del río guarapas; los intervalos de tiempo considerados para el análisis fueron a nivel diario (datos de enero a diciembre de 2020) y mensuales (datos desde 1986 hasta 2020), datos debidamente procesados en programas tales

como Excel que nos facilitaron la compilación resumida de los datos históricos durante el periodo de 36 años. En el anexo 1 se halla la información correspondiente a cada una de las estaciones.

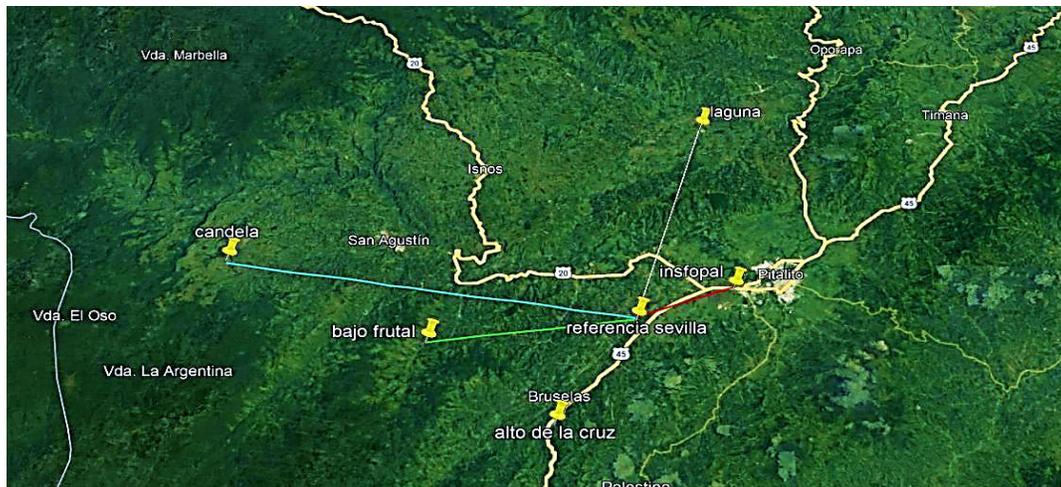


Figura 5. Ubicación estaciones meteorológicas (2022). Fuente Google earth.

4.2. Análisis de homogeneidad de datos

De acuerdo con el análisis realizado, a continuación, se presenta el resumen de resultados para las estaciones meteorológicas que conforman las estaciones que se utilizaron para estudio, donde se observa que las series de cada una de las estaciones seleccionadas son homogéneas, consistentes y la información contenida es recomendable para el desarrollo del proyecto en la zona de estudio:

Tabla 4. Análisis de homogeneidad de datos.

código	estación	Tt	tc	Resultado
21015020	Sevilla	1,96	0,90	Serie homogénea
21010130	Bajo frutal	1,96	1,42	Serie homogénea
21010140	La candela	1,96	1,34	Serie homogénea
21010110	Insfopal	1,96	1,78	Serie homogénea
21010040	Laguna	1,96	0,65	Serie homogénea



En la tabla 4, las estaciones mantienen uniformidad. Se ha verificado los saltos aparentes en los periodos indicados para cada estación, estadísticamente no presentan desigualdad son consistentes y homogéneas. En el Anexo 2 se presentan las series con el correspondiente análisis de consistencia y homogeneidad de datos.

4.3. Análisis de datos dudosos

Los datos dudosos se hicieron siguiendo la metodología del *Water Resources Council*, determinando valores altos y bajos como forma de rango para descartar los valores por fuera de esta y así realizar una buena obtención de resultados, para las estaciones de SEVILLA, BAJO FRUTAL, LA CANDELA, INSFOPAL, LAGUNA no se descartó ningún valor correspondiente a las series de datos.

Tabla 5. Análisis de homogeneidad de datos.

código	estación	Tamaño de la muestra n	Km	Resultado
21015020	Sevilla	35	2,628	No existen datos dudosos alto y bajos de la muestra
21010130	Bajo Frutal	35	2,628	No existen datos dudosos alto y bajos de la muestra
21010140	La Candela	35	2,628	No existen datos dudosos alto y bajos de la muestra
21010110	Insfopal	35	2,628	No existen datos dudosos alto y bajos de la muestra
21010040	Laguna	35	2,628	No existen datos dudosos alto y bajos de la muestra

En Grafico 6 al Grafico 10 se presenta en análisis de consistencia para las series de precipitaciones mensuales de las estaciones hidrológicas utilizadas en el análisis estadístico.

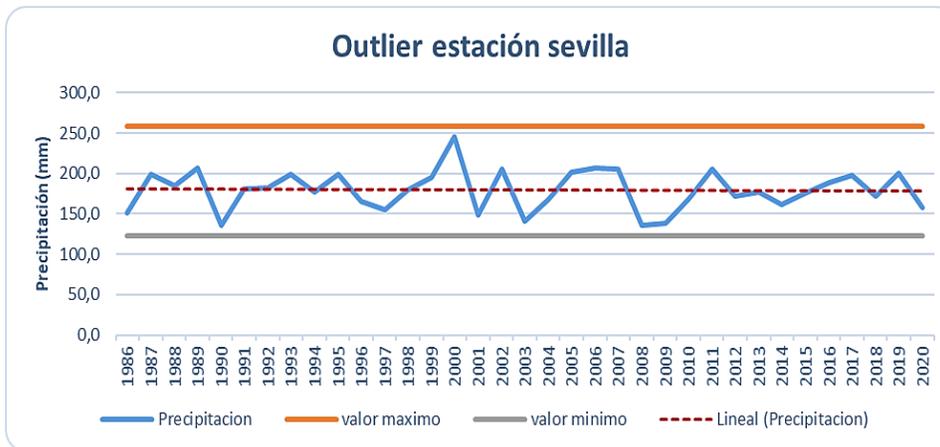


Figura 6. Análisis de consistencia estación, Sevilla

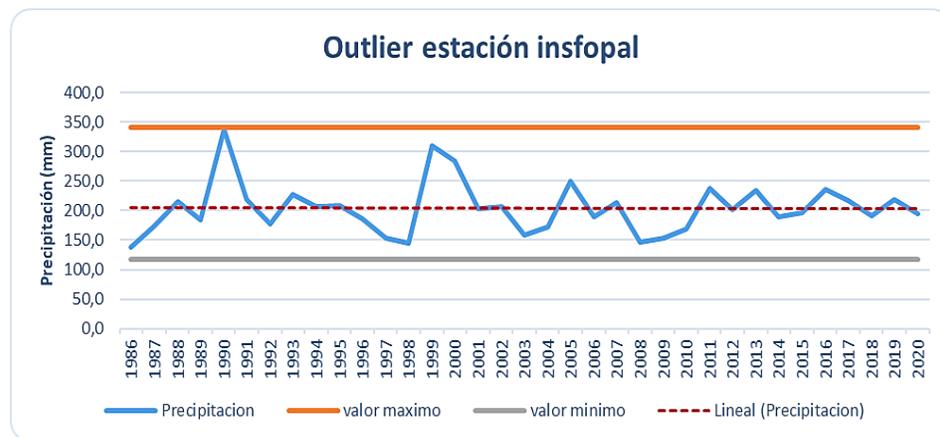


Figura 7. Análisis de consistencia estación, Sevilla.

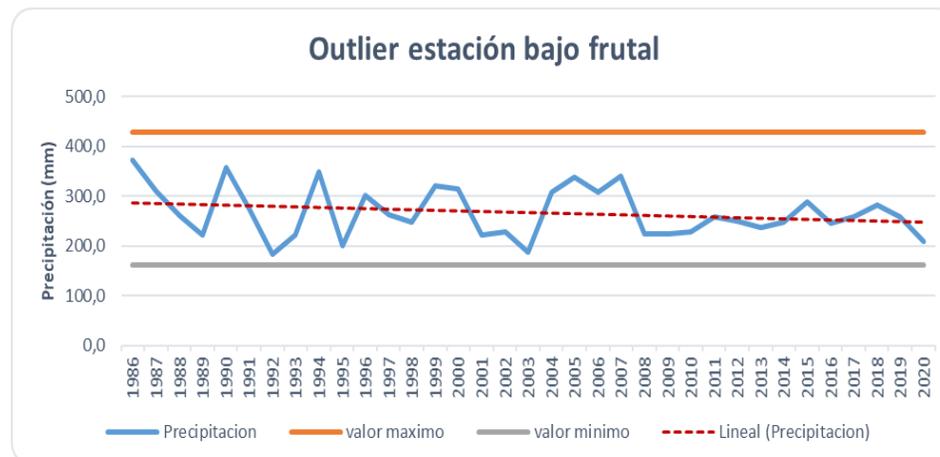


Figura 8. Análisis de consistencia estación, Sevilla.

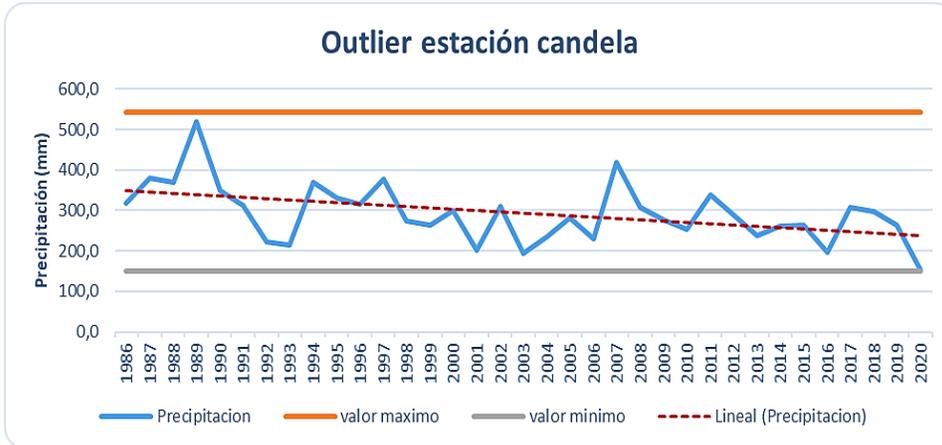


Figura 9. Análisis de consistencia estación, Sevilla.

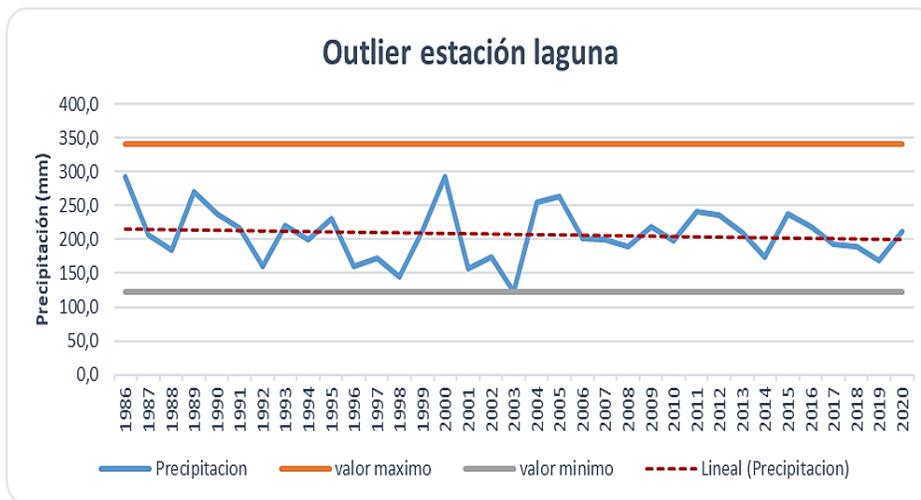


Figura 10. Análisis de consistencia estación, Sevilla.

4.4. Completación de datos faltantes

4.4.1. Análisis comparativo de la calidad de la estimación

Una vez obtenida la información faltante, se hizo una comparación entre los valores reales y los valores estimados a través de los diversos métodos de completación. Así, se analizaron los resultados generados por cada uno, comparándolos entre sí para detectar diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Para detectar estas diferencias, se aplicaron las siguientes medidas de bondad de ajuste: Coeficiente de Determinación (R^2): que expresa el porcentaje de la variación total de las precipitaciones reales, que son explicadas por el método de completación.



Los datos que se necesitaron para la aplicación de los métodos de completación de datos faltantes, corresponden a los valores de precipitación mensual, para un periodo de 35 años. Para este efecto se consideraron, inicialmente la estación Sevilla de la zona de estudio y 4 estaciones que nos ayudaron a realizar dicha completación de datos.

A continuación se presentan los datos obtenidos en los resultados de completación por cada uno de los métodos evaluados para los periodos de 1986 y 2005 donde se hallan datos incompletos.

Los resultados obtenidos después de aplicar los distintos métodos de completación a cada estación son las que se muestran en las siguientes tablas resumen:

Tabla 6. Resumen de las precipitaciones estimadas en (mm)

Periodo	Estación de referencia	Estación carencia de dato	método	Dato hallado
1986/abril	Insfopal	Sevilla	Rl	55,5
			Pr	52,1
			Pv	81,8
			Rn	0,4
			Icd	77,76
2005/mayo	Insfopal	Sevilla	Rl	144,73
			Pr	120,4
			Pv	159,8
			Rn	3,16
			Icd	210,05
2005/junio	Insfopal	Sevilla	Rl	107,07
			Pr	75,2
			Pv	125,58
			Rn	3,15
			Icd	213,83

Estación Sevilla, **Rl**: Regresión lineal, **Pr**: Método del promedio, **Pv**: Completación por razones promedio con estaciones vecinas, **Rn**: Método de la relación normalizada con datos de la misma estación, **Icd**: Método del Inverso de la Distancia al Cuadrado

4.5. Análisis comparativo de la calidad de estimación de las precipitaciones obtenidas en cada método con las precipitaciones reales.

La comparación entre los valores reales y los valores estimados a través de los diversos métodos desarrollados se dio según medidas estadísticas aplicadas. A continuación, se detallan los resultados según medida aplicada.

4.5.1. Coeficiente de determinación (R²)

Estas dos pruebas analíticas fueron elementos que nos permitieron inferir de forma global tendencias en el comportamiento de los métodos de completación; además, permite apreciar el error en la misma unidad del parámetro utilizado.

Tabla 7. Coeficientes de determinación (R²)

MÉTODO	CRITERIO DE EVALUACIÓN	
	R ²	
	1985	2005
Regresión lineal	0,99881	0,9234
Método del promedio	0,99880	0,9233
Completación por razones promedio con estaciones vecinas	0,9984	0,9230
Método de la relación normalizada con datos de la misma estación,	0,9970	0,9107
Método del Inverso de la Distancia al Cuadrado	0,99853	0,9184

Mediante el coeficiente de correlación (R²), se puede estimar el grado de correlación lineal que existe entre las estaciones en estudio en donde nos permitió un ajuste de bondad entre los métodos utilizados en la completación de datos, los cuales podemos deducir que el método que mejor se comportó fue la regresión lineal como método de completación en las series de datos faltantes de los años de 1986 y 2005 para la estación de estudio Sevilla.

4.6. Análisis del balance hídrico, precipitación y temperatura media

El Balance Hídrico es una herramienta mediante la cual se puede relacionar el clima, el suelo y la planta y permite conocer los períodos con falta o excesos de agua durante el año. A través de las precipitaciones y evaporaciones medias históricas en una región, se logra identificar



cuáles son los períodos del año donde existe una mayor probabilidad de ocurrencia de excesos y déficits de agua y de esta manera se puede planificar la siembra y el manejo de los diferentes cultivos y pasturas.

En la gráfica 6, se muestra un balance hídrico construido con las medianas de los datos de precipitación y evaporación de la Serie Histórica (1986-2017) registrados en la Estación de la Unidad Experimental de la zona de estudio el alto de la cruz siendo la más cercana la estación Sevilla, donde se puede observar el comportamiento hídrico del suelo en un año “normal” o “promedio”. A partir de los valores encontrados con el cálculo de balance hídrico se computaron las frecuencias porcentuales mensuales de las situaciones de excesos y déficits.

La diferencia entre la precipitación efectiva (aporte natural) y la evapotranspiración potencial (demanda) permite identificar los meses donde normalmente ocurren déficit o excesos de agua. Los excesos son evacuados a través de la percolación profunda o son retirados superficialmente por la escorrentía a través de las vías de drenaje del campo. La falta de agua es cubierta en primera instancia por el agua útil o disponible almacenada en el perfil explorable del suelo y una vez que esta se termina se comienza a expresar el déficit hídrico.

Los datos obtenidos y organizados en la ficha hídrica permiten elaborar la curva de balance de agua Figura 11 y en la tabla 10, en donde se puede expresar el comportamiento de las variables agroclimáticas, de entrada, almacenamiento y salida de agua en el sistema suelo en función de los periodos de tiempo, en este caso décadas durante un año.

Tabla 8. Resumen de los datos históricos promedios mensuales periodo de 1986-2017.

datos	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
ppt	57,54	87,08	106,025714	128,702857	136,386783	136,559229	122,768571	95,2257143	78,7514286	93,0114286	95,1914286	81,4428571
Eto evaporacion	105,6	95,1	95	87,8	85,5	75,4	78,2	82,7	91,9	97,8	95,1	98,1
kp tanque	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
kc cultivo	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Etc	98,74	88,92	88,83	82,09	79,94	70,50	73,12	77,32	85,93	91,44	88,92	91,72
balance hidrico	-41,20	-1,84	17,20	46,61	56,44	66,06	49,65	17,90	-7,18	1,57	6,27	-10,28

- Evapotranspiración de referencia (ET_o)
- Coeficiente del tanque evaporímetro (K_p).

- Coeficiente único del cultivo (K_c).
- Evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}).
- Balance hídrico, diferentes entradas y salidas que se presenten en un volumen de control.

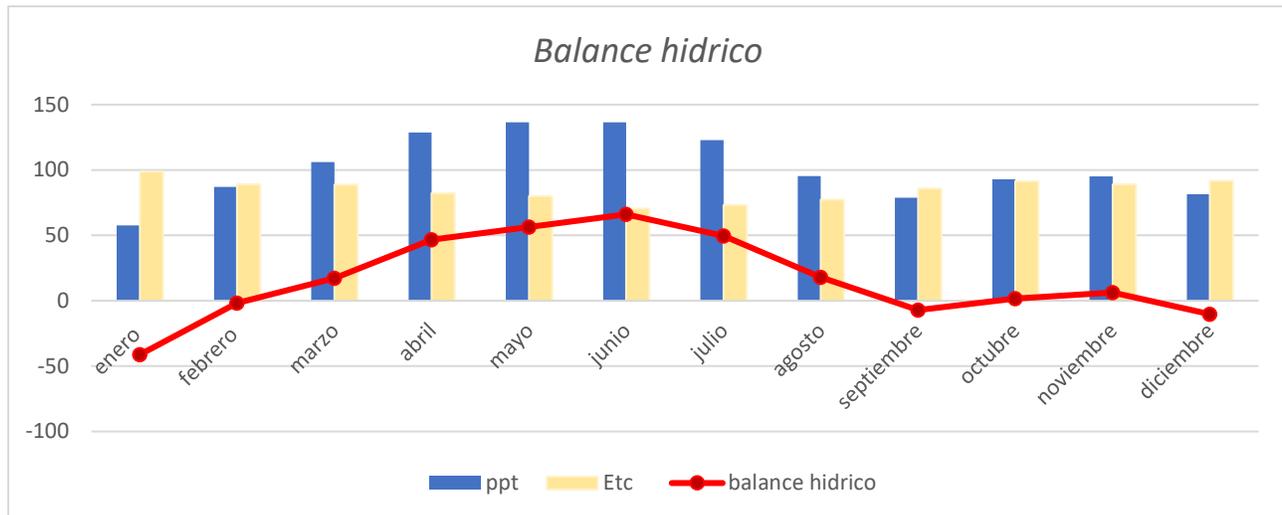


Figura 11. Balance hídrico promedio estación Sevilla, serie histórica de 1986-2017.

En la figura 11, se puede observar que normalmente en los meses de invierno (marzo - julio) las precipitaciones (oferta) superan ampliamente a la evaporación (demanda) y por lo tanto se produce la ocurrencia de un exceso de agua en el suelo. Luego en los meses de septiembre - febrero, la demanda atmosférica (evaporación) comienza a superar a la oferta y se inicia un proceso lento de descarga hídrica del suelo; no llegándose a manifestar déficit hídrico generalizado ya que la pastura cuenta aún con el agua disponible que hay en el suelo.

En la primavera tardía de los meses de marzo, abril y durante los meses de septiembre, desde septiembre a febrero, la evaporación es mucho mayor que lo aportado por las precipitaciones, por lo que comienzan a manifestarse déficits hídricos, una vez que el agua disponible en el volumen explorable del suelo es retirada progresivamente por los procesos de evapotranspiración. Durante los meses de (marzo - julio) la demanda atmosférica se va haciendo

sucesivamente menor y la oferta continúa estable, por lo que comienza a producirse el proceso de recarga hídrica del suelo

De la información presentada precedentemente, resulta claro que más allá de las variaciones normales que se producen en el clima, tanto en el año como entre años, hay que prever que es muy probable la ocurrencia de períodos de déficit hídricos entre los meses de septiembre y febrero y períodos de excesos hídricos en los meses de marzo a julio, para los cuales habría que estar preparados con medidas de manejo que minimicen tales efectos.

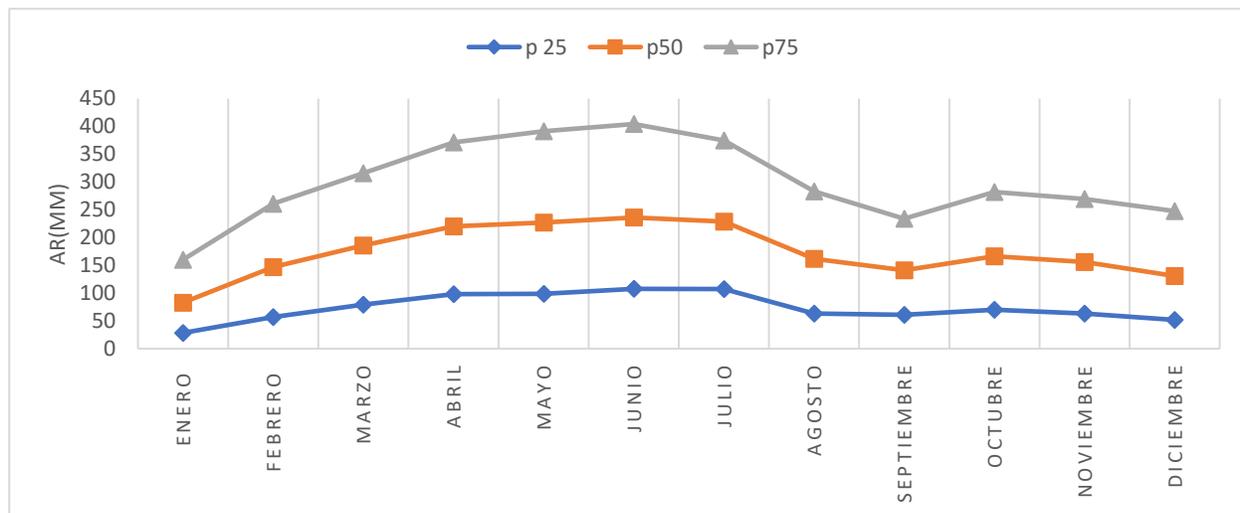


Figura 12. Cuartiles, máximos y mínimos mensuales de para la variable agua retenida en el suelo o almacenaje (AR) para el período 1986-2017 en estación Sevilla

A partir de la distribución de cuartiles de AR para cada mes figura 12, se observa que teniendo en cuenta el primer cuartil (25%), durante el período de agosto a enero ocurren las situaciones de AR de menor magnitud, inferiores a 70 mm. Cabe destacar que los valores del primer cuartil para cada mes del año son inferiores a 120 mm, por lo cual existe una probabilidad mayor al 25% de ocurrencia de estrés hídrico en todos los meses del año. Al analizar el segundo cuartil (50%) se observa que sus valores están por debajo de 120 mm de agosto a marzo, lo cual muestra que durante este período la ocurrencia de situaciones de estrés supera a la mitad de los años analizados. Por el contrario, al tener en cuenta los valores del tercer cuartil (75%) el período de marzo a agosto presenta la probabilidad de que ocurran AR mayores a 120 mm en un año.

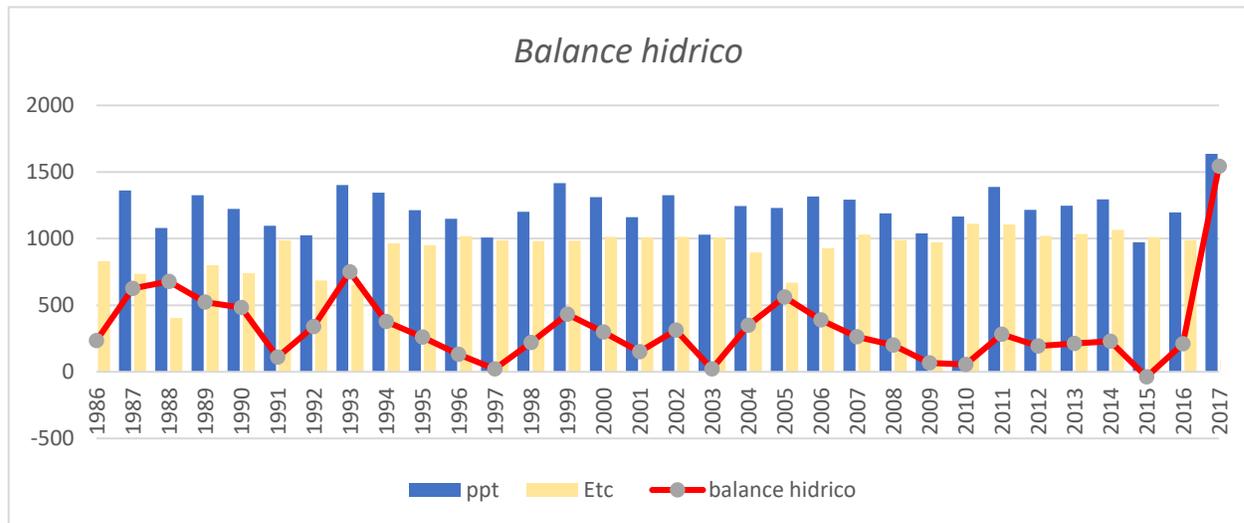


Figura 13. Balance hídrico histórico estación Sevilla, serie histórica de 1986-2017.

No tener en cuenta lo anteriormente expresado, implica que situaciones climáticas como las vividas en la sequía 97-98 o la más reciente en el 2015 la cual se evidencia en la información presentada en la figura 13, sean potencialmente mucho más dañinas en estas situaciones. A modo de ejemplo en la figura 14, se muestra el balance hídrico de la sequía 2015 en la Unidad Experimental Sevilla.

Según López et al. (1972), el rango de temperatura óptima para el café arábica es 18- 21°C; no obstante; autores como Guharay *et al.* (2000) y el Consejo Internacional del Café –ICC (2009), establecen un mayor rango 18 a 23°C; respecto a la precipitación, se tienen valores entre 1800 y 2800 mm de lluvia (Jarvis et al., 2009). Sin embargo, en el municipio de Pitalito se han presentado temperaturas que se encuentran fuera de los rangos de temperatura óptima para el sistema productivo de café; como lo fue en el año de 2015 en el que se registraron temperaturas máximas de 24°C.

En dicha figura se observa que en la zona de influencia de la Unidad Experimental Sevilla la sequía comenzó a formarse a partir de los meses de julio-abril el año 2015 al 2016 del año respectivamente, último momento en que el suelo se encontró a capacidad de campo por un período

considerable de tiempo hasta que las precipitaciones ocurridas en el mes de julio del 2015, comenzaron parcialmente la crítica situación vivida por la agropecuaria nacional.

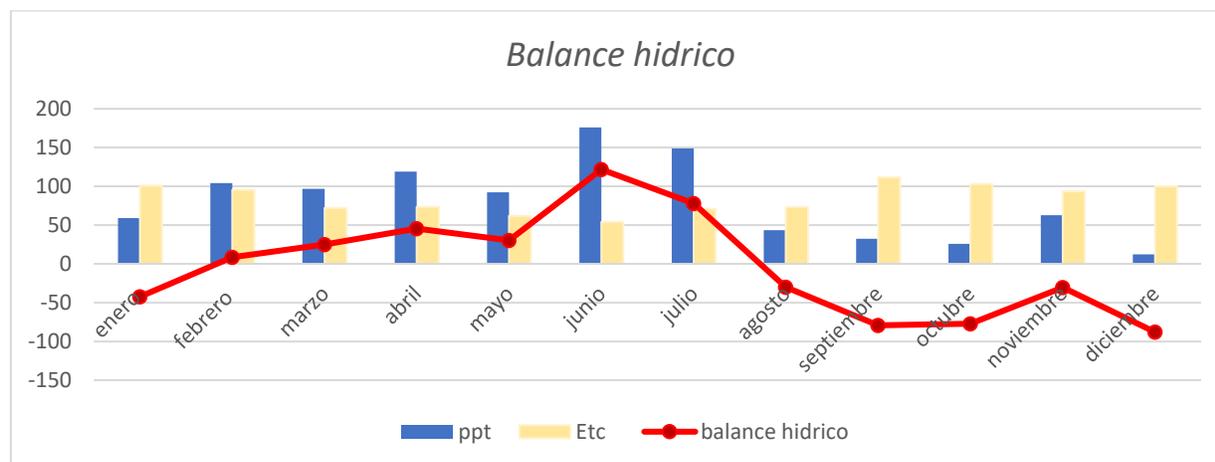


Figura 14. Balance hídrico año 2015 estación Sevilla

Los registros de precipitaciones entre los meses de julio del 2015 a abril del 2016 fueron muy inferiores a los promedios históricos en cada uno de los meses comprendidos y en total fueron inferiores. Siendo el fenómeno de variabilidad climática de El Niño, el cual se fortaleció durante los últimos meses; alcanzando la categoría de Fenómeno Fuerte, lo cual continuó incidiendo en el clima del país, principalmente, con una disminución en la cantidad y frecuencia de las lluvias, cercana al 60%, para las regiones Andina.

Según los análisis y observaciones realizados por el IDEAM, con base en los diferentes modelos de los centros internacionales de predicción climática, como la NOAA y el Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad (IRI), de Estados Unidos, se estimó que El Niño continuó en lo que resta del año 2015 y se extendió hasta el primer trimestre del 2016; en donde el fenómeno estuvo en su intensidad máxima y coincidió con la temporada seca, o de menos lluvias, de comienzos de año.

Las situaciones de excesos, si bien se pueden presentar durante todo el año, tienen mayor frecuencia durante el período marzo a junio, y nuevamente en octubre. Esto muestra que marzo a junio es el período de recarga del suelo, principalmente marzo y abril ya que la mayor frecuencia de excesos se establece en mayo. Esta recarga es fundamental para los cultivos ya que de ello depende su rendimiento final frente a las situaciones de deficiencias hídricas que pueden afrontar durante sus períodos críticos. En particular los excesos superiores a 100 mm ocurren durante los

meses de marzo a mayo y de octubre a noviembre. Es de destacar que estos valores de excesos ocurren para cada mes mencionado solo en un año del total de los 36 años analizados. Por último, las situaciones de equilibrio acontecen en mayor frecuencia durante mayo a julio.

La cuenca del río Guarapas cuenta con la estación Sevilla (2101502). A continuación, se describe el comportamiento de las variables del clima en la estación Sevilla (2101502).

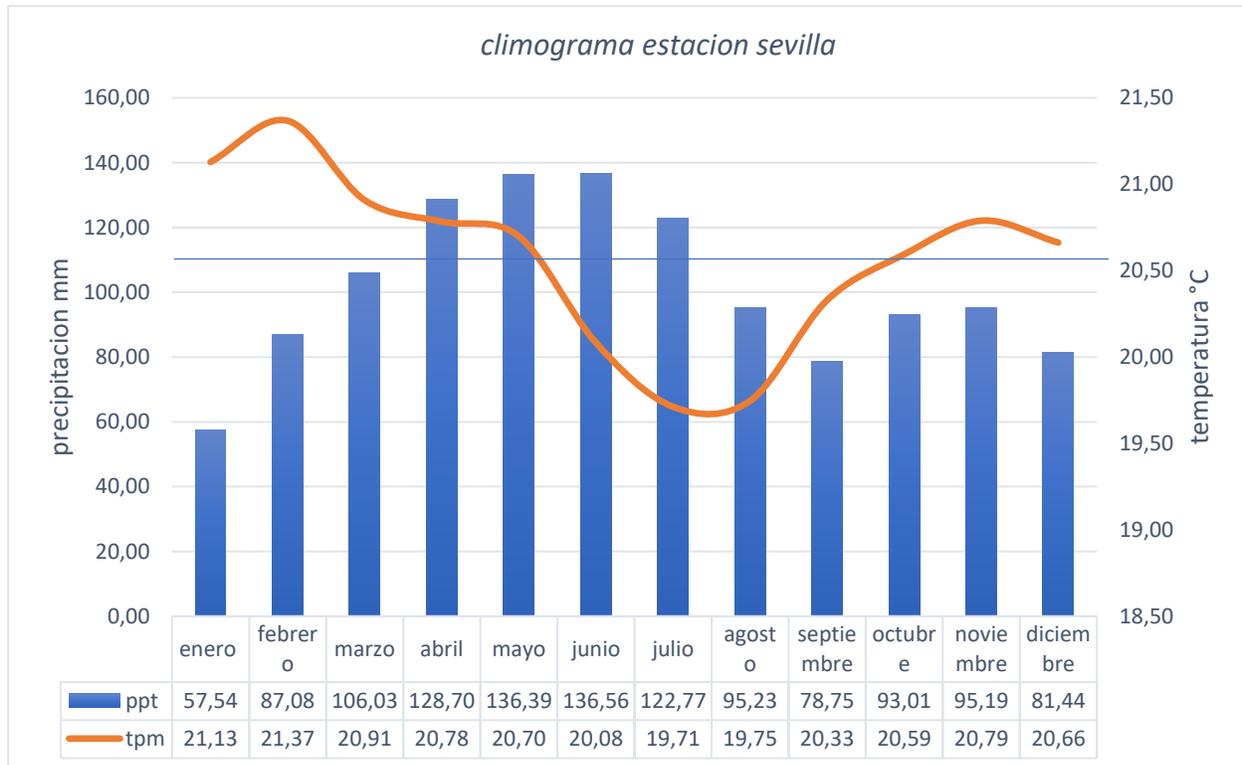


Figura 15. *Climograma estación Sevilla*

En este caso nos encontramos con un clima de abundantes precipitaciones, con máximos que se alcanzan en el mes de mayo y junio. Estos picos de lluvia se deben a las lluvias características de un clima tropical que predominan a Colombia. En primer lugar, se presenta las mayores temperaturas hacia la mitad del año siendo julio a septiembre los meses más cálidos y diciembre y enero como los más frescos durante el año.

Existen precipitaciones durante todo el año, observándose dos picos, el primero y más grande en junio y el segundo y menor en septiembre. Los meses frescos de diciembre a febrero,

presentan reducción de las precipitaciones. Hacia la mitad del año de junio a septiembre también se presenta un descenso en la precipitación bimodal.

La estación Sevilla de acuerdo con los registros del IDEAM se localiza en el municipio de Pitalito en el departamento de Huila a una elevación de 1320 msnm., fue instalada en el mes de junio de 1971, actualmente se encuentra en operación por parte del IDEAM y cuenta con registros desde la fecha de su instalación hasta marzo de 2020. En el periodo 1986-2020 la estación registró una precipitación media multianual de 1218,7 mm.

Como se observa en la Figura 15, la precipitación presenta un régimen bimodal, donde los meses de mayores precipitaciones se presentan de marzo a julio, mientras que el periodo de menores precipitaciones es el comprendido entre los meses de agosto a febrero. La estación registra una precipitación media mensual multianual de 101,55 en comparación con el ultimo estudio realizado en el POMCA del guarapas en el 2008 en donde se presentaba una precipitación multianual de 104,6 mm evidenciado una disminución de la precipitación por el aumento de la temperatura de la zona.

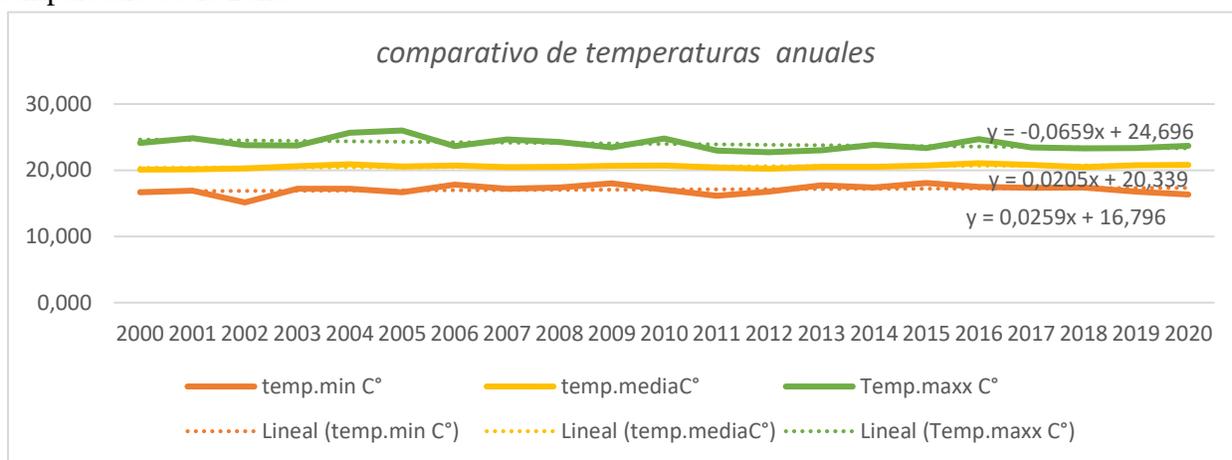


Figura 16. Temperatura media estación Sevilla

La estación Sevilla cuenta con registros históricos de temperatura media mensual desde enero de 2020 hasta diciembre de 2020 para un total de 20 años, presentando un vacío importante en la información en los años anteriores registrando temperatura solo en ciertos meses. Como se observa en la Figura 1, la estación registra una temperatura media de 20,3 °C y régimen bimodal, donde el periodo de mayores temperaturas está comprendido entre los meses de octubre a mayo, siendo febrero el de mayor temperatura media con 21,3 °C. El periodo de menores temperaturas

es el comprendido entre los meses de junio a septiembre, donde la menor temperatura media es de 20,3 °C, correspondiente al mes de septiembre.

4.7. Análisis curvos IDF con datos históricos de precipitación

En la Tabla 12 se muestran los datos calculados de la curva IDF de una de las estaciones y en la Figura 17 se presenta el gráfico. En el anexo 3 se muestran los cálculos correspondientes para determinar las curvas idf, en tiempos de retorno.

Tabla 9. Cálculos idf en tiempos de retorno.

<i>Duración(hr)</i>	<i>T5</i>	<i>T10</i>	<i>T15</i>	<i>T50</i>	<i>T100</i>
1	16,904	18,950	20,104	23,452	25,356
2	8,452	9,475	10,052	11,726	12,678
6	2,817	3,158	3,351	3,909	4,226
12	1,409	1,579	1,675	1,954	2,113
18	0,939	1,053	1,117	1,303	1,409
24	0,704	0,790	0,838	0,977	1,056

Se calcularon las curvas de masas de los aguaceros puntuales para duraciones entre 1 y 24 horas y periodos de retorno entre 5 y 100 años.

Tabla 10. Cálculos intensidades.

<i>Tiempo de retorno en años</i>	<i>Yt</i>	<i>Precipitación de diseño Xt</i>
2	0,37	45,14
5	1,50	55,24
10	2,25	61,93
15	2,67	65,70
50	3,90	76,64
100	4,60	82,86

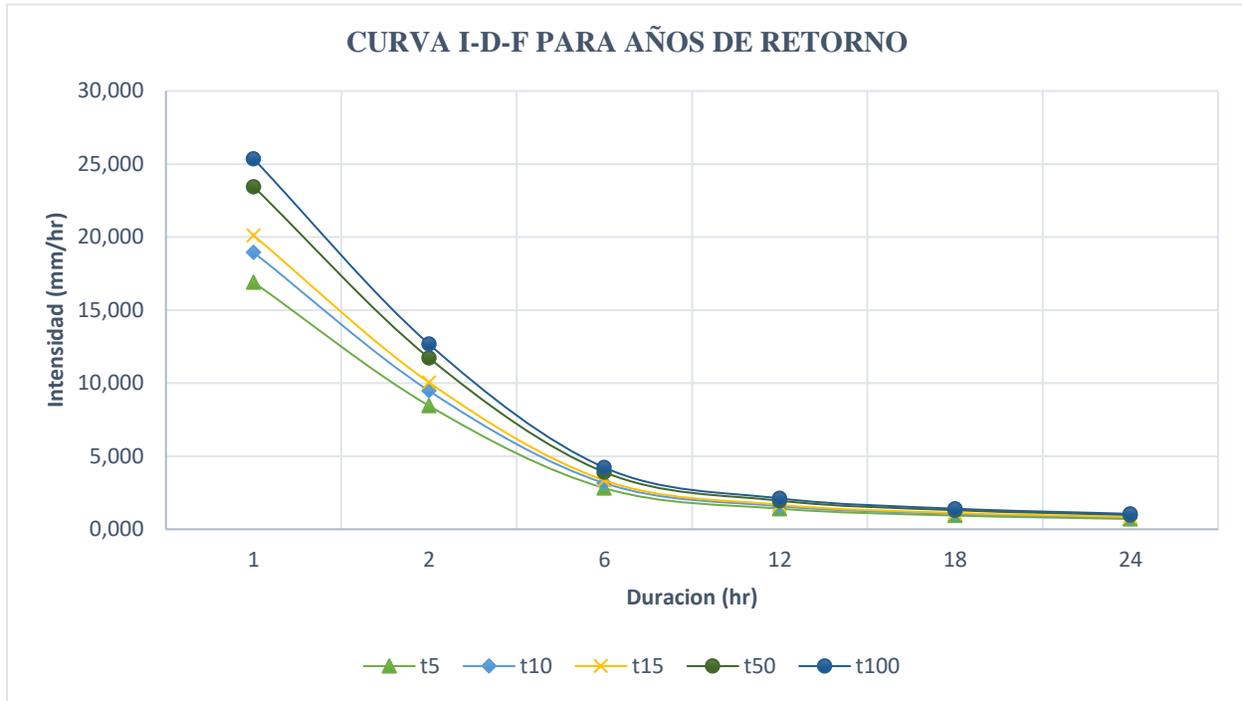


Figura 17. Curvas IDF estación Sevilla.

Según el análisis para un periodo de retorno de cinco años se espera 45,15 mm por día evidenciando un aumento en el periodo de retorno 1.5 años con una precipitación de 82,86 mm por día siendo un 45 % de diferencia porcentual entre los años, por lo cual podemos deducir un aumento notable en las lluvias máximas diarias de la zona por posibles eventos extremos de las precipitaciones para una duración de una hora en un periodo de retorno de 5 años la intensidad esperada para dicho periodo será de 16,9 mm/día.

No obstante, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) es la autoridad nacional que ha desarrollado los escenarios de cambios en la temperatura y precipitación en Colombia hasta el 2100, de acuerdo con la proyección de emisiones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IDEAM et al., 2015). Durante el periodo de referencia, la precipitación promedio anual de Pitalito fue de 1218,7 mm y la temperatura de 20,4°C (Figura 15). Según la Tercera Comunicación de Cambio Climático del IDEAM, el Huila tendrá un aumento en la temperatura de 0.8°C.

El 2011-2040, 1.4°C entre el 2041-2070, y 2.1°C entre el 2071-2100; y de precipitación del 17% entre el 2011- 2040, 18% entre el 2041-2070 y 17% entre el 2071-2100, sobre el periodo de referencia. El sector agrícola se verá afectado por estos cambios, en particular el aumento de la



precipitación, con brotes de enfermedades y plagas. En Pitalito, el aumento de temperatura será similar al del Huila, mientras que el aumento en precipitación será del 28%, 27% y 29% al 2040, 2070 y 2100, respectivamente con un aumento notorio de las variables de precipitación.

En relación con los demás municipios en el Huila, y según los escenarios de cambio climático al 2040, Pitalito tendrá una variación media de temperatura, una variación alta de precipitación, y una sensibilidad ambiental baja. En su capacidad adaptativa, la dimensión biofísica es alta, la sociocultural es media, la política institucional es alta y la económica productiva es baja. Con un impacto potencial bajo y una capacidad adaptativa media, hace que Pitalito implicará tener que desplazar los cafetales entre 300 y 500 metros de altura (Lederach et al., 2010). Por esto, y como se verá en la propuesta de ruta de cambio, la adaptación implica entender la vulnerabilidad climática y a la vez tener la capacidad político-administrativa y social para lograr los cambios hacia un desarrollo adaptado al clima del futuro, tenga una vulnerabilidad media.

Dado que la economía de Pitalito depende en casi su totalidad del sector agrícola, y que este sí se verá afectado por los cambios en temperatura y precipitación a futuro, se hace necesario adoptar medidas de adaptación y acciones de mitigación. En especial, la vulnerabilidad del sector cafetero, entre otros sistemas productivos, aumentaría con el incremento de un grado más de temperatura, ya que implicará tener que desplazar los cafetales entre 300 y 500 metros de altura (Laderach *et al.*, 2010). Por esto, y como se verá en la propuesta de ruta de cambio, la adaptación implica entender la vulnerabilidad climática y a la vez tener la capacidad político-administrativa y social para lograr los cambios hacia un desarrollo adaptado al clima del futuro.

4.8. Presentación, análisis e interpretación de resultado de encuesta socioeconómica

Tras realizar la respectiva encuesta se evidencio que la mayoría de personas encuestadas eran hombres con un promedio de 75,4% mientras que las mujeres representan tan solo el 24,6% reflejando que los hogares del caserío de la alto de la cruz en su mayoría tienden a ser hombres los encargados de proveer cuidado y sustento físico diariamente con las labores del campo para sostener a sus familias, en el caso del 24,6% son mujeres rurales que no menos importante tienen un rol clave en el desarrollo de los sistemas alimentarios, desde el trabajo en los cultivos a la

producción de alimentos; sin embargo, se encuentran en situaciones de desigualdad con respecto a los hombres para el acceso a la propiedad de la tierra, recursos productivos y toma de decisiones.

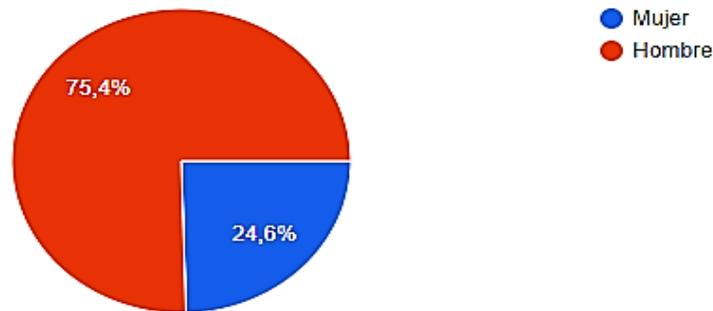


Figura 17. “análisis poblacional”

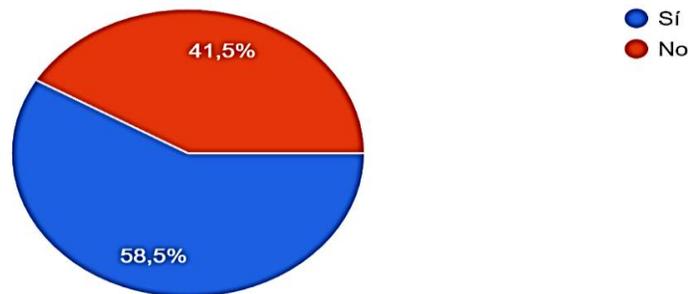


Figura 18. “Recibe información de variabilidad climática de la zona”

Tras realizar la encuesta a los pobladores de la comunidad del alto de la cruz del corregimiento de Bruselas del municipio de Pitalito el 58,5% menciona recibir información referente a los cambios climáticos y sus efectos en la región cafetera, sin embargo, la información recibida no es la más oportuna en la toma de decisiones de los caficultores.

Sin embargo, el análisis arroja que el 41,5% no recibe ninguna información oportuna, los cuales presentan una cierta desventaja con quienes conocen del tema, porque el no saber de variabilidad climática genera problemas en sus actividades agrícolas. Considerando la importancia de recibir información oportuna, más cuando la comunidad ya es catalogado como zona vulnerable de alto riesgo, se creería que las entidades como lo es la FAO la cual es una organización vital para capacitar a estas comunidades y ayudarlas en estos procesos jamás se pronunció al respecto, pero

este no es el único organismo que no hace nada al respecto, en vista de tal situación la oficina de ambiente y gestión del riesgo pese a que trabaja en pro al desarrollo y beneficio de las comunidades no se pronuncia con una solución a esta comunidad.

Por ello nace la importancia que los agricultores estén informados, ya que no solo permite que estén mejor preparados para enfrentar los desafíos y oportunidades del cambio climático, sino que también les brinda confianza en sus capacidades de emprender y salir adelante, llevando bienestar a sus familias en donde la adaptación al cambio climático será primordial para lograr un desarrollo compatible con la variabilidad climática en el futuro.

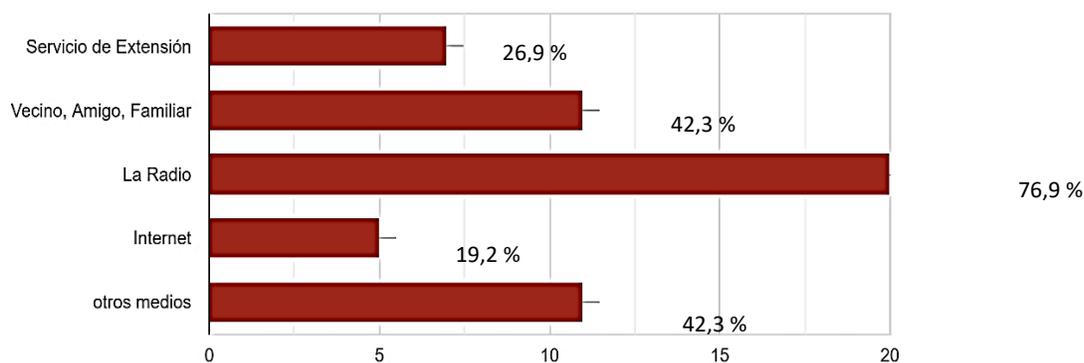


Figura 19. “principales fuentes de información sobre los cambios del clima”.

El 58,5 % de los caficultores manifestó haber recibido información sobre las variables climáticas, específicamente relativas a incrementos de temperatura y disminución de la precipitación o viceversa. Las principales fuentes de información sobre variabilidad climática fueron la comunicación entre vecinos y familiares y a través de la radio; otros medios de comunicación donde pueden obtener información como lo es los servicios de extensión, pero no se recurre a ellos, o en menor porcentaje fueron la telefonía móvil, el internet y la televisión.

En relación a fuentes de información, los agricultores de la zona de la vereda alto de la cruz, expresaron recibir información del cambio climático de diversas fuentes como es el caso de los servicios del extensionista el cual equivale al 26,9% los cuales en esta zona son pocos los que envían a difundir a los agricultores información relevante en las afecciones que puede llegar a causar los fenómenos climáticos extremos en la caficultura, ya que el extensionista se encarga de difundir nuevas tecnologías y educar al productor para mejorar su desempeño. Dicho en otras



palabras, la asistencia técnica brindada por el extensionista podría llevarse a cabo por la federación nacional de cafeteros siendo una herramienta útil y práctica, que se ha convertido en aliado indispensable de los productores a la hora de transformar el cultivo del café en una real empresa rentable y productiva.

La relación entre el cambio climático y la agricultura es un camino bidireccional: la agricultura contribuye al cambio climático de varias formas importantes y el cambio climático en general afecta negativamente a la agricultura. Como el caso de la erosión por el arado excesivo o el paso de maquinaria agrícola, como también la contaminación de fuentes hídricas por los pesticidas y herbicidas es por ello por lo que como profesionales en el tema el extensionista debe ayudar al agricultor a conocer y mitigar los daños en su entorno una solución ante este tema sería una agricultura ecológica.

Con respecto al intercambio de información el 42,3 siendo una comunicación voz a voz entre familiares amigos y vecinos sobre temas del cambio climático, tiende a ser con los agricultores que llevan más tiempo en la región, en cuanto a la fuente de información más utilizada y mencionada por los agricultores en la vereda es la radio la cual equivale al 76,9% ya que se pudo ver reflejado como los pobladores en sus hogares no todos contaban con otros medios de comunicación que no fuera la radio ya que ella brinda una ventaja frente a otros servicios de comunicación ya que es muy accesible para cualquier persona.

Por otro lado, el internet como fuente de información es una fuente poco empleada ya que representa el 19,2% frente a los otros medios ya que el internet no una herramienta que toda población pueda tener sin ningún problema y dado a la desigualdad de este servicio muchos pobladores de zonas rurales no pueden acceder a ellos por sus altos costos, mientras que el 42,3% emplea otros medios de comunicación ya que los caficultores emplean la información de clima obtenida principalmente para programar las fertilizaciones del cultivo; es frecuente que los caficultores del municipio recurran a la información de clima para determinar el momento oportuno para las siembras de café y para realizar las renovaciones.

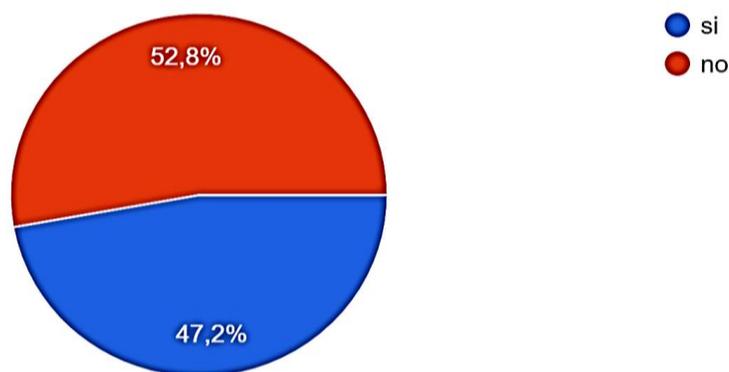


Figura 20. “empleo de información climática para toma de decisiones en el cultivo de café”.

Las personas que llevan a cabo su actividad en el medio rural están más expuestas que otras a algún tipo de riesgo relacionado con el comportamiento de la naturaleza, específicamente el clima. Por tanto, los agricultores deben disponer de opciones para manejar el riesgo que enfrentan, en este sentido la cantidad y calidad de información que manejan es fundamental para minimizarlo; los agricultores reciben permanentemente a través de distintos medios esta información, lo cual se constituye en una base fundamental para generar estrategias de mitigación ante los cambios constantes del clima (Farfán, 2017).

Al realizar el respectivo seguimiento y encuesta a los habitantes de la vereda alto de la cruz del corregimiento de Bruselas se puede ver reflejado como más de la mitad de los agricultores el cual equivale al 52,8% no tienen conocimiento, acerca del clima para tomar decisiones frente al cultivo de café, una de las importancias primordiales en la producción agrícola es el estudio del clima, ya que no todos los cultivos pueden estar bajo las mismas condiciones de temperatura, y otras condiciones climáticas que deben ser estudiadas y evaluadas para el mejoramiento y aprovechamiento de la producción agrícola.

Es preciso tener en cuenta que el 47,2% no usa la información del clima para cultivar ya que solo poseían su vivienda en la zona donde residían y se dedicaban a otros tipos de trabajos fuera de la parte agrícola, mientras que aquellos que residían y tenían sus cultivos en la zona empleaban la información para cultivar teniendo en cuenta la geografía de la zona y factores predominantes en la zonificación climática según la latitud, la altura y la ubicación.

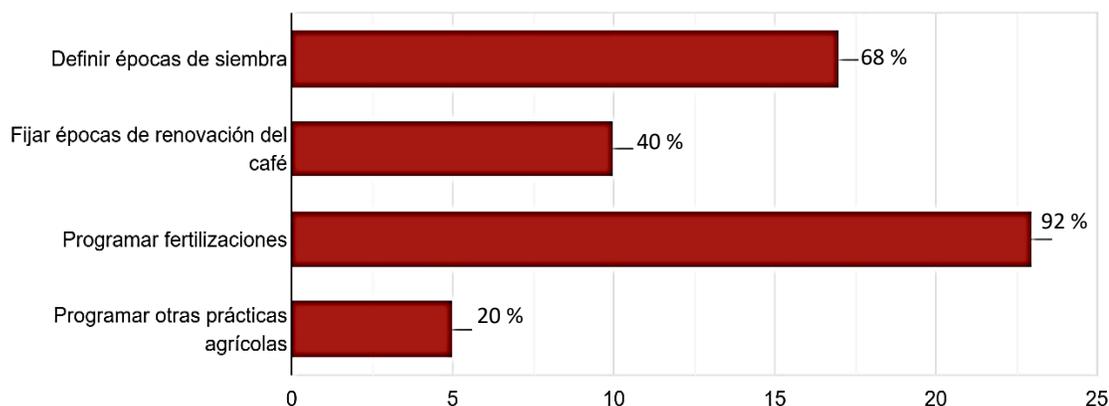


Figura 21. “como caficultor como emplea la información sobre clima para tomar decisiones en el cultivo de café”

Cerca del 52,8 % de los caficultores emplea la información de clima obtenida principalmente esta información fue obtenida respectivamente de la radio, el servicio de extensión comunicación entre vecinos y familiares; igualmente es evidente que los caficultores no recurren o no poseen los recursos para informarse a través del Internet y la telefonía móvil sobre las condiciones climáticas. El 92 % de los caficultores emplea la información de clima para la programación de las labores de los cultivos para programar las fertilizaciones del cultivo; es frecuente que los caficultores del municipio recurran a la información de clima para determinar el momento oportuno para las siembras de café y para realizar las renovaciones.

Según (Robledo, 2016), la cantidad de lluvia y su distribución determinan los periodos secos y húmedos; estos condicionando la dinámica del crecimiento vegetativo y reproductivo del cafeto, las épocas del año con mayor o menor crecimiento, la floración el desarrollo del fruto y la cosecha de café. La distribución regional de la lluvia es la base para la toma de decisiones, por ejemplo, cuál es el momento oportuno para sembrar el cafetal con el menor riesgo de pérdida, el tipo de prácticas agronómicas a desarrollar, la utilización o no sistemas agroforestales transitorios o permanentes, las épocas de fertilización, el manejo de arvenses y controles fitosanitarios, entré otros.

En cenicafe se han publicado varios avances técnicos relacionados con las épocas más apropias y por regiones, para la siembra del café y el desarrollo de otras prácticas como la fertilización, entre las cuales pueden citarse los avances “épocas recomendables para la siembra

de los cafetos “o “distribución de la lluvia, clave para planificar las labores en el cultivo del café en Colombia”

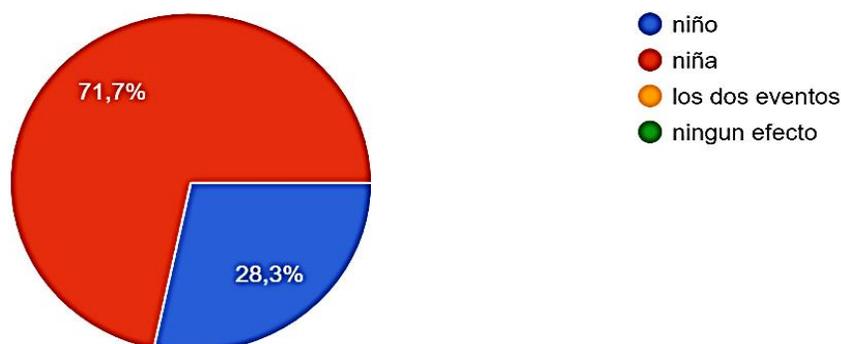


Figura 22. “cuál de los Niveles de afectación por eventos climáticos “El Niño” y “La Niña” afectan principalmente”.

Si bien los resultado por los caficultores encuestados la variabilidad climática ha sido uno de los principales problemas que han presentado en lo largo de los años, principalmente en términos de pérdida de precios y cultivos entre ellos cabe destacar que el fenómeno de la niña con un 71,7 % de los encuestados menciona que el incremento de las lluvias ha generado principalmente afecciones en pérdidas económicas por procesos de remoción en masa, por lo cual se vieron afectados cuando perdían parte de sus cultivos de café siendo su principal sustento.

El 71,7 % de los caficultores del alto de la cruz, se sienten afectados por eventos La Niña alta precipitación, reducción de la temperatura y radiación solar, etc. En cuanto a la percepción de afectación por eventos El Niño reducción en la precipitación, incremento en la temperatura ambiental y radiación solar, etc., fue menor con el 28,3 % viéndose afectados principalmente por efectos extremos de sequias.

Por consiguiente, el análisis de la variación climática en la comunidad del alto de la cruz se realizó a partir del cálculo del índice puntual de las anomalías de las variables temperatura y precipitación a nivel mensual de la serie de datos desde 1986-2020. Con el propósito de identificar cuáles fueron las anomalías de las series de datos proporcionadas a continuación se desarrolla el numeral “Índice puntual de anomalías de precipitación”.

- **Análisis de anomalías de precipitación y temperatura para variabilidad climática.**

De acuerdo con los resultados, en la fase de la Niña los incrementos promedios son elevados para los registros de precipitación anual y de menor temperatura en los periodos de 1987-1999-2010-2011, con respecto a la fase del fenómeno del niño en los periodos de 1997-1998-1991-1992-2015-2016-2018, a su media anual del año hidrológico en sus registros históricos. Los valores negativos destacados corresponden a fenómenos de El Niño; los valores positivos notables son la expresión local de los fenómenos de la Niña.

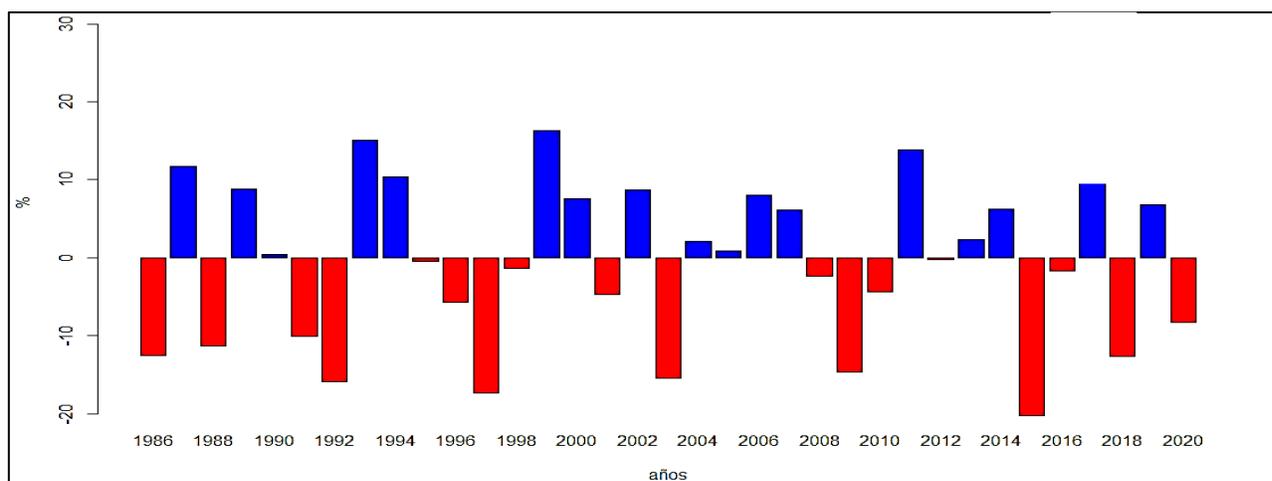


Figura 23. Secuencia de anomalías de precipitación Ppt promedio anual registrada durante el período 1986-2020.

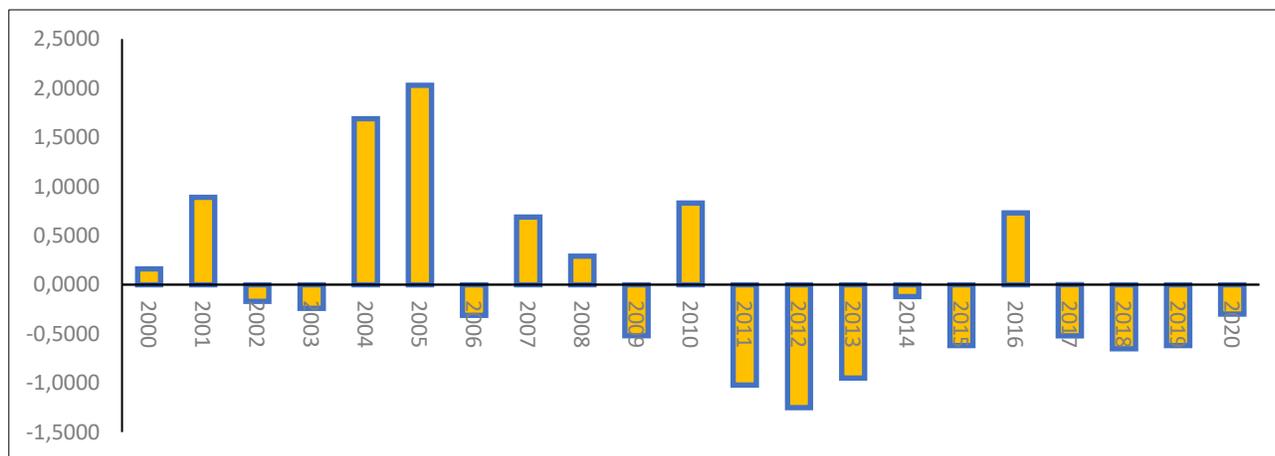


Figura 24. Secuencia de anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) promedio anual registrada durante el período 2000-2020.



Los valores negativos destacados (por debajo de $-0,5^{\circ}\text{C}$) corresponden a fenómenos de La Niña; los valores positivos notables (por encima de $0,5^{\circ}\text{C}$) son la expresión local de los fenómenos de El Niño.

Como ya se mencionó se ha señalado cómo las fases extremas del ciclo El Niño – La Niña -Oscilación del Sur inducen anomalías climáticas que impactan considerablemente los ecosistemas y los sistemas humanos en diferentes partes del mundo. Resulta de interés práctico dar una mirada detallada a la expresión del efecto climático de estos fenómenos en una región específica, como el territorio colombiano.

Como se puede observar en la figura 23, las anomalías en la precipitación que se han presentado a lo largo de los últimos 35 años se evidencian con mayor magnitud las anomalías con excedentes severos, encontrando que en los últimos años después del evento ENSO más fuerte registrado, la tendencia de las anomalías es a mantenerse.

Por otro lado, se puede observar que en la década de los 90`s las anomalías tanto de déficit como de exceso se presentaron con mayor intensidad, esto evidenciando la ocurrencia constante durante esta década de fenómenos ENSO; registrándose en esta década las anomalías más representativas en las estaciones. En la década de los años 2000, las anomalías se presentaron con menores intensidades dentro de los rangos de excedentes y déficit, aun así, se presentaron las anomalías más representativas para el periodo 2006-2012, que se encuentra catalogado por el IDEAM como un año normal o no ENSO.

Como resultado de las anomalías los fenómenos analizados el fenómeno La Niña se considera entre moderado y fuerte según la clasificación de la Annoa, se inició formalmente a finales de julio de 1998, con efectos inmediatos en el país, extendiéndose hasta el primer semestre de 1999, aunque algunos procesos climáticos no asociados con La Niña los cuales podrían alterar esta tendencia. También se debe considerar que su inicio tardío, con relación a fenómenos anteriores, el hecho de comenzar después de un fuerte Fenómeno cálido El Niño, que aún deja huellas, y el actual cambio climático del planeta, podrían disminuir la magnitud del efecto climático en Colombia. El periodo de 1999 dejó consigo varias afecciones a nivel nacional por las fuertes lluvias y constantes remociones de suelo sin verse afectados en la comunidad del alto de la cruz.



El análisis de anomalías de precipitación se pudo observar los periodos con los que se ha visto afectado la comunidad por la variabilidad climática. Como se aprecia, la región Andina, mantuvieron un comportamiento acorde a la teoría, durante la mayor parte de los meses analizados. Los tres primeros meses tuvieron un predominio de zonas deficitarias, como resultado del fenómeno “El Niño”, y a partir de abril, y hasta el mes de junio de 2011, comenzaron a extenderse las áreas con excesos, tal como es típico en los eventos “La Niña”.

Según IDEAM (2011), el periodo analizado es especialmente interesante, por haber registrado una sucesión de eventos, “El Niño” 2009/10 y luego nuevamente “La Niña” 2010/2011. El comportamiento de las anomalías, durante estos tres fenómenos, fue el esperado, según los patrones establecidos en los estudios realizados previamente, con predominio de excesos de lluvia en los meses La Niña y deficiencias durante los eventos El Niño. El evento La Niña, finalizó hacia el mes de junio/2011. sin embargo, a julio, aún persistían leves señales de evento frío en los indicadores atmosféricos. Según las últimas predicciones, el primer trimestre de 2011, presento condiciones neutrales en el océano Pacífico. Propio de la época, durante enero de 2011, se registraron pocas cantidades de lluvia en la mayor parte del país.

El primer trimestre fue más seco de lo normal, como consecuencia del fenómeno “El Niño” 2009/10. A partir de abril, comenzó a sentirse el efecto del paulatino enfriamiento del Pacífico tropical, el cual conllevó al fenómeno “La Niña” 2010/2011, reflejado en lluvias excesivas desde abril a septiembre y entre noviembre y diciembre. Octubre no registró una tendencia definida. Es de anotar que las excesivas lluvias presentadas desde abril, prácticamente eliminaron la temporada seca de mitad de año, por lo cual, la época lluviosa del segundo semestre, tuvo un impacto inusitado, originando uno de los inviernos más fuertes de los últimos tiempos en las regiones Andina y Caribe, principalmente. El efecto continuó durante el año 2011 especialmente en febrero, marzo y mayo, los cuales presentaron predominio de excesos en la región.

De acuerdo con IDEAM (2011), el fenómeno de La Niña 2010-2011, tuvo una alta incidencia en el comportamiento hidroclimático del país. En la región Andina en particular, la mayoría de los meses del segundo semestre del 2010 presentaron lluvias excesivas; esta situación se agravó por los excesos de precipitación registrados en julio, considerados atípicos por ser esta una temporada normalmente de pocas lluvias.



Tras las fluctuaciones que ha venido presentando en el clima estas condiciones ideales no han sido constantes, así que, con los fenómenos extremos de sequía y lluvia, la presencia de plagas y enfermedades aumenta ocasionando altos porcentajes de infestación de los sistemas productivos, incluso, reducción en las cosechas; esto se pudo evidenciar en el primer trimestre del 2010 presento en el grafico 24, donde el fenómeno conocido como El Niño, aumentó la incidencia de la broca (*Hypothenemus hampei*) (Constantino, 2010) y La Niña en el 2011 produjo una infestación por roya (*Hemileia vastatrix*), adicionalmente, provocó el lavado de los fertilizantes aplicados por los caficultores (Muñoz, 2012), mientras que, en la segunda mitad del 2010 y durante el 2011 se presentó La Niña que alteró los promedios históricos en las precipitaciones un 33% por encima de la media histórica, el brillo solar disminuyo en un promedio 13% y la temperatura media cayó 1° con impactos severos en la floración, el desarrollo de las cerezas y el crecimiento de los árboles Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC, 2011).

Como consecuencia de las fuertes lluvias de la temporada y dadas las características de la zona, la comunidad del alto de la cruz asentada en la zona ya había identificado los aspectos de inestabilidad presentes en el sector, además el municipio a través de la oficina de ambiente y gestión del riesgo ha identificado la zona como de alto riesgo a procesos de remisión en masa siendo una de las situaciones de mayor monitoreo, prevención y seguimiento está en el municipio de Pitalito por los fenómeno de remoción en masa que amenazan la comunidad de la vereda Alto de La Cruz, donde 63 familias están en riesgo de perder sus hogares o peor sus vidas por la inestabilidad que se generado en el suelo por las temporadas invernales principalmente por el fenómeno de la niña ocurrido en el año de 2010/2011.

Debido a la variabilidad climática, el sector cafetero en el año 2011 sufrió uno de los años más críticos, puesto que la producción registrada disminuyó (Federación Nacional de Cafeteros 2012), donde algunas de las causantes fueron que los programas de renovación ocasionaron una disminución del área en edad productiva, además las alteraciones climáticas las cuales estuvieron asociadas a un exceso de lluvias en un 33% por encima de los niveles históricos, la disminución de 1 °C en la temperatura y el 13% en el brillo solar, afectaron considerablemente la ocurrencia y la concentración de las floraciones responsables de la cosecha cafetera.

En vista de lo anterior se han propuesto medidas como la construcción de muro para el sostenimiento de la zona inestable además de medidas complementarias como la construcción de cunetas en concreto y la reubicación de la población en las actuales administraciones.

Teniendo en cuenta que este tipo de obras no se ha desarrollado y que las allí construidas (muro de llantas y canales sin recubrimiento) no cumplen con los mínimos estándares técnicos, las condiciones naturales propias de la zona han seguido su desarrollo normal debido a los posibles efectos derivados de la actividad humana asentada, generando el desarrollo de procesos de remoción en masa que hoy ponen en alto riesgo la comunidad asentada en este sector.



Figura 25. Características y magnitud del evento de remoción en masa que se presentó en el caserío Alto de la Cruz del municipio de Pitalito.

En concordancia a el primer trimestre del año 2010, refleja deficiencias en la región Andina, como producto de la etapa final del evento “El Niño”. Es importante tener presente que, por ser una época de lluvias muy escasas, unas precipitaciones esporádicas hacen que se superen notoriamente los promedios en caso de que las lluvias sean escasas y no superen los promedios. En los siguientes tres trimestres y hasta el mes de diciembre, el efecto de “La Niña” es muy claro, con excesos de lluvia dominando la mayor parte de las regiones Andina, Caribe y Pacífica. Adicionalmente, los dos primeros trimestres del 2011, estuvieron caracterizados por lluvias excesivas en la mayor parte del país, (Ideam, 2011).



Por consiguiente, según Daza (2015), recordemos el Niño del 1991-1992, que, no siendo un evento muy fuerte, causó un impacto económico devastador, especialmente en las actividades agropecuarias y en la producción de energía hidroeléctrica. Mientras que el fenómeno del año de 1997, categorizado muy fuerte, un super-Niño, tuvo un impacto bajo en la economía nacional, según la Cepal, de menos del 1 por ciento del PIB. Pero fueron 564 millones de dólares, que equivalían al 22 por ciento del servicio de la deuda externa del país en esa época. Lo más destacado de ese super-Niño del 97- 98 fue que los déficits de lluvias se presentaron prácticamente en todo el territorio nacional.

Por otra parte, el fenómeno del Niño del 2015, según la figura 24, se inició en el trimestre febrero-marzo-abril, cuando las anomalías positivas de las temperaturas se ubicaron en $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. En marzo-abril-mayo subieron a $+0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$; en abril-mayo-junio, a $+0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, y han llegado a $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el trimestre mayo-junio-julio. Digamos que oficialmente se puede decir que el Niño del 2015 comenzó en mayo, mientras que el anterior, también muy fuerte, el Niño de 1997, lo había hecho en julio. Esta señal indico que el evento es más intenso.

Siendo el fenómeno de El Niño 2015 - 2016, uno de los más fuertes en la historia del planeta, desencadenó hasta 14 incendios en promedio durante los 15 meses que tuvo de duración en el país. En total, Colombia perdió, por incendios forestales, en hectáreas de bosques 188.650 hectáreas, lo que equivale a que una ciudad como Cali sea arrasada por el fuego tres veces (Daza, 2015).

Según el (espectador, 2015), representantes de los cafeteros del gremio nacional de cafeteros de diferentes regiones también han expresado su preocupación por los mayores costos unitarios que conlleva un fenómeno de El Niño intenso como el que ha vivido el país, en particular en lo que tiene que ver con las labores de control de plagas, cuyos costos laborales se puede incrementar en hasta 50%, y la reducción en la eficiencia tanto en las labores de recolección como en las tasas de conversión de café cereza a café pergamino, que pueden alcanzar en algunos casos un deterioro hasta del 40%.

Desde luego la preocupación de los cafeteros de Colombia, han observado que los costos aumentan y se ven reducidos sus ingresos tanto en el año de 2015 y 1997. Los fenómenos del Niño ponen en una situación compleja en materia de ingresos y costos de producción. Por ello con el Niño hay deficiencia de agua en el suelo, sobre todo en cafetales sin sombrero, pero sus efectos



tampoco se pueden generalizar: en regiones de bajo brillo solar y altas precipitaciones su efecto puede beneficiar la producción de café, pero en otras puede ser dañino, como en zonas cálidas, con suelos de baja retención de humedad, indicó en un comunicado el gerente general de la Federación Nacional de Cafeteros, (Vallejo, 2015).

Los impactos en el sector agropecuario según los estudios realizados, el sector agrícola es uno de los más afectados por las fases extremas de la variabilidad climática. SAC (1997), resumió la diversidad de impactos del fenómeno de El Niño en los principales renglones del agro, se presenta el porcentaje de afectación de la producción de diferentes cultivos por las anomalías climáticas provocadas por el fenómeno de El Niño 1997-1998 según IDEAM-DGPAD (2002). Es posible constatar que hay una reducción notable para algunos de los principales cultivos del país. En el año de 1997, por ejemplo, del total del área sembrada, el 2.4% se vio afectada por el déficit hídrico el cual cubrió particularmente sectores de la Región Andina y Caribe en los departamentos de Tolima, Huila, Boyacá, Nariño, y Santander, y los departamentos de Córdoba, Cesar y Atlántico, respectivamente. Esta situación afectó principalmente el café, maíz, yuca, arroz, plátano, papa, ñame, sorgo, algodón, fríjol.

Según (Guzmán & Baldión, 1997); en el caso del café, el déficit hídrico producido por el fenómeno de El Niño reduce los rendimientos en algunas regiones como los departamentos del Valle, Tolima, Cundinamarca y Norte de Santander, pero en otras regiones se registran incrementos esta situación hace que en el agregado nacional no se note el impacto.

Por consiguiente, bajo El Niño, las zonas cafeteras de mayor riesgo son las del norte y sur del país y en la región central aquellas de menor elevación, en particular las localizadas en altitudes de menos de 1.300 m (temperatura media mayor a 21,5°C). Déficits hídricos severos pueden afectar el desarrollo de la planta, particularmente en las nuevas plantaciones que están en proceso de crecimiento. Un déficit continuo de agua reduce la producción y el porcentaje de granos plenamente desarrollados, reduciendo la calidad del café y afectando el precio promedio recibido por el caficultor. Con El Niño tiende a haber problemas de broca y de otras plagas. La mayor tasa de reproducción del insecto de la broca genera adicionalmente una mayor demanda por labores de sostenimiento, en un entorno en el cual los altos costos de mano de obra han reducido drásticamente la rentabilidad del cultivo (Espectador, 2015).

De acuerdo con el IDEAM (2018), durante estos meses las lluvias se redujeron entre el 30 y el 40 por ciento y en promedio el 80 por ciento de las zonas con influencia de El Niño, aumentó la temperatura cerca de 2.5 grados Celsius. Como bien lo establece el modelo institucional del Ideam sobre el efecto climático del Niño y la Niña en Colombia, la influencia de la intensidad de estos fenómenos no es lineal y podría ser diferente de la magnitud del efecto climático sobre el país. Ello quiere decir que su impacto socioeconómico está muy relacionado con la creciente vulnerabilidad del país ante estas alteraciones climáticas temporales.

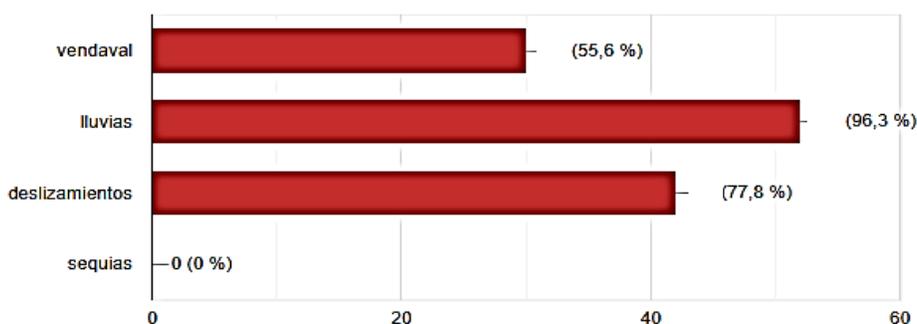


Figura 26. principales afecciones extremas que ha vivido como caficultor por el cambio climático.

Los eventos climáticos extremos según el análisis principalmente que han afectado la zona cafetera de estudio, corresponden en primera medida al exceso de lluvias con porcentajes mayores al 75% lo que se consideran alto; en segundo lugar, los deslizamientos por remoción en masa por las fuertes lluvias han generado que actualmente el alto de la cruz se haya convertido en una zona de alto riesgo para el municipio y de constante monitoreo por las instituciones municipales.

Se logró identificar manifestaciones de la variabilidad climática durante los últimos años, principalmente por lluvias y deslizamientos sin dejar de un lado los vendavales que afectan considerablemente las infraestructuras tales como los son los secaderos y viviendas mencionando que es muy poco las afecciones que han vivido por sequias extremas en sus cultivos.

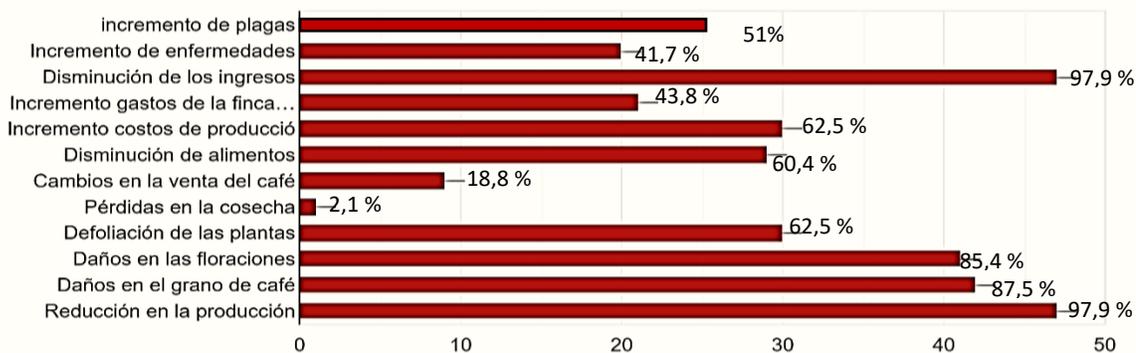


Figura 27. cuáles son los principales aspectos que afectan al cultivo del café con la variabilidad climática.

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja a diferentes escalas, por ello los patrones de comportamiento de los fenómenos meteorológicos como vientos, tormentas eléctricas, vendavales, etc., y de las variables climatológicas como la radiación solar, temperatura, humedad y precipitación tienen un impacto directo y heterogéneo, entre otros, sobre la productividad y rentabilidad de los sistemas de producción y por ende sobre el bienestar de los agricultores; el conocimiento, de las percepciones y prácticas que tienen los agricultores con respecto a estos factores contribuyen a el diseño de medidas de mitigación y adaptación al clima cambiante (Pinilla *et al*, 2012); es así como se muestra una relación inversa entre la disminución del ingreso y los gastos generales de la finca, los costos de producción, alimentación familiar; lo cual podría interpretarse como una condición de vulnerabilidad frente a eventos climáticos, específicamente El Niño y niña.

Los aspectos afectados en gran porcentaje, según los caficultores del alto de la cruz fueron la disminución de los ingresos por afectación en la producción del cultivo (97,9%); daños directos al grano (87,5%) lo cual tiene implicaciones sobre la producción y el ingreso; incremento en la incidencia de plagas siendo las más frecuentes *hypothenemus hampei* (broca del café) y *Oligonychus yothersi* (arañita roja) (37%); fueron igualmente afectados aspectos como la producción de cultivos asociados al café, pérdidas en las cosechas, daños a las floraciones del café, y defoliaciones en las plantas.

La exposición a la variabilidad climática asociada al evento de La Niña, según García, (2013), no se debió exclusivamente al aumento de las lluvias, sino que fue producto de la

interacción entre las propiedades edáficas, la disminución y los cambios de los patrones de la temperatura, la reducción en el brillo solar, y las condiciones agroecológicas del cultivo; factores que igualmente habrían variado en el fenómeno de El Niño, causando efectos negativos en la caficultura Colombiana, afectando económicamente a las familias que dependen de los sistemas productivos de café.

Se evidencio un (84,5 %) en la floración del café debido a que en Colombia se relaciona directamente con estímulos ambientales, como el déficit hídrico y los cambios diarios de temperatura; por otra parte, brillo solar influyen en la formación de nudos y en el logro de la madurez de cada una de las etapas de la floración, por lo tanto, se puede afirmar que las condiciones ambientales necesarias para una apropiada floración del café son: Un déficit de brillo solar promedio diario, por trimestre, no mayor de 7,5 horas; entre 60 y 65 días de déficit hídrico moderado, representado en el índice de déficit hídrico menor de 0,8 ó entre 20 y 30 días de déficit hídrico fuerte, representado en el IDH<0,5 por trimestre; viéndose afectado en el evento fuerte presentado por el fenómeno del niño en 2105-2016 en donde las condiciones sobrepasaron los meses o los 60 días establecidos en tiempo de déficit hídrico, (febrero-marzo-abril y agosto-septiembre-octubre), (López, 2015).

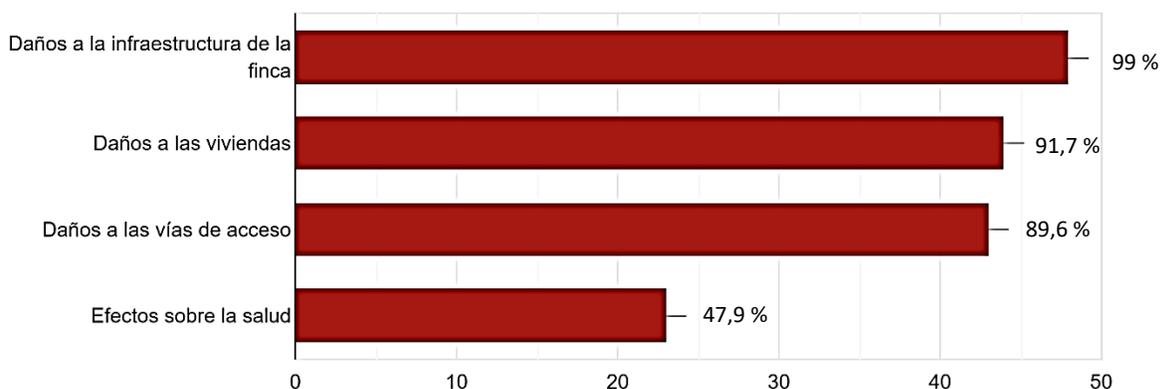


Figura 28. otros aspectos que afectan a las comunidades cafeteras

Mediante la respectiva encuesta a la comunidad del alto de la cruz del corregimiento de Bruselas del municipio de Pitalito se pudo evidenciar como algunos aspectos están afectando a la comunidad en las cuales tenemos daños a la infraestructura de la finca el cual representa el 99% ya que se logró evidenciar en cada una de las visitas como los fuertes vientos generan uno de los



problemas más recurrentes dañando sus sitios de almacenamiento de café como lo son sus secaderos llevándose el plástico que los cubre y desentechando las viviendas de los pobladores.

Sin lugar a duda, los aspectos que aqueja a la comunidad es los daños a sus viviendas el cual representa el 91,7% en temas de fuertes lluvias es un aspecto que viene generando problemas a la comunidad del alto de la cruz ya que constantemente cuando llueve estas personas viven con miedo a que sus viviendas puedan llegar a ser arrasadas por los deslizamientos, es importante recalcar que esta comunidad está ubicada en una zona de alto riesgo donde ya han sufrido movimientos por remoción en masa como fue en el caso del año 2010 donde gran parte de la vía principal del caserío se deslizo por un deslizamiento provocado por las fuertes lluvias ocasionadas por el fenómeno de la niña en el presente año dejando daños evidentes en la infraestructura de sus hogares, sufriendo pérdidas económicas por estas fuertes lluvias.

5. ACCIONES DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN FRENTE A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA CAFICULTURA

La presente investigación permitió adoptar estrategias y medidas de mitigación ya que, son muchos los caficultores que ya están empezando a sentir los efectos del cambio climático en sus sistemas. El cambio climático es un fenómeno imparable y cuanto antes se asuma se podrán tomar medidas adecuadas para adaptarse y contrarrestar sus efectos negativos y potenciar los positivos. La adaptación es igual o casi más importante que la mitigación. En este contexto, la adaptación de los sistemas de producción agrícolas a los nuevos escenarios debe ser considerada una acción prioritaria.

Ahora bien, las estrategias de adaptación y mitigación a la variabilidad climática implican ajustes a nivel ecológico, social y económico por parte de los individuos, las comunidades y las instituciones; además es importante el diálogo entre el conocimiento local y el científico (Álvarez & Vodden, 2009); las estrategias de adaptación a la variabilidad climática utilizadas propuestas a las familias caficultoras del alto de la cruz en sus sistemas productivos se clasifican, a nivel biofísico, socio-cultural, económico-productivo y político-institucional, las cuales han sido



implementadas con la finalidad de mitigar los efectos de los fenómenos de variabilidad climática sobre los sistemas productivos, haciéndolos resilientes.

Es por ello que, en zonas rurales, un ejemplo de medidas de adaptación y acciones de mitigación al cambio climático en el sector cafetero incluye: la renovación de cafetales, el compostaje a partir del mucilago y la pulpa, la captación de aguas lluvias, los sistemas sépticos, secar el café al sol, sembrar el café con una diversidad de árboles frutales y maderables, implementar biodigestores, y monitorear el clima (Alcaldía de Pitalito, 2015).

A sí mismo, el cómo en la actualidad perciben los caficultores los cambios y sus efectos, de las condiciones climáticas que hacen parte del complejo tema de la variabilidad climática, permite conocer la situación actual del riesgo y vulnerabilidad de los implicados, y cuáles han sido las estrategias de adaptación que han permitido su permanencia como productor y que pasos seguir para reducir este riesgo. De acuerdo con Vergara (2011), el análisis de una población mediante su percepción del clima y el comportamiento permite conocer perspectivas de la población sobre su espacio y recursos, la identificación de las necesidades y potencialidades de esta población, convirtiéndose en un instrumento que fortalece y empodera a la comunidad para motivar su desarrollo y reducir su vulnerabilidad por el cambio climático.

Dado que la reducción de la vulnerabilidad es la base de la adaptación, se requiere de un conocimiento detallado de quién es vulnerable y por qué. Esto implica analizar tanto la exposición actual a los impactos y estrés climática mediante la observación, así como analizar los modelos de impactos climáticos futuros. Según el IPCC (2007), esta información se puede diseñar e implementar estrategias de adaptación adecuadas por lo cual el monitoreo y evaluación de la eficacia de las actividades y los productos, como asimismo poder compartir los conocimientos y lecciones aprendidas, también constituyen componentes esenciales del proceso de adaptación.

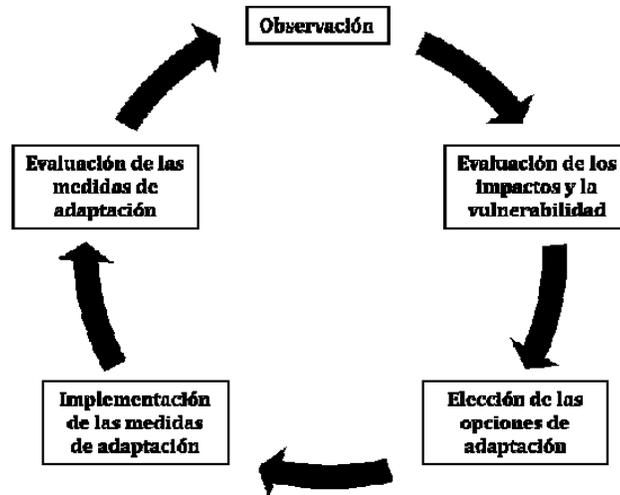


Figura 29. Elementos clave de un proceso de adaptación a la variabilidad climática (IPCC, 2007)

En relación con lo anterior, a continuación, se presentan las líneas de acción planteadas en el estudio realizado como estratégicas de mitigación a través de programas y actividades que tienen como fin prevenir y controlar las amenazas asociadas a los efectos de los fenómenos del niño y la niña a la caficultura de la región.

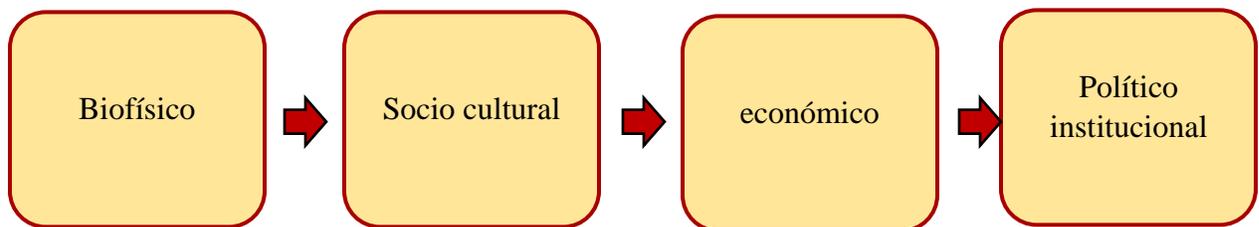


Figura 30. Líneas estratégicas de adaptación y mitigación frente a la variabilidad climática

5.1.1 Estrategias de adaptación a la variabilidad climática a nivel biofísico

Conservación de bosques: Los árboles juegan un papel importante en la reducción de los gases efecto invernadero, causantes del cambio climático, puesto que, fijan y almacenan dióxido



de carbono (CO₂), adicionalmente, son un requisito para otorgar el sello de certificación de Rainforest Alliance (RA, 2010).

En los sistemas productivos de café a medida que aumenta el porcentaje de sombrero aumentan árboles establecidos, lo cual le permite al sistema productivo adaptarse a los fenómenos de variabilidad climática siendo más resilientes, coincidiendo con (Altieri M. y., 2011), quienes aseveran que los agricultores ejercen influencia en el microclima al conservar y plantar árboles, ya que, la cobertura forestal reduce la temperatura, la velocidad del viento, la evapotranspiración.

Protección de la biodiversidad funcional: Las especies vegetales muy probablemente sirven como hábitat de las diferentes especies biológicas existentes en cada sistema productivo, las cuales cumplen con diversas funciones; la importancia de la diversidad biológica, radica en que sin ésta desaparece el reciclaje de nutrientes, el control del microclima local, la regulación de los procesos hidrológicos locales, la regulación de la abundancia de organismos desfavorables y la polinización (Altieri & Nicholls, 2007).

Diversidad del cultivo: Los sistemas agroforestales aportan materia orgánica al suelo, por medio de las hojas de los árboles y las arvenses, las cuales al descomponerse crean condiciones adecuadas para que los microorganismos ayuden a las plantas a la extracción o solubilización de nutrientes, requiriéndose menor fertilización del sistema productivo, adicionalmente, en invierno los árboles ayudan a regular la erosión y en verano mantienen la humedad del suelo (Turbay, 2013). Por otro lado, se brinda seguridad alimentaria de las familias caficultoras, porque, parte de los productos (plátano, maíz, frijol, yuca) obtenidos son empleados para el autoconsumo, mientras que, la otra parte es comercializada en el mercado, diversificando así sus ingresos.

Utilización de residuos de cosecha en el cultivo: Con la realización del compostaje en las fincas cafeteras se reducen los costos de producción, incluso, con la aplicación se aumenta el contenido de materia orgánica, se incrementa la actividad biológica mejorando la estructura del suelo aumentando la infiltración del agua y regulación del pH del suelo (Turbay, 2013).

Integración de actividades pecuarias: las fincas cafetaleras se recomienda la integración de actividades que fortalezcan la seguridad alimentaria de los caficultores, además de generar excedentes para comercializar generando así mayor estabilidad económica, dado que, las familias dependen de otras fuentes de ingreso diferentes al café.



Aplicación de prácticas sostenibles de producción: Al realizar manejo de coberturas vegetales en los sistemas productivos se favorece la conservación del suelo, incluso, se mitigan el efecto erosivo del agua, además, en épocas de sequía el suelo conserva humedad, con el manejo de las coberturas vegetales se evita la evaporación por radiación solar y se favorece la funcionalidad de la fauna del suelo (Poveda *et al.*, 2001, 2011, citados por Turbay, 2013). Para el control de enfermedades como la roya se está realizando renovación de cafetales con variedad Castilla la cual es resistente a esta enfermedad; sin embargo, en época del fenómeno El Niño la variedad Castilla es atacada por la plaga araña roja, lo cual ha generado incertidumbre entre los caficultores e investigadores (García, 2013).

Descontaminación y reciclaje de agua: el Comité Departamental de Cafeteros de Cundinamarca, ha iniciado un proceso para descontaminar las aguas residuales de lavado del grano o «mieles de café», las cuales se originan en beneficiaderos que tiran el mucilago o la baba del café por el método convencional de fermentación natural, mediante la implementación de Sistemas Modulares Anaeróbicos, el cual consiste en una serie de procesos microbiológicos que ocurren dentro de un recipiente hermético, que realiza la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos, pero es desarrollado principalmente por bacterias; este sistema desarrollado por Cenicafé puede reducir más del 80% de contaminación de las aguas residuales (Zambrano *et al.*, 2010).

5.1.2 Estrategias de adaptación a la variabilidad climática a nivel socio-cultural

Disponibilidad de equipos y herramientas: Algunos caficultores realizan el secado del café aprovechando el sol, en patios de cemento el 6,7%, elbas el 6,7% y marquesinas el 66,6%; mientras que, el 20% lo realizan de forma mecánica, dado que, cuentan con silos para secar el café y como alternativa cuentan con marquesina. Los secadores de café de acuerdo con (Oliveros *et al.*, 2009), son una alternativa de secado ideal cuando hay altas producciones de café o cuando las condiciones climáticas del lugar no permiten emplear secadores solares

Participación en capacitaciones relacionadas con riesgos al cambio climático: Debido a, los últimos fenómenos de variabilidad climática que se presentaron en la zona como lo son los fenómenos de La Niña en el año 2011 y El Niño en el año 2015, los caficultores son conscientes



que deben preparar sus sistemas productivos para que sean resilientes a estos eventos, porque, lo han vivido.

Adecuación de infraestructura postcosecha: Los caficultores con ayuda del Comité Departamental de Cafeteros han venido realizando mejoras a la infraestructura existente en sus fincas para realizar el beneficio del café de una forma eficiente, se emplean motores eléctricos adaptados a despulpadoras que cuentan con una tolva donde se echa el café recolectado, se han instalado tanques en las quince fincas caficultoras con la finalidad de minimizar el uso del agua en cuanto al lavado del café, realizando menos vertimientos de aguas miel, en un estudio realizado por Zambrano *et al.*, (2011).

Acceso y cuidado del agua: se recomienda jornadas de reforestación y protección de las fuentes hídricas de donde es tomado el recurso hídrico y trasladado por mangueras hasta sus fincas, con la finalidad de contar en el tiempo con la disponibilidad del recurso.

5.1.3 Estrategias de adaptación a la variabilidad climática a nivel económico productivo

Facilidad de acceso a los mercados: la Federación para realizar la compra del café ha establecido parámetros como almendra sana, donde el porcentaje debe ser mayor al 75%, el caficultor que cumpla con esto recibirá un incentivo por carga de café (FNC, 2011); además se tienen en cuenta parámetros para la compra de cafés especiales, donde se realiza un pago adicional al valor registrado en el mercado por carga de café si cumple con los parámetros.

Acceso a créditos: la Federación Nacional de Cafeteros actúa como agente dinamizador para el acceso al crédito por parte de los caficultores, mediante la gestión ante el gobierno nacional, facilitando líneas de crédito con condiciones especiales, principalmente el banco Agrario de Colombia es quien realiza los créditos, donde los caficultores pueden ser beneficiarios del Incentivo de Capitalización Rural –ICR, el cual es un beneficio económico que se otorga a una persona, por la realización de inversiones nuevas dirigidas a la modernización, competitividad y sostenibilidad de la producción agropecuaria; este incentivo es financiado por el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario – FINAGRO, los extensionistas realizan la asesoría a los caficultores para solicitar los créditos (FNC, 2015); incluso la mayoría de caficultores cuentan con vida crediticia.

Diversificación de ingresos: los sistemas productivos de café que se encuentran asociados a más cultivos y a algunas actividades pecuarias, permitiéndole al caficultor no depender solo de los ingresos provenientes del café, sino que, sus ingresos dependen de la venta de otros productos como: yuca, frijol, plátano, cítricos, aguacate, pescado, pollo, huevos, carne y madera; por lo tanto, los caficultores presentan mayor estabilidad económica; adicionalmente, algunos productores alquilan la mano de obra en otras fincas cafecultoras lo cual les permite completar sus ingresos y solventar las crisis manteniéndose en el negocio (Fonseca, 2003).

5.1.4 Estrategias de adaptación a la variabilidad climática a nivel político institucional

Beneficios por programas y políticas de apoyo a cafeteros con asistencia técnica: los caficultores se han visto beneficiados por programas de la Federación nacional de Cafeteros, la Alcaldía Municipal, La Corporación Autónoma Regional. Las familias cafecultoras han implementado estrategias de adaptación al cambio climático en los sistemas productivos articulándolas con la dimensión biofísica, socio-cultural económico-productivo y político-institucional, con la finalidad de no ser afectados por los fenómenos de variabilidad climática, puesto que, la sociedad depende de la naturaleza y tiene que adaptarse a los cambios que esta presenta (Sala *et al.*, 2000).

Estrategia	Medidas
Biofísico	Conservación de boques
	Protección de biodiversidad
	Integración de actividades pecuarias
	Diversidad de cultivos
	Descontaminación y reciclaje de agua
	Aplicación de prácticas sostenibles de producción
Socio cultural	Disponibilidad de equipos y herramientas
	Participación en capacitaciones relacionadas con los riesgos al cambio climático
	Acceso y cuidado del agua
Económico	Acceso a créditos
	Facilidad de acceso a los mercados
	Diversificación de ingresos
Político	Beneficios por programas y políticas de apoyo a cafeteros con asistencia técnica

Tabla 11. Cuadro resumen estrategias de adaptación



6. CONCLUSIONES

La exposición percibida por los caficultores depende de cómo los sistemas productivos se afectan por los fenómenos de variabilidad climática, durante los últimos años los caficultores han percibido el cambio de estacionalidad de las épocas de verano e invierno, lo cual ha afectado los cronogramas de siembra y realización de actividades culturales en los sistemas productivos.

Las anomalías en la precipitación que se han presentado a lo largo de los últimos 35 años se evidencian con mayor magnitud las anomalías con excedentes severos, encontrando que en los últimos años después del evento ENSO más fuerte registrado en el año del 2015 con efectos negativos de los recursos naturales y de las diferentes actividades y regiones del país. Se previeron afectaciones en el abastecimiento de agua para consumo humano por reducción de la oferta hídrica, incremento de incendios forestales, incremento de enfermedades tropicales como infecciones respiratorias agudas, tuberculosis y dengue.

En relación con el comportamiento de la precipitación media mensual multianual, predomina en general en la mayoría de las estaciones representativas de la cuenca del río Guarapá, el comportamiento bimodal de la lluvia, es decir se pueden identificar dos períodos o épocas lluviosas en el año especialmente en los meses de marzo a junio y el mes de noviembre. Este comportamiento resulta común al que en general se presenta en todo el país.

Cabe resaltar que los fenómenos de variabilidad climática como los registrados durante los últimos años, 2011 fenómeno de La Niña y 2015 fenómeno de El Niño, no se habían presentado a través del tiempo en el municipio de Pitalito, estos fenómenos de variabilidad climática afectaron los sistemas productivos, puesto que, se alteraron las condiciones climáticas ideales para el cultivo, afectando las floraciones y el llenado de las cerezas.

Fenómenos de variabilidad climática como los registrados durante los últimos cinco años, 2011 fenómeno de La Niña y 2015 fenómeno de El Niño, no se habían presentado a través del tiempo en el municipio de Pacho, estos fenómenos de variabilidad climática afectaron los sistemas productivos, puesto que, se alteraron las condiciones climáticas ideales para el cultivo, afectando las floraciones y el llenado de las cerezas



El análisis permitió al caficultor conocer el grado de vulnerabilidad de su finca a partir de un enfoque multidimensional, identificando las debilidades por dimensión que se lograron evaluar en la encuesta participativa y brindándole la oportunidad de conocer para considerar implementar estrategias de adaptación para mitigar los efectos del cambio climático.

La temporada de lluvias genera efectos y consecuencias tales como: Incremento de enfermedades transmitidas por vectores, por agua y alimentos; riesgo para la seguridad alimentaria y nutricional; aumento en la incidencia de agresiones por animales transmisores de rabia; infecciones respiratorias agudas; alergias respiratorias y rinitis, entre otras, ya que durante los últimos años los caficultores han percibido el cambio de estacionalidad y probabilidad de las épocas de verano e invierno, lo cual ha afectado los cronogramas de siembra y realización de actividades culturales en los sistemas productivos.

Los indicadores relacionados con una capacidad de adaptación alta fueron prácticas sostenibles de producción, tenencia de la tierra, promoción de la organización gremial y asociatividad, programas y políticas de apoyo a cafeteros con asistencia técnica y planeación de acciones comunitarias de mitigación o adaptación.

La adaptación al cambio climático y variabilidad climática es un proceso que toma diversas formas y que depende tanto de las capacidades, los recursos disponibles y las prioridades de las personas afectadas como de las organizaciones que las apoyan y las instituciones que las gobiernan. De ahí que las estrategias de adaptación al cambio climático en los sistemas de producción de café, deban considerar medidas a escala regional y local, que promuevan la articulación de políticas adecuadas, que incidan en instrumentos del ordenamiento territorial con enfoque de gestión del riesgo hacia una adecuada planificación sectorial, gestión de información, asistencia técnica y acompañamiento al pequeño productor hacia buenas prácticas agrícolas y manejo de los recursos naturales, instrumentos económicos y mecanismos de protección financiera que promuevan asociatividad. Todo lo anterior, con esquemas de evaluación, seguimiento y monitoreo de medidas para su ajuste y medición de efectividad en el tiempo.



Se logró establecer el efecto que los fenómenos El Niño y La Niña ejercen sobre los regímenes de lluvia y temperatura, durante el tercero y cuarto trimestres del primer año y trimestre del segundo año en presencia de estos eventos. Vale la pena destacar que el mayor efecto climático, tanto para los eventos El Niño como para la Niña, ocurre durante el primer trimestre del segundo año, el cual es muchas veces coincidente con la fase madura de los eventos, es decir, cuando se presentan las mayores anomalías en el océano y la atmósfera del Pacífico tropical.

A nivel sociocultural la adecuación de áreas para secado del café, adquisición de equipos, adecuación del área postcosecha, el acceso al agua y participación en capacitaciones relacionadas con el riesgo al cambio climático hace que los caficultores sean menos vulnerables a la variabilidad climática, puesto que, no han adecuado su infraestructura y no tienen conocimiento de cómo mitigar los efectos del cambio climático por la misma desconfianza hacia las entidades territoriales.

La importancia de la presencia institucional mediante proyectos de investigación e implementación de acciones para contrarrestar los efectos de la variabilidad climática sobre los sistemas productivos y mitigar los efectos del cambio climático es de gran importancia, ya que, se concientiza al productor de que si es posible tomar medidas para adaptarse y mitigar los efectos de la variabilidad climática.

A nivel socio-cultural la adecuación de áreas para secado del café, adquisición de equipos, adecuación del área postcosecha, el acceso al agua y participación en capacitaciones relacionadas con el riesgo al cambio climático hace que los caficultores sean menos vulnerables a la variabilidad climática, puesto que, han adecuado su infraestructura y tienen conocimiento de cómo mitigar los efectos del cambio climático.

En consecuencia la realidad de las regiones cafeteras de Colombia en el caso del alto de la cruz, existen pocas prácticas que disminuyan la vulnerabilidad de los pobladores rurales a las variaciones climáticas y a los eventos climáticos extremos tales como lo son, el uso de abonos orgánicos y coberturas vegetales, el empleo de machetes para deshierbar, la asociación de cultivos, la combinación de cultivos comerciales con cultivos de pancoger para asegurar la seguridad alimentaria de los productores en pocas de poco rendimiento de café, la producción escalonada, la



fertilización y las densidades de siembra adecuadas, el buen manejo fitosanitario y la reforestación de las cuencas y de los sitios con altas pendientes.

La integración del conocimiento local con el conocimiento técnico en la implementación de estrategias de adaptación en los sistemas productivos es importante, pues, se generan ambientes de confianza y discusión teniendo mayor credibilidad las acciones implementadas, porque, se generan espacios de interacción, participación y ambientes de confianza entre técnico y productor.

Por lo tanto la necesidad del tratamiento de las aguas mieles y el aprovechamiento de los residuos sólidos es evidente y constituyen la forma de controlar los problemas ambientales del sector cafetero que a su vez desconoce el problema , por consiguiente es necesario llevar a cabo una estrategia de educación ambiental, que incentive la disminución del impacto ambiental, económico y social que provoca el beneficio del café y alternativas para reducir estos efectos, de ahí la urgencia de una verdadera aplicación de legislación rigurosa en la fuente hídrica la cristalina, debido a que los caficultores no han recibido visitas por parte de la corporación ambiental en temas relacionados a cuidado del agua.

En conclusión, resulta necesario que la capacidad que tienen productores para sortear situaciones de crisis mediante la existencia de otro cultivo comercial en su predio que pueda generar ingresos en efectivo mientras empiezan a producir los nuevos cafetales, la ubicación de su finca con respecto a los cascos urbanos y las redes sociales que son capaces de activar estrategias diversas ante dificultades cotidianas de diferente tipo y el apoyo institucional.



7. RECOMENDACIONES

Alcanzar niveles altos de biodiversidad para así no depender solamente de un cultivo, y cuando este no alcance buenos rendimientos productivos; tener un respaldo tanto económico como alimenticio para subsistencia del hogar y mejorar la seguridad alimentaria de la comunidad ya que están dedicados a una sola fuente de ingresos lo que los hace más vulnerables económicamente.

En las fincas caficultoras es necesario realizar una diversificación del sistema productivo e integrar actividades pecuarias, con la finalidad de reducir la dependencia económica del café, para garantizar la seguridad alimentaria y hacer el sistema resiliente, reduciendo la vulnerabilidad del sistema productivo a eventos de variabilidad climática y al cambio climático.

Se deberá buscar en apoyo comunitario; realizar planes de reforestación en lugares estratégicos de la comunidad para fortalecer el cuidado de los recursos naturales y principalmente de las fuentes hídricas de la cristalina creando grupos o asociaciones de cafetaleros para buscar los mejores precios en el mercado y así recibir apoyo de los demás miembros ante cualquier dificultad que se les presente al cultivo.

Solicitar un plan de educación agroforestal y ambiental con el fin de capacitar a las personas que habitan en el área de la microcuenca en las actividades de conservación y preservación del medio ambiente con ánimo de realizar investigaciones futuras. Con esto se evitará la tala y quema, y se reduce el grado de erosión que presentan los suelos.

Generar proyectos interesados en el uso de prácticas adecuadas en el manejo de la cuenca hidrográficas de la zona del alto de cruz para lograr evitar la contaminación generada por los procesos de lavado de café y residuos de la postcosecha, en este sentido, se sugiere implementar prácticas agrícolas de producción más limpia fundamentadas en la agroecología; que garanticen la seguridad alimentaria de los agricultores, la protección del cauce principal, y los recursos naturales de la microcuenca, y de la propia salud humana.



Pensar en estrategias conjuntas de corto y mediano plazo, con un compromiso colectivo y de cadena alrededor de este tema. Esto implica que, desde el productor, distribuidor, comercializador y consumidor, deben existir y exigir criterios de buenas prácticas agrícolas y primas, que promuevan la mejora del sistema y prevenir así la deforestación y la degradación de bosques en su cadena de suministro de café. Lo cual, además puede convertirse en una fuente de financiamiento, si se garantiza un impacto positivo en los ecosistemas.

Promover actividades de educación ambiental con las familias caficultoras, donde se trabajen actividades de mitigación y estrategias de adaptación a la variabilidad climática, a través de las organizaciones e instituciones con presencia en el sector caficultor del municipio. Teniendo en cuenta los escenarios de cambio climático de las variables climáticas precipitación y temperatura para Colombia 2010-2100, donde la proyección de la temperatura media muy probablemente puede variar en 2,5 °C y la precipitación entre 10% y 25% para el municipio de Pitalito y los efectos que podría tener sobre los sistemas productivos de café, puesto que, se alteran las condiciones ideales del cultivo; es importante tomar medidas preventivas para que los sistemas productivos no se afecten tras la situación que se proyecta, o adaptarlos de tal forma que no se vean afectados.

Generar proyectos tendientes a reemplazar el uso de agroquímicos, en este sentido, se sugiere implementar prácticas agrícolas de producción más limpia fundamentadas en la agroecología; que garanticen la seguridad alimentaria de los agricultores, la protección del cauce principal, y los recursos naturales de la microcuenca, y de la propia salud humana.

Se espera que tanto lo metodológico como los resultados vulnerabilidad sean empleadas por entes gubernamentales y de instituciones académicas encargados de tomar decisiones para que se cuente con información confiable y precisa en cuanto a los procesos de adaptación y mitigación en fincas cafetaleras del alto de la cruz.

Involucrar a los propietarios de los predios establecidos dentro de la microcuenca a participar en la implementación del Plan de Manejo Ambiental y fortalecer la organización comunitaria, para la conformación de un comité para la gestión ambiental de la microcuenca del alto de la cruz con el propósito de mejorar la capacidad de autogestión.



8. BIBLIOGRAFÍA

- (IPCC), P. I. (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 25-46.
- Aguilar, E. T.-G.-S. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *J. Geophys.* doi:10.1029/2005JD006119
- Alcaldía de Pitalito. (octubre de 2015). RUTA DE CAMBIO DE PITALITO,2030. Obtenido de <https://www.alcaldiapitalito.gov.co/publicaciones/Ruta-Cambio-Pitalito.pdf>
- Aliaga, A. (1983). “Tratamiento de datos Hidrometeorológicos”.
- Altieri, & Nicholls. (2007). Diversidad y manejo de plagas en agroecosistemas.
- Altieri, M. y. (2011). The agroecological revolution of Latin America:rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants.
- Chow, V. T. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Constantino, L. (2010). La broca del café: un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud. *cenicafe*.
- Daza, H. (28 de agosto de 2015). ¿El Niño más fuerte de la historia afectará a Colombia? *Tiempo* .
- Deantonio, J. c. (2017). ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN CULTIVOS DE CAFÉ EN COLOMBIA. *UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD*.
- Delgado, M., Ulloa, C., & Ramirez, J. (2015). La economía del departamento del Huila: diagnóstico y perspectivas de mediano plazo.
- Espectador, E. (2015). El Niño afecta por lo menos 90.000 hectáreas de café colombiano. *el espectador*.
- espectador, E. (18 de septiembre de 2015). El Niño afecta por lo menos 90.000 hectáreas de café colombianos. *el espectador*.
- FAO. (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el Caribe (gestión del riesgo de desastres en el sector agrícola).
- Farfan V., F. (2016). Sistemas agroforestales para establecer en la finca cafetera. *Avances Técnicos . cenicafe*.
- Farfán, F. (2017). Percepción de los caficultores de los municipios de Salamina (Caldas), Santuario y Balboa (Risaralda), frente a la variabilidad climática. *cenicafe*.
- García, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la caficultura colombiana. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Guzmán, M., & Baldión, J. (1997). El evento cálido del Pacífico en la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*.



- Herrera G., J. (2009). calculo de precipitacion hidrológica. *Universidad de Oriente Núcleo de Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra Departamento de Ingeniería Civil Geología General.*
- IDEAM. (1997). *Preparémonos para recibir el fenómeno del Niño en los municipios colombianos.* Bogotá D.C.
- IDEAM. (2002). Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en Colombia. *INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.*
- Ideam. (2011). ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL FENÓMENO “LA NIÑA” 2010-2011 EN LA HIDROCLIMATOLOGÍA DEL PAÍS.
- IDEAM. (2018). Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia. En UNAL. Bogotá, D.C.
- Jaramillo R., A., & Arcila P., J. (2009). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultura. *avance tecnico cenicafe.*
- Jaramillo R., A., R., M., & Poveda., G. (2000). Influencia del evento cálido del Pacífico en la humedad del suelo y el Índice Normalizado de Vegetación en Colombia. *cenicafe.*
- LAU, C. J. (2013). Agricultura Colombiana: Adaptación al cambio climático. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).*
- López, O. L. (2015). Brillo solar determina potencial productivo del café. *Diario agroempresario* . Obtenido de <https://agroempresario.com/publicacion/24046/brillo-solar-determina-potencial-productivo-del-cafe/>
- María Claudia García, A. P. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en colombia. *revista ingenieria* , #36, 60-64.
- Mejia M, A. (2001). En *Hidrologia Aplicada Vol. I* . Lima,Perú.
- Montealegre, E., & Pabon, D. (2002). Seguimiento, Diagnóstico y Predicción Climática en Colombia. Universidad Nacional: *Revista Meteorología Colombiana.* 1-5.
- Oliveros, C. S. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico de café. *Cenicafé.*
- Pabon, J., & Montealegre, J. (2013). Los fenómenos El Niño y La Nina sus anomalías climáticas e impactos. *Universidad Nacional.*
- Pizarro, R. e. (1993). Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América latina y el caribe. 135.
- PIZARRO, R., & RAMÍREZ, C. (2000). Análisis Comparativo de Modelos para la Estimación de Precipitaciones Areales Anuales en Períodos Extremos. Región del Maule, Chile.
- Quisque, R. (2012). EVALUACIÓN DE LAS SEQUÍAS HIDRO-METEOROLÓGICAS EN LA MICRO CUENCA AYAVIRI. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO* .
- Riaño, M. N. (2014). DINÁMICA DE LA ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA EN DOS ESPECIES DE SOMBRIO USADAS EN CAFETALES DE COLOMBIA. *CIAT.*
- Robledo, A. J. (2016). epocas recomendadas para la siembra del cafe en colombia . *Cenicafe.*



- Ross, M. (2012). FEATURE: Colombia's vulnerable agriculture – “Peak coffee” soon a reality?. Climate & Development Knowledge Network (CDKN). Obtenido de https://cdkn.org/2012/08/colombia%E2%80%99s-vulnerable-agriculture-%E2%80%93-%E2%80%9Cpeak-coffee%E2%80%9D-soon-a-reality/?loclang=en_gb
- ROSTLAC, U. . (1982). Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América de sur. Oficina Regional de Ciencias y Tecnología de la UNESCO para América latina y el Caribe. 129.
- SAC. (1997). Impactos previsibles del fenómeno del Pacífico sobre el Sector Agropecuario Colombiano y recomendaciones de medidas. *Revista Nacional de Agricultura*.
- Salas, J. D. (1980). Applied modeling of hydrologic times series. Colorado. Littleton,: Water Resources Publications.
- SCHÜTZE PÁEZ, K., & A. ANDRADE PÉREZ, H. A. (2011). Sistemas Agroforestales y Restauración Ecológica como Medidas de Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en Alta Montaña, Caso Piloto. Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático. *IDEAM y Conservación Internacional*.
- Toro-Trujillo, A. M.-R.-P.-C. (2015). Relleno de series de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño. *Revista Mexicana de ciencias agricolas*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/277248839>
- Vallejo, R. V. (2015). Fenómeno de El Niño afecta al 18 % de los cultivos de café en Colombia. *federacion nacional de cafeteros*.
- Vargas, R., & Díaz Granados, M. (1998). Curvas Sintéticas Regionalizadas Intensidad -Duración - Frecuencia para Colombia.
- Vergara., K. V. (2011). Variabilidad climática, percepción ambiental y estrategias de adaptación de la comunidad campesina de Conchucos, Ancash. Pontificia Universidad Católica del peru. 192.
- Zapata, P. (2015). Café: estudian efectos del cambio climático. *potafolio*. Obtenido de [<http://www.portafolio.co/economia/finanzas/cafe-estudian-efectos-cambio-climatico-25462>



ANEXOS

Anexo 1. Guía de entrevista semiestructurada- percepción de productores

1. recibe información oportuna sobre los cambios del clima

Sí

No

2. cuáles son las principales fuentes de información sobre los cambios del clima?

Servicio de Extensión

Vecino, Amigo, Familiar

La Radio

Internet

otros medios

3. emplean la información sobre clima para tomar decisiones en el cultivo de café?

sí

no

...

4. como caficultor como emplea la información sobre clima para tomar decisiones en el cultivo de café?

Definir épocas de siembra

Fijar épocas de renovación del café

Programar fertilizaciones

Programar otras prácticas agrícolas



5. cual de los Niveles de afectación por eventos climáticos “El Niño” y “La Niña” afectan principalmente su cultivo.

- niño
- niña
- los dos eventos
- ningun efecto

6. cuales son los principales aspectos que afectan al cultivo del cafe?

- incremento de plagas
- Incremento de enfermedades
- Disminución de los ingresos
- Incremento gastos de la finca Gra Daños en el grano de café
- Incremento costos de producció
- Disminución de alimentos
- Cambios en la venta del café
- Pérdidas en la cosecha
- Defoliación de las plantas
- Daños en las floraciones

7. cuales son otros aspectos que afectan a las comunidades cafeteras ?

- Daños a la infraestructura de la finca
- Daños a las viviendas
- Daños a las vías de acceso
- Efectos sobre la salud

Anexo 2. Estaciones medidoras de parámetros climatológicos

CÓDIGO DE ESTACIÓN	NOMBRE ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	UBICACIÓN		Parámetros climatológicos obtenidos
					DPTO.	MUNICIPIO	
21015020	SEVILLA	[21015020]	1.824.833.333	- 7.613.027.778	HUILA	Pitalito	Precipitación mm y temperatura Max y min °C
21010130	BAJO FRUTAL	[21010130]	1.810.388.889	- 7.624.669.444	HUILA	San Agustín	Precipitación mm y temperatura Max y min °C
21010140	LA CANDELA	[21010140]	1.864.388.889	- 7.636.083.333	HUILA	San Agustín	Precipitación mm y temperatura Max y min °C
21010110	INSFOPAL	[21010110]	1.844.916.667	- 7.607.441.667	HUILA	San Agustín	Precipitación mm y temperatura Max y min °C
21010040	LAGUNA	[21010040]	1.961.472.222	- 7.608.569.444	HUILA	Pitalito	Precipitación mm y temperatura Max y min °C

Estación Sevilla (precipitación mensual total) periodo de 1986 a 2020.

años	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total, general
1986	11	35	13		11	17	11	9	3	30	11	2	153
1987	0	15	38	15	92	15	8	41	6	79	22	0	331
1988	50	17	20	18	9	11	25	21	7	18	75	2	273
1989	30	1	60	21	59	43	1	20	17	25	13	9	299



<i>años</i>	<i>enero</i>	<i>febrero</i>	<i>marzo</i>	<i>abril</i>	<i>mayo</i>	<i>junio</i>	<i>julio</i>	<i>agosto</i>	<i>septiembre</i>	<i>octubre</i>	<i>noviembre</i>	<i>diciembre</i>	<i>Total, general</i>
1990	26	0	7	15	17	38	48	34	32	5	10	29	261
1991	2	3	5	36	30	29	20	23	3	25	11	4	191
1992	1	13	20	49	52	2	5	19	8	0	15	6	190
1993	2	55	12	4	16	17	16	16	0	72	7	27	244
1994	11	5	27	86	13	48	13	45	31	5	34	14	332
1995	31	4	4	29	36	8	57	13	6	0	3	2	193
1996	25	67	13	29	45	56	7	20	31	68	10	29	400
1997	60	25	15	23	20	24	40	39	19	11	18	4	298
1998	1	38	63	47	3	0	21	38	37	1	63	6	318
1999	2	1	1	75	51	37	24	2	3	3	42	24	265
2000	5	10	37	26	83	35	2	59	11	3	20	6	297
2001	18	7	14	16	25	9	22	14	5	24	17	14	185
2002	37	11	5	62	19	17	77	6	17	14	39	25	329
2003	15	0	47	25	8	4	25	7	1	7	19	49	207
2004	8	9	15	13	55	13	90	67	5	0	28	8	311
2005	1	67	12	8			4	3	25	33	22	17	192
2006	31	7	78	97	0	34	0	44	10	41	2	3	347
2007	0	1	25	42	6	85	20	39	18	51	7	6	300
2008	55	35	23	32	43	13	36	5	16	26	0	91	375
2009	17	34	22	14	3	6	48	23	0	1	3	34	205
2010	0	0	2	17	15	28	1	11	4	16	0	19	113
2011	3	52	29	4	16	0	24	0	17	13	6	15	179
2012	0	12	41	45	0	24	15	15	15	1	8	0	176
2013	0	17	0	0	14	10	9	14	6	9	57	44	180
2014	40	0	29	34	2	8	29	33	11	19	10	3	218
2015	8	8	1	1	17	11	34	9	0	2	0	0	91
2016	21	39	7	0	4	13	27	4	15	0	2	5	137
2017	2	36	14	17	5	15	11	0	14	3	0	40	157
2018	24	22	2	0	37	45	3	0	0	10	4	0	147
2019	12	15	0	6	58	24	27	60	28	0	22	22	274
2020	6	57	5	0	4	18	28	0	9	0	70	1	198



ESTACIÓN BAJO FRUTAL.

años	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total general
1986	95	164	198	127	136	202	304	60	177	373	134	80	2050
1987	46	124	76	170	310	155	226	173	98	262	99	82	1821
1988	16	70	87	167	151	258	126	128	140	135	261	88	1627
1989	122	86	222	152	181	193	163	103	126	154	146	73	1721
1990	61	99	194	182	180	358	210	145	80	126	123	105	1863
1991	18	74	152	220	116	231	263	275	115	76	201	54	1795
1992	46	52	83	170	91	184	142	149	67	40	112	153	1289
1993	47	100	223	111	162	187	154	60	105	86	120	177	1532
1994	185	109	233	349	246	245	184	138	175	224	126	51	2265
1995	40	114	93	200	189	145	124	100	98	51	125	154	1433
1996	124	223	165	269	302	118	202	145	176	223	130	93	2170
1997	225	99	107	149	263	55	223	102	45	100	106	81	1555
1998	76	52	147	197	156	247	178	131	92	161	118	156	1711
1999	176	163	158	321	161	159	162	36	235	187	208	288	2254
2000	210	106	267	270	314	117	143	230	137	185	210	146	2335
2001	47	105	153	197	165	221	142	154	105	88	220	142	1739
2002	60	110	121	193	210	186	148	144	80	228	81	118	1679
2003	30	73	188	152	130	96	107	93	80	173	125	101	1348
2004	100	67	107	273	190	309	174	156	133	130	151	217	2007
2005	68	245	160	303	339	335	150	102	112	308	212	180	2514
2006	64	122	308	203	170	292	175	125	86	185	167	139	2036
2007	123	56	120	182	156	341	43	192	110	173	196	101	1793
2008	67	91	100	148	180	220	158	100	83	147	184	224	1702
2009	178	139	136	111	116	223	224	154	86	192	40	22	1621
2010	13	142	105	228	191	208	116	52	74	144	139	114	1526
2011	62	183	142	222	259	101	141	27	93	147	253	143	1773
2012	126	104	250	201	126	140	160	197	119	174	93	111	1801
2013	16	148	124	133	237	136	201	230	60	84	210	166	1745
2014	155	27	199	138	247	176	210	175	69	162	111	133	1802
2015	55	159	288	126	144	239	226	88	40	37	134	18	1554
2016	38	136	77	173	173	246	219	77	181	31	201	73	1625
2017	242	76	258	227	191	254	163	157	94	74	92	89	1917
2018	72	89	148	184	283	217	112	144	66	151	83	38	1587
2019	184	79	146	140	259	242	226	125	59	108	221	158	1947
2020	94	82	84	91	127	178	137	74	167	128	210	56	1428

Estación Insfopal

años	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total general
1986	32	127	99	56	125	138	137	40	120	137	77	26	1114
1987	35	77	68	174	108	126	173	169	40	124	37	35	1166
1988	13	128	36	95	111	215	91	50	92	105	153	87	1176
1989	137	44	166	173	128	160	184	100	120	63	108	44	1427
1990	77	92	97	78	191	130	138	140	86	337	135	103	1604
1991	18	26	81	144	116	163	141	219	63	49	71	36	1127
1992	16	58	47	124	128	71	122	121	64	39	178	74	1042
1993	51	126	148	78	155	143	152	97	84	228	160	130	1552
1994	90	52	111	197	206	186	137	128	96	76	101	37	1417
1995	39	85	109	208	132	121	74	50	82	117	85	72	1174
1996	52	186	58	127	110	96	119	45	84	108	91	58	1134
1997	76	71	105	108	153	98	113	94	24	97	45	10	994
1998	21	78	112	89	58	145	112	100	52	86	121	60	1034
1999	93	186	65	311	123	128	136	69	95	102	141	121	1570
2000	101	116	165	113	284	110	68	184	69	120	84	92	1506
2001	25	127	203	162	114	104	106	65	92	65	98	121	1282
2002	25	96	206	108	157	162	160	151	95	98	107	68	1433
2003	25	90	79	98	121,2	75,7	118,5	49,6	58	157,9	110,7	55,5	1039,1
2004	40,6	78,4	50,1	173,1	167,1	164	170,2	110,3	124,6	53,2	109,6	128,7	1369,9
2005	21,6	150,8	122,5	250,7	173,1	199,9	83,9	71,4	102,8	174,1	57,3	165,5	1573,6
2006	77,4	45,8	175,9	110	81,4	189,5	116,1	101,1	90,2	107,7	103,7	103,3	1302,1
2007	19,7	33,2	102,3	133,3	197,3	213,8	41,7	156,7	86,5	166,2	73,6	124,1	1348,4
2008	53,2	137,7	92,8	137,3	101,9	146,4	136,1	63,1	78,1	133,6	122,5	134,8	1337,5
2009	153,4	148,4	120,2	128,8	115,1	110,8	141,6	101,4	68,3	65,7	59,7	66	1279,4
2010	1,2	99,4	127,1	122,9	169,6	122,8	93	42,6	65	83,8	117	137	1181,4
2011	54	144	115	189	237	127	140	29	121	93	90	190	1529
2012	115	119	202	99	89	142	110	114	89	196	71	98	1444
2013	12	235	87	83	185	109	168	117	107	49	131	88	1371
2014	84	14	167	189	130	162	115	122	68	76	89	152	1368
2015	67	133	91	126	119	197	178	43	34	21	77	12	1098
2016	34	126	68	196	167	140	236	79	172	77	114	120	1529
2017	180	134	153	116	118	218	154	193	75	142	169	117	1769
2018	134	42	58	191	164	192	61	120	61	130	65	45	1263
2019	89	41	98	139	219	144	196	111	44	97	141	134	1453
2020	42	51	42	103	176	167	156	84	195	119	109	65	1309



Estación candela

años	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total general
1986	207	232	207	108	57	295	204	119	177	318	134	59	2117
1987	47	124	177	246	380	155	255	236	68	285	54	90	2117
1988	54	158	116	165	144	370	151	242	107	126	277	81	1991
1989	98	191	220	54	206	520	285	185	175	250	179	44	2407
1990	99	174	178	202	233	350	315	286	284	224	109	131	2585
1991	64	90	195	169	168	210	313	284	272	172	267	103	2307
1992	82	65	222	183	74	72	182	196	79	42	145	125	1467
1993	101	170	188	171	215	214	194	171	78	133	176	119	1930
1994	281	127	189	278	369	191	213	152	111	211	143	70	2335
1995	68	111	90	330	289	187	153	159	110	157	211	133	1998
1996	190	241	237	189	316	179	313	123	222	180	81	104	2375
1997	264	149	143	165	378	120	263	157	48	138	121	105	2051
1998	35	91	127	201	109	275	175	78	83	155	248	184	1761
1999	148	155	89	265	60	146	161	153	217	135	119	260	1908
2000	177	129	162	132	301	240	194	258	121	168	172	142	2196
2001	78	107	156	85	167	202	106	160	159	123	140	138	1621
2002	125	59	200	263	179	286	311	208	91	94	52	98	1966
2003	38	92	123	149	110	101	149	64	91	194	104	95	1310
2004	96	94	61	115	171	227	205	235	190	137	217	184	1932
2005	82	192	224	198	281	237	201	165	250	216	205	214	2465
2006		99	204	201	207		153	152	120	104	214	229	1683
2007	77	75	103	349	254	419	60	213	98	246	215	205	2314
2008	143	138	163	183	308	232	232	108	131	213	261	145	2257
2009	133	204	251	196	120	246	276	200	125	138	111	49	2049
2010	16	133	135	253	142	233	167	95	67	116	167	74	1598
2011	96	170	103	179	252	106	186	80	207	130	155	338	2002
2012	177	108	280	139	290	158	178	170	85	118	80	209	1992
2013	53	146	125	87	239	175	239	174	90	121	173	175	1797
2014	206	38	165	110	115	216	262	232	117	146	191	72	1870
2015	54	55	142	123	130	171	265	152	115	95	84	27	1413
2016	26	94	84	153	133	195	196	42	152	79	109	45	1308
2017	276	80	308	241	160	119	165	154	112	134	144	119	2012
2018	148	82	94	204	298	211	147	162	83	87	104	61	1681
2019	98	61	96	171	263	243	207	104	83	181	134	70	1711
2020	97	148	152	76	128	135	132	56	136	127	98	113	1398

Estación laguna

años	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total general
1986	60	166	293	121	94	145	143	87	110	178	48	64	1509
1987	70	63	66	199	206	104	147	135	58	189	155	66	1458
1988	16	87	44	72	136	184	101	60	85	132	175	104	1196
1989	102	85	270	133	167	147	183	104	100	141	119	50	1601
1990	66	152	96		237	98	133	134	55	114	161	129	1375
1991	33	34	141	127	74	158	138	217	80	45	149	59	1255
1992	17	46	71	96	81	100	106	113	110	70	160	60	1030
1993	81	98	195	143	129	143	149	129	100	113	220	98	1598
1994	140	167	153	188	180	200	124	92	111	87	64	59	1565
1995	35	134	79	231	149	152	112	50	58	110	68	90	1268
1996	124	142	138	117	119	147	161	81	74	142	90	46	1381
1997	45	97	110	92	172	80	95	115	73	85	88	34	1086
1998	28	122	92	103	60	123	120	67	49	56	145	48	1013
1999	206	190	47	213	143	132	102	84	120	34	136	175	1582
2000	131	80	108	184	293	103	65	150	45	88	106	88	1441
2001	66	157	110	147	96	80	71	89	137	68	63	136	1220
2002	34	44	173	155	121	174	158	167	73	114	53	60	1326
2003	37	55	103	118	122	38	100	30	50	113	92	48	906
2004	139	26	41	255	220	191	182	75	79	130	130	179	1647
2005	54	153	132	264	211	111	66	109	134	173	123	157	1687
2006	83	99	147	143	64	187	100	59	95	134	202	201	1514
2007	37	59	140	143	181	200	48	95	74	129	162	146	1414
2008	32	167	189	181	112	150	117	56	56	88	164		1312
2009	166	219	146	113	79	171	179	94	134	64	126	47	1538
2010	44	144	107	132	199	147	145	84	99	105	169	116	1491
2011	81	61	184	186	242	131	227	28	80	99	183	196	1698
2012	181	186	236	91	72	81	115	95	78	213	70	64	1482
2013	5	138	70	98	211	94	206	116	99	105	85	141	1368
2014	57	67	101	129	173	134	159	115	66	101	174	57	1333
2015	121	65	153	99	113	237	172	69	31	53	96	32	1241
2016	18	219	101	172	136	129	184	99	142	55	178	119	1552
2017	108	113	193	113	193	169	128	164	69	47	115	76	1488
2018	129	150	90	124	156	161	64	83	26	189	45	101	1318
2019	78	66	104	116	169	111	109	72	96	70	99	166	1256
2020	59	74	93	99	212	87	193	63	182	102	145	71	1380



Anexo 3 .análisis de consistencia

Estación Sevilla

Análisis de consistencia.

Tamaño de la muestra(n1)=	193	Tamaño de la muestra (n2)=	227
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	100,43	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	96,26
Desviación Stand.(S1) =	44,23	Desviación Stand(S2)=	50,11
Grados de libertad(GL1)=	192	Grados de libertad(GL2)=	226
RESULTADOS			
PRUEBA "T" DE STUDENT			
Desviación estándar ponderada		47,50	
Desviación de las diferencias de los promedios		4,65	
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		0,90	
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		1,97	
Grados de libertad		418,00	
Conclusión:			
$ t_c = 0,90$	<	$Tt = 1,9657$	HOMOGENEIDAD OK
PRUEBA "F" DE FISHER			

Estación laguna

Tamaño de la muestra(n1)=	203	Tamaño de la muestra (n2)=	217
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	112,53	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	116,22
Desviación Stand.(S1) =	51,77	Desviación Stand(S2)=	62,95
Grados de libertad(GL1)=	202	Grados de libertad(GL2)=	216
RESULTADOS			
PRUEBA "T" DE STUDENT			
Desviación estándar ponderada		57,82	
Desviación de las diferencias de los promedios		5,65	
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		0,65	
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		1,97	
Grados de libertad		418,00	
Conclusión:			
$ t_c = 0,65$	<	$Tt = 1,9657$	HOMOGENEIDAD OK

Estación la candela

Tamaño de la muestra(n1)=	93	Tamaño de la muestra (n2)=	327
Media de la muestra $\bar{X}_1 =$	177,34	Media de la muestra $\bar{X}_2 =$	165,62
Desviación Stand.(S1) =	88,91	Desviación Stand(S2)=	70,07
Grados de libertad(GL1)=	92	Grados de libertad(GL2)=	326
RESULTADOS			
PRUEBA "T" DE STUDENT			
Desviación estándar ponderada		74,63	
Desviación de las diferencias de los promedios		8,77	
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		1,34	
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		1,97	
Grados de libertad		418,00	
Conclusión:			
$ t_c = 1,34$	<	$Tt = 1,9657$	HOMOGENEIDAD OK

Estación Insfopal

Tamaño de la muestra(n1)=	193	Tamaño de la muestra (n2)=	227
Media de la muestra \bar{X}_1 =	105,41	Media de la muestra \bar{X}_2 =	114,42
Desviación Stand.(S1) =	53,00	Desviación Stand(S2)=	50,63
Grados de libertad(GL1)=	192	Grados de libertad(GL2)=	226
RESULTADOS			
PRUEBA "T" DE STUDENT			
Desviación estándar ponderada	51,73		
Desviación de las diferencias de los promedios	5,07		
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1,78		
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:	1,97		
Grados de libertad	418,00		
Conclusión:			
$ t_c = 1,78$	<	Tt= 1,9657	HOMOGENEIDAD OK

Estación bajo frutal

Tamaño de la muestra(n1)=	203	Tamaño de la muestra (n2)=	217
Media de la muestra \bar{X}_1 =	151,33	Media de la muestra \bar{X}_2 =	161,81
Desviación Stand.(S1) =	69,32	Desviación Stand(S2)=	81,00
Grados de libertad(GL1)=	202	Grados de libertad(GL2)=	216
RESULTADOS			
PRUEBA "T" DE STUDENT			
Desviación estándar ponderada	75,58		
Desviación de las diferencias de los promedios	7,38		
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1,42		
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:	1,97		
Grados de libertad	418,00		
Conclusión:			
$ t_c = 1,42$	<	Tt= 1,9657	HOMOGENEIDAD OK

Anexo 4. Resumen datos históricos del balance hídrico periodo de 1986-2017.

años	ppt	Eto evaporación	kp tanque	kc cultivo	Etc	balance hídrico
1986	1065,3	889,9	0,85	1,1	832,06	233,24
1987	1361	786,7	0,85	1,1	735,56	625,44
1988	1080,8	430,7	0,85	1,1	402,70	678,10
1989	1325,7	857,3	0,85	1,1	801,58	524,12
1990	1223,8	792,3	0,85	1,1	740,80	483,00
1991	1096,2	1054,4	0,85	1,1	985,86	110,34



<i>años</i>	<i>ppt</i>	<i>Eto</i> <i>evaporación</i>	<i>kp</i> <i>tanque</i>	<i>kc cultivo</i>	<i>Etc</i>	<i>balance hídrico</i>
1992	1024,6	733,3	0,85	1,1	685,64	338,96
1993	1403,1	699,1	0,85	1,1	653,66	749,44
1994	1344,7	1033,2	0,85	1,1	966,04	378,66
1995	1213	1017,8	0,85	1,1	951,64	261,36
1996	1149,3	1087,4	0,85	1,1	1016,72	132,58
1997	1007,6	1055,6	0,85	1,1	986,99	20,61
1998	1202	1049,9	0,85	1,1	981,66	220,34
1999	1416,9	1051,9	0,85	1,1	983,53	433,37
<i>años</i>	<i>ppt</i>	<i>Eto</i> <i>evaporación</i>	<i>kp</i> <i>tanque</i>	<i>kc cultivo</i>	<i>Etc</i>	<i>balance hídrico</i>
2000	1310,6	1082,4	0,85	1,1	1012,04	298,56
2001	1160,6	1079	0,85	1,1	1008,87	151,74
2002	1324,9	1082,4	0,85	1,1	1012,04	312,86
2003	1030,4	1079	0,85	1,1	1008,87	21,54
2004	1244,2	957,5	0,85	1,1	895,26	348,94
2005	1229,9104	714,3	0,85	1,1	667,87	562,04
2006	1316,6	990,5	0,85	1,1	926,12	390,48
2007	1293,1	1100,7	0,85	1,1	1029,15	263,95
2008	1190,4	1057,2	0,85	1,1	988,48	201,92
2009	1039,5	1040,2	0,85	1,1	972,59	66,91
2010	1165,7	1188,9	0,85	1,1	1111,62	54,08
2011	1386,9	1182,4	0,85	1,1	1105,54	281,36
2012	1215,6	1091,9	0,85	1,1	1020,93	194,67
2013	1247,3	1107,1	0,85	1,1	1035,14	212,16
2014	1294,2	1139,8	0,85	1,1	1065,71	228,49
2015	972,2	1081	0,85	1,1	1010,74	-38,54
2016	1197,6	1057	0,85	1,1	988,30	209,31
2017	1636,8	99,4	0,85	1,1	92,94	1543,86